

# LAS TIG ANTE LOS NUEVOS RETOS GLOBALES EN UN CONTEXTO CAMBIANTE

Actas de la XVIII CONFIBSIG 2023  
Cáceres, 16-19 de mayo de 2023



Ana Nieto Masot  
Gema Cárdenas Alonso  
José Antonio Gutiérrez Gallego  
Ángela Engelmo Moriche (eds.)



---

# Las TIG ante los nuevos retos globales en un contexto cambiante





---

Ana Nieto Masot  
Gema Cárdenas Alonso  
José Antonio Gutiérrez Gallego  
Ángela Engelmo Moriche (eds.)

## Las TIG ante los nuevos retos globales en un contexto cambiante

Actas de la XVIII CONFIBSIG 2023  
Cáceres, 16-19 de mayo de 2023



Cáceres  
2023



Esta obra ha sido objeto de evaluación por el Consejo Asesor del Servicio de Publicaciones de la Universidad de Extremadura y aprobada su publicación en reunión celebrada el 5 de mayo de 2023.

Tipografía utilizada: Bembo Std (para cubierta y páginas iniciales), Palatino LT Std y Avenir LT Std (para el texto de la obra)

Imagen de cubierta:

Edita:

Universidad de Extremadura. Servicio de Publicaciones  
Plaza de Caldereros, 2. 10071 Cáceres (España)  
Tel. 927 257 041; Fax 927 257 046  
[publicac@unex.es](mailto:publicac@unex.es)  
<https://publicauex.unex.es>

*Maquetación y edición multimedia:* Dosgraphic, s. l.

E-ISBN: 978-84-9127-185-7 (edición digital en acceso abierto)

**Dehesa** Repositorio  
Institucional

Acceso abierto en el Repositorio Institucional de la Universidad de Extremadura



# ÍNDICE

	<u>Páginas</u>
<b>Prólogo .....</b>	<b>15</b>
<i>Ana Nieto Masot</i>	
<b>Veinte años no es nada y puede ser mucho.....</b>	<b>19</b>
<i>Gustavo D. Buzai</i>	
 <b>1. GEOINFORMACIÓN</b>  	
<b>Cartografía participativa como herramienta para el micoturismo en una comunidad matlatzinca del Estado de México.....</b>	<b>25</b>
<i>Ayala Villada, Laura; González Becerril, Lidia Alejandra; Thomé Ortiz, Humberto</i>	
<b>El servicio público de la información geográfica. CICTEX y Plan Estratégico de Cartografía e Información Territorial.....</b>	<b>35</b>
<i>Caballero Cáceres, Carmen; Aparicio Ríos, Alberto; Campos Delgado, Juan Carlos; Soriano Covarsí, Marcos</i>	
<b>Del SIG municipal a la IDE de Cáceres. Acercando los datos al ciudadano.....</b>	<b>43</b>
<i>Cordero Montero, Faustino; Álvarez Llorente, Luis Antonio</i>	
<b>Cartografía vectorial para móviles del IGN-CNIG.....</b>	<b>53</b>
<i>Fernández Carmona, Jacinto</i>	
<b>Geoportal para la mejora y acondicionamiento de caminos rurales mediante criterios sostenibles. Caso de Estudio: Catálogo de Caminos Públicos del municipio de Montijo (Extremadura).....</b>	<b>57</b>
<i>Rodríguez Bueno, Antonio; Moya Ignacio, Manuel; Ayuga Téllez, Francisco</i>	
<b>La selección de unidad espacial de análisis como problema en la visualización web de información georreferenciada: un caso de uso.....</b>	<b>73</b>
<i>Pedicino, Josefina</i>	

## 2. TELEDETECCIÓN Y GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL

<b>Una propuesta para cartografiar el uso/cobertura de suelo mediante el Geo Big Data. Uruguay, año agrícola 2021-2022 .....</b>	<b>85</b>
<i>Alciaturi, Giancarlo; Umpiérrez, Rodrigo; Agudelo, Fabiana; Panzl, Rebeca; Fernández, Virginia</i>	
<b>Detección y relleno de píxeles de nubes utilizando redes neuronales recurrentes .....</b>	<b>93</b>
<i>Alonso Sarria, Francisco; Valdivieso Ros, Carmen; Gomariz Castillo, Francisco</i>	
<b>Análisis de la cubierta nival a partir de los sensores RapidEye y Sentinel-2: glaciares pirenaicos.....</b>	<b>99</b>
<i>Aransay González, Raquel; Conde Oria, Francisco</i>	
<b>Estimación del volumen de agua de charcas en fincas de ganadería extensiva de Extremadura (España) mediante técnicas mejoradas basadas en Tecnologías de Información Geográfica (TIG).....</b>	<b>105</b>
<i>Castaño Martín, Francisco Manuel; Gómez Gutiérrez, Álvaro; Marín Comitre, Ubaldo; Pulido Fernández, Manuel</i>	
<b>Información de sensores aéreos y espaciales para el estudio de los cambios en la cobertura terrestre en el Ecuador .....</b>	<b>115</b>
<i>Delgado Inga, Víctor Omar; Toledo López, Edgar</i>	
<b>Sistemas silvopastoriles en la región Mediterránea.....</b>	<b>129</b>
<i>Rubio Delgado, Judit; Schnabel, Susanne</i>	
<b>Extensión y distribución espacial de sistemas agroforestales asociados a elementos leñosos en la Unión Europea.....</b>	<b>135</b>
<i>Rubio Delgado, Judit; Schnabel, Susanne; Lavado Contador, J. Francisco</i>	
<b>Análisis de la evolución en 20 años del terreno de zonas en las que se ubican vertidos ilegales de construcción y demolición a partir de la serie histórica de ortofotografías del PNOA.....</b>	<b>141</b>
<i>Expósito Paulano, Guillermo Agustín; Sánchez-Fernández, Manuel; Arenas García, Lorea</i>	
<b>Detección de vertidos ilegales de residuos de construcción y demolición mediante fotointerpretación de modelos procedentes del DEM.....</b>	<b>147</b>
<i>Sánchez-Fernández, Manuel; Gutiérrez Gallego, José Antonio; Arenas García, Lorea</i>	
<b>Monitoreo de las playas de bolsillo maltesas mediante el uso de imágenes satelitales .....</b>	<b>153</b>
<i>Galone, Luciano; D'Amico, Sebastiano; Colica, Emanuele; Gauci, Adam</i>	

<b>Uso de Google Earth Engine para caracterizar coberturas forestales en la Comunidad de Madrid.....</b>	<b>159</b>
<i>Novillo, Carlos J.; Romero-Calcerrada, Raúl</i>	

<b>Uso de herramientas de análisis espacial para mapear y explicar el deslizamiento de Mitlatongo (Oaxaca, México).....</b>	<b>169</b>
<i>Franch Pardo, Iván; Vázquez Castro, Gabriel; Pérez Valladares, Cloe Xóchitl; Cruz Márquez, José Luis</i>	

<b>Metodologías de teledetección para el cambio de cobertura y uso del suelo en áreas costeras e islas oceánicas: una revisión sistemática.....</b>	<b>175</b>
<i>Tiengo, Rafaela; Palácios-Orueta, Alicia; Uchôa, Jéssica; Gil, Artur</i>	

### **3. LAS TIG PARA AYUDA A LAS DECISIONES ESPACIALES**

<b>Caracterización de los focos de residuos ilegales en Extremadura.....</b>	<b>187</b>
<i>Alfonso-Torreño, Alberto; Gutiérrez Gallego, José Antonio</i>	

<b>Validación de datos meteorológicos en diferentes escenarios para interpolación geoespacial mediante kriging.....</b>	<b>191</b>
<i>Alonso Pascual, Leticia; Polo García, María Eugenia</i>	

<b>Comparación de algoritmos de aprendizaje automático para la cartografía de propiedades del suelo en Extremadura, España.....</b>	<b>199</b>
<i>Barrena-González, Jesús; Gabourel Landaverde, Anthony; Amine Abdennour, Mohamed; Lavado Contador, J. Francisco</i>	

<b>Diagnóstico de la inequidad espacial en el acceso a la red de autobuses públicos entre la población más y menos desfavorecida-vulnerable en Santa Fe de la Vera Cruz, Argentina.....</b>	<b>203</b>
<i>Bosisio, Andrea; Moreno Jiménez, Antonio</i>	

<b>Evaluación del efecto de la pandemia de COVID-19 en el uso del transporte público en la ciudad de Santa Fe de la Vera Cruz, Argentina.....</b>	<b>209</b>
<i>Bosisio, Andrea; Talavera-García, Ruben</i>	

<b>Evidencias del cambio climático en el verano de 2022: olas de calor, noches tropicales y mala calidad del aire por PM<sub>10</sub> en la Comunidad de Madrid.....</b>	<b>217</b>
<i>Cañada Torrecilla, María Rosa</i>	

<b>Estudio de la movilidad interurbana en los corredores de autobuses regionales de Madrid en el escenario postcovid.....</b>	<b>223</b>
<i>Cara Santana, Yeray; Moya-Gómez, Borja; García Palomares, Juan Carlos</i>	
<b>Identificación de solares y caracterización de los espacios productivos de Andalucía mediante la reutilización de fuentes de información administrativas.....</b>	<b>231</b>
<i>Castilla Higuero, Eduardo; Copano Ortiz, Luis; Merchán Jiménez Andrades, José Ignacio; Moreno Muñoz, José Antonio; Pardo Pérez, Emilio José</i>	
<b>Análisis de agrupamiento de los municipios turísticos en Cantabria empleando la técnica de los Vecinos Próximos.....</b>	<b>241</b>
<i>Conde Oria, Francisco; Aransay González, Raquel</i>	
<b>Resiliencia regional: un análisis de la economía regional portuguesa .....</b>	<b>249</b>
<i>Ferreira, Márcio; Sá Marques, Teresa</i>	
<b>Variabilidad geográfica del uso de camas hospitalarias en Chile .....</b>	<b>257</b>
<i>Fuenzalida, Manuel</i>	
<b>Identificación de áreas potenciales para la introducción de sistemas agroforestales en Europa.....</b>	<b>265</b>
<i>Gabourel Landaverde, Anthony; Barrena González, Jesús; Lavado Contador, J. Francisco; Schnabel, Susanne</i>	
<b>Aproximación a la accesibilidad del transporte público en el trayecto desde Collado Villalba a Madrid .....</b>	<b>275</b>
<i>Gutiérrez Gallego, José Antonio; Ortiz García, Jordi; Arrate Cifuentes, Ricardo</i>	
<b>El uso de las TIG para el desarrollo de políticas públicas en materia de seguridad en el medio rural.....</b>	<b>281</b>
<i>Gutiérrez Gallego, José Antonio; Ortiz García, Jordi; Rufo Rey, Miguel Ángel; Nieto Masot, Ana</i>	
<b>¿Puede influir el grado de accesibilidad a los servicios y al empleo en la acentuación del proceso de despoblación? Extremadura como ámbito de estudio mediante el uso de herramientas SIG.....</b>	<b>287</b>
<i>Horcajo Romo, Ana Isabel; Pérez Pintor, José Manuel; Gutiérrez Gallego, José Antonio</i>	
<b>Identificación automática de cubiertas con amianto en edificios mediante análisis de imagen OBIA-Random Forest y redes neuronales convolucionales .....</b>	<b>295</b>
<i>Lavado Contador, J. Francisco; Gabourel Landeverde, Víctor Anthony; Ortega Casado, Gonzalo; Corzo Gajón, Antonio José; Vadillo Sánchez, Raúl; Amador González, Claudio Lucas</i>	

<b>Variaciones latitudinales y altitudinales de las precipitaciones extremas en Chile: resultados con implicaciones para la planificación territorial.....</b>	<b>301</b>
<i>Lozano-Parra, Javier; Garrido-Velarde, Jacinto</i>	
<b>Efecto de las variaciones climáticas sobre los recursos hídricos en los principales ecosistemas de Extremadura: resultados con implicaciones para la gestión sostenible .....</b>	<b>307</b>
<i>Lozano-Parra, Javier; Garrido-Velarde, Jacinto; Alfonso-Torreño, Alberto; Barrena-González, Jesús</i>	
<b>El ruido con sonómetro y nodos sensores, caso de estudio Cuenca – Ecuador 2021 .....</b>	<b>313</b>
<i>Martínez, Julia; Vanegas, Ismael; Espinoza, Darío; Salgado Castillo, Francisco</i>	
<b>Geoestadística y SIG como herramientas de valoración de indicadores urbanos de sostenibilidad en ciudades medias.....</b>	<b>327</b>
<i>Martínez García, Francisco Manuel; Jiménez-Espada, Montaña; González-Escobar, Rafael</i>	
<b>La Política Agraria Común (PAC) en Extremadura durante el período 2014-2020. Análisis SIG a través de modelos de regresión.....</b>	<b>333</b>
<i>Martínez García, Francisco Manuel; Nieto Masot, Ana; Cárdenas Alonso, Gema; Pérez Pintor, José Manuel</i>	
<b>Aplicación de un análisis de sensibilidad para validar un modelo de simulación de crecimiento urbano a partir de autómatas celulares y basado en parcelas (LP-CA).....</b>	<b>343</b>
<i>Molinero Parejo, Ramón; Gómez Delgado, Montserrat; Aguilera Benavente, Francisco</i>	
<b>Propuesta de sendero interpretativo a través de SIG en el Area Natural Protegida El Doradillo, Puerto Madryn, Chubut, Argentina.....</b>	<b>351</b>
<i>Novara, Mauro</i>	
<b>Análisis de la influencia de índices climáticos sobre la sequía en zonas de páramo andino ecuatoriano.....</b>	<b>359</b>
<i>Pacheco Niveló, Jheimy; Solera Solera, Abel; Avilés Añazco, Alex</i>	
<b>Identificación de árboles en zonas urbanas por transferencia de aprendizaje .....</b>	<b>371</b>
<i>Pacheco Prado, Diego; Bravo López, Paul; Ruiz, Luis Ángel</i>	
<b>Sostenibilidad y planificación urbana mediante herramientas GIS en ciudades medias: el caso de la ciudad de los 15 minutos aplicado en la red urbana de Extremadura (España) .....</b>	<b>377</b>
<i>Pérez Pintor, José Manuel; Pérez Pintor, Juan Carlos; Ruiz Labrador, Enrique Eugenio</i>	

<b>Metodología SIG para el cálculo de Zonas Climáticas Locales .....</b>	<b>385</b>
<i>Picone, Natasha; Esposito, Antonio; Palusci, Olga; Emmanuel, Rohinton; Buccolieri, Riccardo</i>	
<b>Determinação do potencial do Centro Interior de Portugal para o Turismo de Natureza com recurso a um Sistema Espacial de Apoio à Decisão.....</b>	<b>391</b>
<i>Quinta-Nova, Luís</i>	
<b>Análisis del efecto de la pandemia de la COVID-19 en la actividad turística mediante el empleo de análisis de agrupamiento .....</b>	<b>397</b>
<i>Ríos Rodríguez, Nerea; Nieto Masot, Ana; Cárdenas Alonso, Gema</i>	
<b>El panel geográfico como herramienta poderosa para difundir los avances en los indicadores relacionados con la salud de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en el Estado de México.....</b>	<b>407</b>
<i>Santana Castañeda, Giovanna; Sánchez Carrillo, Christian Iván; Serrano Barquín, Rebeca Angélica; Santana Juárez, Marcela Virginia</i>	
<b>Evaluación de riesgos y análisis geográfico sobre la distribución de mosquitos en la Escuela Secundaria de la Universidad de Puerto Rico.....</b>	<b>415</b>
<i>Sequinot Barbosa, José</i>	
<b>Identificación espacial de conglomerados de la mortalidad infantil en la región Pacífico Sur Mexicano y su asociación con los Condicionantes Socioespaciales de la Salud .....</b>	<b>419</b>
<i>Villeras Alarcón, Iliana; Juárez Gutiérrez, María del Carmen; Santana Castañeda, Giovanna</i>	
<b>Análisis espacial de la pobreza (vulnerabilidad) socioeconómica infantil en el estado de Guerrero, México.....</b>	<b>427</b>
<i>Villeras Salinas, Salvador</i>	
<b>Estudio comparativo de la contaminación atmosférica en las ciudades de Chengdu (China) y Madrid (España) con aplicaciones de las TIG.....</b>	<b>435</b>
<i>Wang, Wenyu</i>	

#### **4. LAS TIG EN LA DOCENCIA Y EN LA DIVULGACIÓN DEL CONOCIMIENTO GEOGRÁFICO**

<b>Aproximación geoestadística a los alcaldes de las primeras elecciones municipales democráticas: la provincia de Cáceres.....</b>	<b>445</b>
<i>Curado Casquero, José Carlos; Jaraíz Cabanillas, Francisco Javier</i>	



---

<b>La competencia escrita y el razonamiento crítico en los Grados de Maestros de cinco universidades españolas (Extremadura, Madrid, Barcelona, Zaragoza y Jaén).....</b>	<b>451</b>
<i>Gómez Caballero, Marta; Soto Vázquez, José</i>	
<b>Sistemas de Información Geográfica aplicados en la enseñanza de la valuación .....</b>	<b>461</b>
<i>Hernández Bernal, Jesús Emilio; Chávez Nungaray, Erika</i>	
<b>Hacia un atlas-web interactivo: una propuesta de extensión universitaria para la enseñanza en Geografía.....</b>	<b>469</b>
<i>Principi, Noelia; Montes Galbán, Eloy; Buzai, Gustavo</i>	
<b>Projeto Educação pós-pandemia: O uso de ferramentas tecnológicas no ensino de Geografia – SIG e sua aplicabilidade .....</b>	<b>475</b>
<i>Tavares Cerino, Willian</i>	



# PRÓLOGO

ANA NIETO MASOT  
Universidad de Extremadura  
Presidenta Ejecutiva de la REDISIG (2019-2023)

La Red Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (REDISIG) y el INTERRA (Instituto Universitario de Investigación para el Desarrollo Territorial Sostenible) de la Universidad de Extremadura han organizado la XVIII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (CONFIBSIG) que se celebró en Cáceres, en la Facultad de Filosofía y Letras entre el 16 y el 19 de mayo de 2023.

Las CONFIBSIG constituyen reuniones bianuales, de carácter científico-tecnológicas, con un ámbito territorial centrado en Iberoamérica y donde se exponen durante varios días los mayores avances en cuanto a los desarrollos teóricos, metodológicos y de aplicación correspondientes a las Tecnologías de la Información Geográfica (Sistemas de Información Geográfica y Teledetección). Avances realizados desde diferentes disciplinas que han encontrado en la Geografía como ciencia y, particularmente, en la geoinformación una dimensión fundamental para sus estudios.

Esta Conferencia, supone la número dieciocho, y como he mencionado previamente se han celebrado cada dos años excepto en el 2021 que fue suspendida por la pandemia del COVID-19. Diversas Universidades han organizado el evento, mayoritariamente iberoamericanas de Costa Rica Venezuela, Chile, Brasil, Argentina, Perú, Puerto Rico, México, Honduras y Ecuador. Y destacamos que en tan sólo dos ocasiones se ha logrado realizar al otro lado del océano atlántico en la Península Ibérica, y en ambos casos en Cáceres (en 2003, se cumplen 20 años de ello) y la que mostramos sus principales aportaciones en esta publicación, en 2023. Ambas veces organizada desde las Áreas de Geografía de la Universidad de Extremadura, en el primer evento bajo la coordinación del profesor José Luis Gurría y, en esta ocasión, donde actúo como Coordinadora pero con la ayuda encomiable de mis compañeros y compañeras de Geografía que han formado parte del Comité Organizador y Científico además de otros representantes de las diferentes universidades iberoamericanas que forman REDISIG.

Ha sido una oportunidad que en ambas ocasiones hayamos podido ser parte de este evento de tan gran envergadura y relevancia en el mundo académico e investigador de las Tecnologías de la Información Geográfica. La novedad además que se ha introducido en esta Conferencia y que nos ha brindado la oportunidad de una

mayor participación es que se realizó de forma híbrida. Se retransmitieron las cuatro conferencias plenarias, impartidas por los doctores Javier Gutiérrez Puebla, de la Universidad Complutense de Madrid, Gustavo Buzai de la Universidad de Lujan y de la Universidad de Extremadura, los doctores Ángel Felicísimo y Elia Quirós, además de las diferentes comunicaciones.

El lema “Las TIG ante los nuevos retos globales en un contexto cambiante” ha querido sintetizar las respuestas que se están desarrollando desde las Tecnologías de la Información Geográfica ante los numerosos cambios medioambientales y sociales actuales que abogan hacia un futuro más sostenible en todas las escalas, a nivel global, regional y local. La disponibilidad y accesibilidad a la información han cambiado radicalmente durante las últimas décadas, en la que las TIG están además profundizando en la dimensión social, con el auge de la facilidad en el acceso a la información sobre todo por la revolución de las redes y la información móvil y su potencial de difusión del conocimiento espacial.

La Conferencia se ha sintetizado en cuatro líneas temáticas donde se han presentado 58 trabajos de diferentes procedencias y temáticas cuyos resúmenes, tanto en español como en inglés, aparecen a continuación en este libro de actas publicado por el Servicio de Publicaciones de la Uex con casi 500 páginas. Las líneas temáticas que se presentaron fueron:

## LÍNEA 1: LA GEOINFORMACIÓN

Se han presentado 6 trabajos donde se expone el potencial de la publicación de los datos en la web: como Infraestructuras de Datos Espaciales (ayuntamiento de Cáceres y la Junta de Extremadura), nuevos desarrollos de cartografías vectoriales para móviles (IGN), o cartografías participativas para el turismo, geoportales de caminos rurales. Siempre en la búsqueda de nuevos métodos que avance en la publicación de la información geográfica sobre todo a través de la información en la red o en los móviles y nuevos ámbitos de aplicación de la información territorial.

## LÍNEA 2: TELEDETECCIÓN: MÉTODOS Y TÉCNICAS DE OBSERVACIÓN DE LA TIERRA EN EL SIGLO XXI

Los avances en las nuevas fuentes de información para observar la tierra y la forma de procesar esta información (desde los primeros satélites meteorológicos Tiros-NOAA, el programa sobre recursos terrestres Landsat, hasta los nuevos sensores como es el satélite de la agencia espacial europea, el programa SENTINEL) o los avances en otras plataformas multispectrales o hasta los sensores activos Radar y Lidar son fundamentales en esta línea de trabajo en las TIG. Por ello, en esta línea se han presentado 13 aportaciones donde se emplean sensores como Sentinel, Rapid-Eye, ortofotografías históricas, google Earth o vuelos de drones y métodos como las redes neuronales o *deep learning* para el estudio de fenómenos tan diversos como la evolución de vertidos ilegales, de las cubiertas de nieve, deslizamientos en masa, detección de nubes y su filtrado y, cambios en los usos de suelo en zonas mediterráneas, tropicales o áreas costeras. Siempre con la finalidad de avanzar en la

sostenibilidad, reducir el impacto del cambio global y los efectos adversos que tiene en la población.

### **LÍNEA 3: LAS TIG PARA AYUDA A LAS DECISIONES ESPACIALES**

Se han presentado cuarenta aportaciones para dar respuesta con tecnologías TIG a temáticas de tan actualidad como el cambio global, la justicia social y el acceso a los servicios, el diseño de territorios inteligentes (Smart cities) o problemáticas tan relacionadas con nuestro territorio como el despoblamiento. Trabajos donde se estudian aplicaciones de las TIG al ámbito socioeconómico: políticas públicas en salud y educación, movilidad y transportes en el diseño de ciudades y territorios más sostenibles, reducción de la pobreza y el despoblamiento, localización de residuos ilegales, turismo, geomarketing, comercio, etc. Todo ello con nuevos modelos y fuentes de información como los autómatas celulares, análisis de redes, la interpolación y con una finalidad de mejorar las condiciones de vida de la población.

### **LÍNEA 4: LAS TIG EN LA DOCENCIA Y EN LA DIVULGACIÓN DEL CONOCIMIENTO GEOGRÁFICO**

Se han presentado cinco comunicaciones donde se exponen proyectos educativos y atlas web que evolucionan en la enseñanza de la geografía o en las competencias de los nuevos estudiantes.

Destacamos la diversidad de procedencias territoriales, encontramos trabajos de ambos lados del Océano y de la Península Ibérica y las diversas escalas y métodos que se han abordado y que contribuyen en el avance del conocimiento científico de las TIG. En nombre del Comité Organizador y Científico de la Conferencia y de la REDISIG esperamos que en esta publicación se muestren las principales aportaciones y los numerosos avances que se desarrollaron durante la celebración de la Conferencia.



# VEINTE AÑOS NO ES NADA Y PUEDE SER MUCHO

GUSTAVO D. BUZAI  
Universidad Nacional de Luján  
Instituto de Investigaciones Geográficas  
Presidente General de la REDISIG (2019-2023)

**L**os argentinos de mi generación, aquellos que nacimos a mediados del siglo pasado, tenemos muy presente que “veinte años no es nada” ... sin dudas por haber escuchado infinidad de veces el tango “Volver” realizado por Carlos Gardel y Alfredo Lepera en 1934.

Desde que quedó definida la candidatura de la Universidad de Extremadura (UNEX) para realizar la XVIII CONFIBSIG en 2023 esa frase me vino nuevamente a la cabeza y finalmente se produjo esta realidad... volvimos a la ciudad de Cáceres después de dos décadas.

El inicio de este período se produjo entre el 24 y 26 de septiembre de 2003 cuando fue realizada la IX CONFIBSIG con la coordinación del Dr. José Luis Gurriá Gascón y del 16 al 18 de mayo de 2023 se realiza la XVIII CONFIBSIG con la coordinación de la Dra. Ana Nieto Masot.

Sin dudas, a los que asistimos al primer evento mencionado, seguramente nos resultará bastante difícil explicar lo rápido que pasó el tiempo.

Con esta nueva edición la CONFIBSIG cumple 36 años. Luego de haber realizado algunos trabajos de sistematización correspondiente a su historia (Buzai y Robinson, 2010) puedo decir que muchos eventos presentan aspectos de verdadera relevancia. En el año 2003 un mérito importante estaría dado por haber sido la primera vez que la reunión cruzaba el Océano Atlántico hacia Europa brindándole fácticamente su verdadera impronta iberoamericana.

Entre los eventos del 2003 y 2023 pasó mucho. Sucesivas CONFIBSIG fueron realizadas en Puerto Rico (2005), Argentina (2007), Costa Rica (2009), México (2011), Honduras (2013), Chile (2015), Ecuador (2017), Argentina (2019) y lamentablemente en 2021 se produjo su suspensión por la pandemia de COVID-19. A partir de estos eventos se pudo verificar una evolución temática imparable hacia la digitalización del mundo que aceleró el espacio-tiempo y posibilitó análisis de mayor detalle para llegar a la escala 1:1 focalizada en el trabajo de Sánchez (2022).

El camino se está transitando mediante la ampliación de las posibilidades de análisis desde la aplicación de modelos generales hacia perspectivas locales de mayor detalle con la finalidad de brindar un panorama conjunto cada vez más completo.

Tomaré como ejemplo solo una línea temática: los modelos de localización-asignación, en el campo del Geomarketing, que fueron la novedad a través de resoluciones simples y factibles en Cáceres 2003 y eran impensados como forma de resolución automatizada al alcance de todos dos décadas antes, es decir, en 1983 cuando aún faltaban cuatro años para el inicio de las CONFIBSIG, hoy comienzan a ser ampliados a partir del Neuromarketing, el cual avanza hacia el análisis de los comportamientos individuales geolocalizados. Para ello el uso de datos geográficos masivos (*big-data*) en formato digital obtenidos a partir de la recolección realizada por las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC) y las capacidades actuales del procesamiento numérico computacional, inclusive en tiempo real, resulta ser fundamental y, este, es un tema contemplado en Cáceres 2023.

Los Sistemas de Información Geográfica, desde su comienzo, presentan una muy acelerada evolución. Tan dinámica que en la XVI CONFIBSIG realizada en la Universidad del Azuay (Cuenca, Ecuador) lo presenté con la equivalencia que nos indica que la dinámica experimentada en un año del SIG equivale a 4.000 años de evolución humana (Buzai, 2017).

Veinte años no es nada y puede ser mucho. Pasó rápidamente y en el interior de los extremos los contenidos se ampliaron (mayor densidad) y evolucionan a mucha velocidad (más cambiantes). Hoy, la XVIII CONFIBSIG nos actualiza nuevamente en el *estado del arte* y se presenta en una nueva modalidad, no solamente tenemos la posibilidad de encontrarnos personalmente luego de superarse la pandemia sino que, además, brinda la posibilidad de la participación a distancia para aquellos colegas que no pudieron llegar en persona pero que también quisieron estar presentes.

Los libros realizados (Gurria *et al.*, 2005 y Nieto *et al.*, 2023) quedan como memoria de este período en el que la UNEX desempeñó un papel muy significativo para la divulgación la evolución temática de los SIG en Iberoamérica en un período de extensión coincidente con el lapso de los momentos de ciencia normal en la Geografía Humana.

Esta publicación colma nuestras expectativas y sigue en la senda de la construcción de un camino virtuoso para la evolución del tema, ahora decididamente, en el ámbito de las nuevas generaciones de geógrafos, ya claramente, nativos digitales. En ellos quedará la responsabilidad de seguir apuntalando la CONFIBSIG con la convicción de la utilidad social del buen uso tecnológico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Buzai, G.D. (2017). *ADN del SIG. XVII CONFIBSIG (Conferencia)*. Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador (<https://www.youtube.com/watch?v=oCvBN39-kXg>).
- Buzai, G.D. & Robinson, D. (2010). Geographical Information Systems in Latin America, 1987-2010: A Preliminary Overview. *Journal of Latin American Geography*, 9, 3, pp. 9-31.



- Gurría Gascón, J.L., Hernández Carretero, A.M. & Nieto Masot, A. (eds.) (2005). *De lo local a lo global. Nuevas tecnologías de la información geográfica para el desarrollo*. Cáceres: Universidad de Extremadura, Servicio de Publicaciones.
- Nieto Masot, A., Cárdenas Alonso, G., Gutiérrez Gallego, J.A. & Engelmo Moriche, A. (eds.) (2023). *Las TIG ante los nuevos retos globales en un contexto cambiante. Actas de la XVIII CONFIBSIG*. Cáceres: Universidad de Extremadura, Servicio de Publicaciones.
- Sánchez, J.I. (2022). La escala 1:1 y los Sistemas de Información Geográfica modernos. En: Buzai, G.D. y Montes Galbán, E. (comps.), *Pensando los Sistemas de Información Geográfica desde Iberoamérica*. Buenos Aires: Instituto de Investigaciones Geográficas, UNLu, pp. 271-274.



# 1. GEOINFORMACIÓN





# CARTOGRAFÍA PARTICIPATIVA COMO HERRAMIENTA PARA EL MICOTURISMO EN UNA COMUNIDAD MATLATZINCA DEL ESTADO DE MÉXICO

AYALA VILLADA, LAURA

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Campus "El Cerillo Piedras Blancas" Toluca,  
Estado de México, México, [layalav002@alumno.uaemex.mx](mailto:layalav002@alumno.uaemex.mx)

GONZÁLEZ BECERRIL, LIDIA ALEJANDRA

Facultad de Geografía, UAEMEX, Cerro de Coatepec s/n. Ciudad Universitaria, Toluca,  
Estado de México, México, [lagonzalezb@uaemex.mx](mailto:lagonzalezb@uaemex.mx)

THOMÉ ORTIZ, HUMBERTO

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Centro de trabajo,  
Campus "El Cerillo Piedras Blancas" Toluca, Estado de México, México, [hthomeo@uaemex.mx](mailto:hthomeo@uaemex.mx)

**E**n las últimas décadas, el enfoque participativo ha sido de gran relevancia para las investigaciones sociales, existiendo diferentes términos para referirse a este, como: cartografía comunitaria, mapeo comunitario, SIG participativo, cartografía participativa, por citar algunos ejemplos. La diferencia se encuentra tanto en el método aplicado como en las características de los usuarios a quien está dirigido. En esta investigación se retomó el término de cartografía participativa (CP), que en la actualidad se considera una herramienta útil como método de trabajo aplicado, y de acuerdo con la asociación de proyectos comunitarios, la CP es un proceso de Investigación Acción Participativa (IAP), donde la investigación es llevada a cabo en colaboración con la comunidad, aportando los conocimientos y experiencias que tiene sobre su territorio, con la finalidad de representar en mapas una determinada actividad y/o conjunto de conocimientos.

La cartografía participativa tiene como antecedente a las metodologías realizadas por los diagnósticos rurales participativos, considerados como una forma de recoger y reflejar en medios tangibles la información que tradicionalmente se transmitía de manera oral, debido a los niveles de analfabetismo en muchas comunidades (FIDA, 2010). Los mapas, históricamente se han elaborado para representar diversas temáticas del espacio geográfico. De acuerdo con Bracerías (2012), desde el punto de vista de la CP, éstos son considerados como métodos visuales, que facilitan la incorporación de este tipo de fuentes de información, consiguiendo fomentar la

participación de un mayor número de personas, a la vez aumenta el diálogo y la negociación.

El Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), considerar a la cartografía participativa como: "...la creación de mapas por la comunidad locales, a menudo con la participación de organizaciones que les presentan apoyo, entre ellas autoridades (de distintos niveles), ONG, universidades y otros agentes que se dedican al desarrollo y planificación relacionada con la tierra" (Subires, 2012: 204).

De acuerdo con lo anterior, la CP busca dotar a los miembros de las comunidades participantes las competencias y conocimientos necesarios para que sean capaces de elaborar sus propios mapas y representar su propio saber espacial, tanto para su propio uso, como para transmitir este saber a otras personas ajenas a dicha comunidad (FIDA, 2009: 7; citado por Subires, 2012: 204).

En este sentido, esta ponencia se desprende del proyecto de investigación intitulado: "Diseño de un sendero micoturístico en San Francisco Oxtotilpan, Temascaltepec, Estado de México, como estrategia de desarrollo rural basada en el turismo", y se consideró a la cartografía participativa como una de las fases iniciales de la investigación, teniendo como objetivo generar una cartografía a detalle con apoyo de los habitantes rurales dedicados a la recolección de hongos como estrategia económica complementaria y, en algunos casos, como detonador del turismo local en la comunidad de San Francisco Oxtotilpan.

La metodología empleada se estructuró en cinco etapas: i) reuniones activas con los comuneros y autoridades locales, con el fin de conocer la problemática que presentan en términos de falta de cartografía, para identificar espacialmente los lugares con presencia de hongos comestibles silvestres en las diferentes épocas del año; por otro lado, la necesidad que tienen de dar a conocer a los turistas locales, la diversidad de hongos comestibles silvestres que fructifican en el territorio para fomentar el turismo local, a través del micoturismo. ii) El empleo de las tecnologías de la información geográfica, en particular aplicaciones (app) con el enfoque cartográfico, siendo Cartodroid, utilizada para georreferenciar los lugares con presencia de hongos y las rutas para llegar a estos lugares. iii) Talleres participativos con los comuneros y autoridades locales, realizados en dos vertientes, la primera enfocada al conocimiento y manejo de mapas impresos e imágenes de satélite de la zona, y la segunda, con énfasis en el señalamiento de los lugares con presencia de hongos y el trazo de las rutas para llegar a estos lugares. iv) Visitas guiadas por los comuneros a los lugares donde se encuentran los hongos, teniendo el propósito de identificar los sitios de fructificación en la imagen de satélite, y así conocer la factibilidad de accesibilidad al lugar. v) La generación de la cartografía donde los comuneros señalaron los sitios de fructificación, los lugares con una especial riqueza paisajística y las rutas más adecuadas para fomentar al micoturismo.

La zona de estudio es la localidad de San Francisco Oxtotilpan, está situada en el Municipio de Temascaltepec, Estado de México y se ubica a 20.2 km al sureste de la cabecera municipal, se encuentra a 2,624 m.s.n.m; tiene una población de 1,506 habitantes según datos de INEGI (2020), es la quinta localidad más poblada de Temascaltepec. Se caracteriza por ser una localidad indígena Matlatzinca, siendo el

último bastión de este grupo étnico a nivel nacional. Actualmente, ofrece servicios de turismo rural comunitario, a través de lo cual se busca generar un ingreso que complementa su economía.

Las principales actividades económicas de la localidad son derivadas del sector primario como la agricultura y la ganadería, según lo informa el Consejo Estatal para el Desarrollo Integral de los Pueblos Indígenas (CEDIPIEM). Los habitantes de la localidad pretenden mejorar sus condiciones económicas a través de actividades como la recolección de hongos comestibles silvestres, ya que es una actividad con fuerte anclaje histórico y cultural en la comunidad, siendo una actividad relevante en términos alimentarios y recreativos de cara a su proyecto turístico. Dado su alto potencial como recursos turísticos, esta actividad se retoma para la generación de la cartografía micológica participativa, ya que sólo los comuneros conocen los lugares, temporalidades y especies, relacionadas con la fructificación de hongos.

Resultados: La propuesta de trabajo surge a partir del creciente interés turístico que ha despertado la comunidad, siendo el contacto con académicos y autoridades locales el primer eslabón que nos permitió articularnos con los recolectores matlatzincas de hongos comestibles silvestres. De igual manera, un aspecto clave fue ubicar a los actores locales involucrados en el desarrollo del turismo comunitario.

En el proceso de acercamiento a estos líderes se llevó a cabo a través de tres reuniones. En la primera, se tuvo un diálogo con los coordinadores del proyecto turístico, con la intención de conocer cuáles son las actividades y servicios que ofrecen a los turistas en cada visita, además de conocer sus ideas, planes o expectativas para mejorar la calidad de su oferta turística; esto con la intención de estructurar y argumentar la propuesta de trabajo que se realizará para su comunidad. La segunda reunión se llevó a cabo con la asamblea de comuneros, en donde se expuso la propuesta de trabajo que complementarían las actividades de turismo rural que ya ofrecen con un producto que ayude a fortalecer y diversificar su oferta turística: "un sendero micoturístico". La propuesta se quedó en evaluación para dar una respuesta en la próxima reunión. En la tercera reunión se dio la autorización para poder trabajar dentro de la comunidad en conjunto con los coordinadores generales de la actividad turística, los recolectores tradicionales y los guías locales, que conocen ampliamente su territorio y los lugares específicos en donde se da la producción de hongos comestibles silvestres.

La población de la comunidad es pequeña (1400 habitantes), por lo cual se ha trabajado con un equipo base no mayor a 20 personas, entre coordinadores del proyecto de turismo rural comunitario, guías de senderos, recolectores de hongos comestibles silvestres y miembros de la localidad que ofrecen otros servicios a los turistas y que además de estar interesados en el proyecto conocen el territorio, aportan ideas y muestran una actitud participativa.

Una vez definido el equipo de trabajo participativo, se dedicaron numerosas sesiones para poder aplicar nuestra cartografía participativa. En primer lugar, se les presentó una cartografía impresa a través de imágenes de satélite en donde podían observar el territorio que pertenece a la localidad, se les dio una explicación acerca de lo que se podía ver representado en la imagen y la orientación geográfica de acuerdo con el punto en donde estaban parados en ese momento.

Esta presentación de cartografía se consideró como un taller en el que se le mostró al grupo la cartografía de la comunidad, su conceptualización, el tipo de información que contiene y los usos que pueden dar a estos materiales, así como las ventajas de utilizar estas estrategias para reconocer zonas específicas en su territorio.

Como práctica se les pidió que identificaran los límites del área natural que pertenece a su localidad y las zonas que ellos reconocen con mayor producción de hongos comestibles silvestres y en donde existen veredas o caminos cercanos que podrían ser habilitados como senderos turísticos. Una vez identificadas estas zonas, se seleccionaron las que ellos indicaron que se podían mostrar en los recorridos turísticos.

Con base en esta selección se realizaron recorridos por estas zonas con el apoyo de herramientas cartográficas como "Google Maps" y "CartoDroid". En esta fase solo se les mostraron las aplicaciones para, posteriormente, darles más información sobre su uso y características.

Una vez realizados los recorridos se obtuvieron los puntos georreferenciados del camino, lo cual permitió realizar un análisis sobre las características fisicogeográficas del terreno para delimitar el sendero como propuesta del proyecto de investigación.

El uso de estas herramientas, tanto digitales como impresas, permitió diseñar un sendero con las condiciones adecuadas para poder realizar senderismo sin poner en riesgo al turista, donde además de realizar caminata podrán admirar diferentes paisajes con alto valor estético, en diferentes épocas del año, de esta fase se obtuvieron dos mapas comparativos del camino recorrido y del sendero propuesto realizados con el uso del "SIG QGIS".

Como el objetivo del proyecto es diseñar un sendero micoturístico, se realizaron visitas en la temporada de lluvias para poder generar, con la ayuda de la estrategia de geografía participativa, una cartografía en donde se representen los hongos que fructifican a lo largo del sendero ya definido. Para esta fase se presentó el taller para el uso de la herramienta Cartodroid, en donde se habló sobre qué es y para qué sirve la herramienta, se les pidió instalarla en su teléfono celular y para posteriormente mostrar sus elementos y como utilizarlos. De esta forma tanto los guías como los coordinadores de las actividades turísticas podrán utilizar la herramienta para otros recorridos.

Los recorridos para la identificación de los hongos comestibles silvestres en el sendero se llevaron a cabo en los meses de julio, agosto y septiembre y con la ayuda de la aplicación se ha logrado como producto dos mapas en los que se ilustra la diversidad micológica.

Estos productos cartográficos han sido presentados de forma digital ante los representantes del proyecto de turismo rural de la comunidad para esperar su aprobación y así poder imprimir en un tamaño de aproximadamente 1.5 metros por 2.0 metros sobre un material que resista a la intemperie ya que se pretenden colocar a la vista antes de comenzar los recorridos por el sendero.

Conclusiones: La presente investigación pone en relieve la importancia de los métodos cartográficos participativos en los procesos de desarrollo multidimensional para las comunidades rurales. En primer término, destaca la posibilidad de salvaguardar



el conocimiento ecológico tradicional, asociado con la recolección y aprovechamiento de los hongos comestibles silvestres; conocimiento intergeneracional y oral que se encuentra vulnerable frente al abandono del campo y las actividades tradicionales. En segundo lugar, la generación de datos cartográficos sobre los recursos bioculturales como los hongos comestibles silvestres, permite monitorearlos y planificar su aprovechamiento racional, a través de diferentes estrategias de desarrollo como puede ser el turismo. Por último y en tercera instancia, destacamos la importancia que tiene la autorrepresentación local de la identificación, clasificación y valorización de sus recursos endógenos de cara a una autodeterminación de los territorios en los procesos que los propios actores locales conciben como acciones de desarrollo local y en el mejor de los casos de transformación socioeconómica del territorio.

Este proceso de investigación es apenas exploratorio y requiere una mayor profundización en los aspectos etnomicológicos, sociológicos, económicos y antropológicos que confluyen en las diferentes formas de aprovechamiento de los hongos comestibles silvestres entre los matlatzincas. Futuras investigaciones deberán abordar este objeto de estudio desde una perspectiva multidisciplinaria, sistémica y compleja.

## BIBLIOGRAFÍA

- Braceras I. (2012). *Cartografía participativa: herramienta de empoderamiento y participación por el derecho al territorio* (tesis de maestría). Bilbao (España): Instituto de Estudios sobre el Desarrollo y Cooperación Internacional.
- FIDA (2009). *Buenas prácticas en Cartografía Participativa*, Roma (Italia).
- FIDA (2010). *El enfoque adaptativo del FIDA relativo a la Cartografía Participativa; diseño y ejecución de proyectos de Cartografía Participativa*. Roma (Italia).
- Subires Mancera, M. P. (2012). Cartografía participativa y web 2.0: estudio de interrelaciones y análisis de experiencias. *Vivat Academia. Revista de Comunicación*, 201-216. <https://doi.org/10.15178/va.2011.117e.201-216>.

**Palabras clave:** Cartografía participativa, Micoturismo, Investigación Acción Participativa, Hongos comestibles silvestres.

## Participatory cartography as a tool for mycoturism in a Matlatzinca community in the State of Mexico

In recent decades, the participatory approach has been of great relevance for social research, there are different terms to refer to it, such as: community cartography, community mapping, participatory GIS, participatory cartography, to name a few examples. The difference lies both in the method applied and the characteristics of the users to whom it is addressed. In this research the term participatory cartography (PC) was used, which is currently considered a useful tool as an applied working method, and according to the association of community projects, the PC is a process

of Participatory Action Research (IAP), where research is carried out in collaboration with the community, providing knowledge and experiences it has about its territory, in order to represent on maps a certain activity and / or set of knowledge.

Participatory cartography has as its antecedent the methodologies carried out by participatory rural diagnostics, considered as a way of collecting and reflecting in tangible media the information that was traditionally transmitted orally, due to illiteracy levels in many communities (IFAD, 2010). Maps have historically been developed to represent various themes of geographical space. According to Braceras (2012), from the point of view of the CP, these are considered as visual methods, which facilitate the incorporation of this type of information sources, managing to encourage the participation of a greater number of people, while increasing dialogue and negotiation.

The International Fund for Agricultural Development (IFAD), consider participatory mapping as: "... mapping by the local community, often with the participation of organizations that support them, public authorities (at different levels), NGOs, universities and other actors involved in land development and planning" (Subires, 2012: 204).

In accordance with the above, the CP seeks to provide the members of the participating communities with the necessary skills and knowledge so that they are able to develop their own maps and represent their own spatial knowledge, both for their own use, and to transmit this knowledge to others outside that community (IFAD, 2009: 7; quoted by Subires, 2012: 204).

In this sense, this paper emerges from the research project entitled: "Design of a mycotourism trail in San Francisco Oxtotilpan, Temascaltepec, State of Mexico, as a rural development strategy based on tourism", and participatory cartography was considered as one of the initial phases of the research, aiming to generate a detailed cartography with the support of rural inhabitants dedicated to the collection of mushrooms as an economic strategy complementary and, in some cases, as a trigger for local tourism in the community of San Francisco Oxtotilpan.

The methodology used was structured in five stages: i) active meetings with community members and local authorities, in order to know the problems they present, to identify spatially the places with the presence of wild edible fungi at different times of the year; On the other hand, the need they have to make known to local tourists, the diversity of wild edible mushrooms that bear fruit in the territory to promote local tourism, through mycotourism. ii) The use of geographic information technologies, in particular applications (app) with the cartographic approach, being Cartodroid, used to georeference the places with the presence of fungi and the routes to reach these places. iii) Participatory workshops with community members and local authorities, carried out in two aspects, the first focused on the knowledge and management of printed maps and satellite images of the area, and the second, with emphasis on the marking of places with the presence of fungi and the tracing of the routes to reach these places. iv) Guided tours by the community members to the places where the fungi are found, with the purpose of identifying the fruiting sites in the satellite image, and thus knowing the feasibility of accessibility to the place. v) The generation of cartography where the community members pointed out the fruiting sites, the places with a special landscape richness and the most appropriate routes to promote mycotourism.

The study area is the town of San Francisco Oxtotilpan, located in the Municipality of Temascaltepec (State of Mexico), 20.2 km southeast of the municipal seat, is 2,624 meters above sea level, has a population of 1,506 inhabitants according to INEGI data (2020), is the fifth most populated town in Temascaltepec. It is characterized by being an indigenous Matlatzinca locality, being the last bastion of this ethnic group at national level. Currently, it offers rural community tourism services, through which it seeks to generate an income that complements its economy.

The main economic activities of the town are derived from the primary sector such as agriculture and livestock, according to the State Council for the Integral Development of Indigenous Peoples. The inhabitants of the locality aim to improve their economic conditions through activities like the collection of wild edible mushrooms which is an activity with strong historical and cultural anchorage in the community, being a relevant activity in terms of food and recreation for your tourism project. Given its high potential as tourist resources, this activity is resumed for the generation of participatory mycological cartography, since only the commoners know the places, temporalities and species, related to the fruiting of fungi.

Results: The work proposal rises from the growing tourist interest that the community has awakened, being the contact with academics and local authorities the first link that allowed us to articulate with the matlatzincas collectors of wild edible mushrooms. Similarly, a key aspect was to locate local actors involved in the development of community-based tourism.

In the process of approaching these leaders was carried out through three meetings. In the first, there was a dialogue with the coordinators of the tourism project, this with the intention of knowing the activities and services offered to tourists in each visit, in addition to knowing their ideas, plans or expectations to improve the quality of their tourist offer; This with the intention of structuring and arguing the work proposal we would make for the community. The second meeting was held with the assembly of commoners, where the work proposal that would complement the rural tourism activities, they already offer with a product that helps strengthen and diversify their tourist offer: "a mycotourism trail". The proposal was left under evaluation to give us an answer at the next meeting. In the third meeting they gave us the authorization to work within the community together with the general coordinators of the tourist activity, the traditional collectors and the local guides, who know their territory and the specific places where the production of wild edible mushrooms occurs.

The population of the community is small (1400 inhabitants), so we have worked with a base team of less than 20 people, including coordinators of the rural community tourism project, trail guides, collectors of wild edible mushrooms and members of the town who offer services to tourists and who in addition to being interested in the project know the territory, they contribute ideas and show a participatory attitude.

Once the participatory work team was defined, numerous sessions were dedicated to apply our participatory cartography. First, they were presented with a printed cartography through satellite images where they could observe the territory that belongs to the locality, they were given an explanation about what could be seen represented in the image and the geographical orientation according to the point where they were standing at that time.

This cartography presentation was considered as a workshop in which the group was shown the cartography of the community, its conceptualization, the type of information it contains and the uses they can give to these materials, as well as the advantages of using these strategies to recognize specific areas in their territory.

As a Practice They were asked to identify the limits of the natural area that belongs to their locality and the areas that they recognize with the greatest production of wild edible mushrooms and where there are nearby paths or roads that could be enabled as tourist trails. Once these areas were identified, the ones indicated could be shown in the tourist tours were selected.

Based on this selection, tours of these areas were made with the support of cartographic tools such as "Google Maps" and "CartoDroid". In this phase they were only shown the applications to later give them more information about their use and characteristics.

Once the routes were made, the georeferenced points of the road were obtained, allowed an analysis of the physicogeographical characteristics of the terrain to delimit the path as a proposal of the research project.

The use of these tools, both digital and printed, allowed to design a path with the right conditions to be able to hike without putting the tourist at risk, where in addition to hiking they can admire different landscapes with high aesthetic value, at different times of the year, from this phase two comparative maps of the path traveled and the proposed path made with the use of the "GIS QGIS" were obtained.

As the objective of the project is to design a mycotourism trail, visits were made in the rainy season to generate, with the help of the participatory geography strategy, a cartography where the fungi that bear fruit along the already defined path are represented. For this phase the workshop for the use of the Cartodroid tool was presented, where they talked about what the tool is and what it is for, they were asked to install it on their cell phone and to later show their elements and how to use them. In this way both guides and coordinators of tourist activities can use the tool for other tours.

The routes for the identification of wild edible fungi on the trail were carried out in the months of July, August and September with the help of the application has been achieved as a product two maps in which mycological diversity is illustrated.

These cartographic products have been presented digitally to the representatives of the rural tourism project of the community to await their approval and thus be able to print in a size of 1.5 meters by 2.0 meters on a material that resists the weather since they are intended to be placed in sight before starting the tours along the trail.

Conclusions: This research highlights the importance of participatory mapping methods in multidimensional development processes for rural communities. First, it highlights the possibility of safe traditional ecological knowledge, associated with the collection and use of wild edible mushrooms; intergenerational and oral knowledge that is vulnerable to abandonment of the countryside and traditional activities. Secondly, the generation of cartographic data on biocultural resources such as wild edible mushrooms, allows monitoring them and planning their rational use, through different development strategies such as tourism. Finally, and in the third instance, we highlight the importance of local self-representation of the identification, classification and valorization of its endogenous resources in the face of a self-determination of

the territories in the processes that the local actors themselves conceive as actions of local development and in the best of cases of socioeconomic transformation of the territory.

This research process is only exploratory and requires a greater deepening in the ethnomycological, sociological, economic, and anthropological aspects that converge in the different forms of use of wild edible mushrooms among the matlatzincas. Future research should approach this object of study from a multidisciplinary, systemic, and complex perspective.

**Keywords:** Participatory cartography, Mycotourism, Participatory Research-Action, Wild edible mushrooms.



# EL SERVICIO PÚBLICO DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. CICTEX Y PLAN ESTRATÉGICO DE CARTOGRAFÍA E INFORMACIÓN TERRITORIAL

CABALLERO CÁCERES, CARMEN

Dirección General de Urbanismo y Ordenación del Territorio. Junta de Extremadura.  
Avda. de las Comunidades s/n. 06800 Mérida. Badajoz. España. [carmen.caballeroc@juntaex.es](mailto:carmen.caballeroc@juntaex.es)

APARICIO RÍOS, ALBERTO

Dirección General de Urbanismo y Ordenación del Territorio. Junta de Extremadura.  
Avda. de las Comunidades s/n. 06800 Mérida. Badajoz. España. [alberto.aparicio@juntaex.es](mailto:alberto.aparicio@juntaex.es)

CAMPOS DELGADO, JUAN CARLOS

Dirección General de Urbanismo y Ordenación del Territorio. Junta de Extremadura.  
Avda. de las Comunidades s/n. 06800 Mérida. Badajoz. España. [juancarlos.campos@juntaex.es](mailto:juancarlos.campos@juntaex.es)

SORIANO COVARSI, MARCOS

Sociedad de Gestión Pública SAU (GPEX). C/ Benito Arias Montano 1, escalera 2, p4. 06800 Mérida.  
Badajoz. España. [marcos.soriano@gpex.es](mailto:marcos.soriano@gpex.es)

La Información cartográfica y territorial de Extremadura está ligada a la Dirección General de Urbanismo y Ordenación del Territorio, de la Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Población y Territorio de la Junta de Extremadura, desde mediados de los años 80. En los primeros años por la necesidad de tener cartografía urbana y territorial, para la redacción del planeamiento. Posteriormente, para un necesario conocimiento del territorio y una correcta planificación del mismo y, en la actualidad, por la necesidad de unificar y coordinar, en un organismo, abundantes bases de datos geográficos y de servicios web asociados a ellas, de manera que, tanto técnicos de la administración como empresas, autónomos y en general usuarios externos, puedan desde el lugar en el que habitan, sin necesidad de desplazamientos, trabajar con geoinformación de temáticas diversas, con herramientas sencillas y ágiles, y sin tener coste económico alguno.

Con la creación del Centro de Información Cartográfica y Territorial de Extremadura (CICTEX) en el año 2007, se dio el primer paso al objeto de, entre otros:

- Generar información territorial de Extremadura en abundancia y orientar a otros departamentos en este proceso.
- Coordinar la información territorial de Extremadura competencia de diferentes organismos.

— Promover, coordinar y mantener la Infraestructura de Datos Espaciales de Extremadura (IDEEEX).

En estos 16 años han sido muchos los proyectos llevados a cabo, los Terabytes ocupados con geoinformación, las aplicaciones y los servicios puestos a disposición de los usuarios y las jornadas de formación y divulgación en Sistemas de Información Geográfica, IDE, Cartografía, etc.

Sólo a modo de ejemplo, se indican unas cifras relevantes:

La IDEEX, en el año 2013, tuvo 23.110.819 accesos, con un total de 25.041 usuarios diferentes. En el año 2022, los accesos Llegaron a 165.586.015, pertenecientes a un total de 207.249 usuarios diferentes. La estadística se ha multiplicado por 8.

El total de capas de información que soporta la IDEEX es de más de 3.000 capas.

El visualizador actual permite generar configuraciones de capas personalizadas, teniendo en la actualidad más de 300 mapas generados por los usuarios.

La IDEEX, además de las conexiones a servicios de todas las IDEs a nivel regional y la conexión con el nodo a nivel Nacional, da soporte a más de 20 productores de datos, de la administración, que no cuentan con la capacidad de generar y mantener servicios web propios.

El Centro de descarga sirve alrededor de 70.000 ficheros al año.

En los archivos de la Dirección general de Urbanismo y Ordenación del territorio, se cuenta con más de 73.000 archivos de vuelos desde el año 1987.

La Cartoteca Histórica Digital da acceso a más de 700 documentos, procedentes de 35 organismos diferentes, de documentos cartográficos de Extremadura anteriores a 1900.

Se realizan jornadas de formación en la escuela de administración pública, de la Junta de Extremadura, colegios profesionales, centros de formación profesional, departamentos de la Junta de Extremadura, etc., desde el año 2005.

Por otro lado, se han obtenido reconocimientos a nivel de gestores de infraestructuras de Datos Espaciales, reconocimiento como proyecto de buenas prácticas FEDER o el premio del que más orgullosos nos sentimos, el 'Geospatial World Excellence Award 2016', que se entregó durante la celebración del Geospatial World Forum (GWF), en Rotterdam (Holanda), al que se presentaron más de 9.000 iniciativas.

Más allá de los reconocimientos, desde la Dirección General de Urbanismo y Ordenación del Territorio, siempre se ha tenido en mente el importante papel de servicio público que desempeña la geoinformación y los Servicios geográficos asociados a ella y la necesidad de conexión entre los diferentes productores de datos al objeto de minimizar e incluso eliminar duplicidades e información contradictoria, por eso, desde la Infraestructura de Datos Espaciales de Extremadura, se trabaja con diferentes productores de la administración nacional, regional y local y se han llevado colaboraciones puntuales con la universidad y la empresa privada.

Somos conscientes de que la demanda de geoinformación oficial y de servicios asociados a ella, está en constante crecimiento, ejemplo de ello es el aumento de



accesos a la IDEEX y del número de usuarios desde el 2013 al 2022. La facilidad de acceso a esta información y a las herramientas para tratarlas a través de la red, sin necesidad de desplazarnos y con la ventaja de no tener que instalar y manejar software en los equipos de los usuarios, produce un movimiento circular que retroalimenta el crecimiento: se demanda y utiliza la información, este hecho provoca que los usuarios propongan mejoras en Datos y Servicios, se aplican las mejoras posibles demandadas y se traduce en un aumento de demanda.

Todo ello, como se ha indicado, de manera circular, nos conduce a estar en constante búsqueda de mejoras y evolución internas y la búsqueda del compromiso de otros productores.

En esta búsqueda de compromisos y de acuerdos para la normalización de métodos y modelos, a finales del año 2020, El Consejo de Información Cartográfica y Territorial de Extremadura, órgano compuesto por las diferentes Consejerías de la junta de Extremadura, las dos Diputaciones Provinciales, la Federación de Municipios y Provincias de Extremadura, el Instituto Geográfico Nacional y la Dirección General de Catastro, decidió elaborar un Plan Estratégico de Cartografía e Información Territorial que impulsase y coordinase la actividad cartográfica entre los diferentes productores de información.

Este año 2023 supone un nuevo hito en el mundo de la geoinformación, en Extremadura, como servicio público, gracias a la publicación del I Plan Estratégico de Cartografía e Información Territorial (PECIT).

Para elaborar el Plan, se trabajó durante el año 2021 y parte del año 2022, al ritmo que permitía la situación de recuperación de la recién pandemia y los problemas acaecidos por la guerra de Ucrania, dentro de un grupo de trabajo formado por técnicos de diferentes disciplinas, abordando el trabajo desde los puntos: conocer que demanda el usuario, identificar los organismos competentes en cada conjunto de datos, conocer los recursos/herramientas con los que se cuenta y marcar unos objetivos y acciones a realizar para llevar a cabo el Plan.

El primero de los puntos era conocer el interés que tenían los usuarios sobre cada conjunto de dato, el uso que dan a los servicios y a las plataformas en red y las preferencias sobre acceso a dato editables o a visualización. Para ello se estudiaron las estadísticas del CICTEX, la Infraestructura de Datos Espaciales de Extremadura (IDEEX) y el Sistema de Información Geológico y Minero de Extremadura (SIGEO).

También era de interés conocer qué información de la demandada por los usuarios no existía, existía, pero no se encontraba en la red o tenía dificultad de acceso o no estaba completa. Asimismo, se pretendía conocer los problemas que encuentran los usuarios y las usuarias cuando trabajan con los diferentes conjuntos de datos, los servicios y las plataformas. Para llegar a este conocimiento, el Grupo de Trabajo del PECIT propuso una serie de encuestas dirigidas tanto a los trabajadores de la administración como a los usuarios externos.

Tras analizar las estadísticas de uso y descarga de geoinformación y las encuestas realizadas por el GT, al objeto de planificar acciones a realizar en el PECIT que asegurasen una producción y mantenimiento de información de calidad, completa y

abundante, acordes a las necesidades de la sociedad y la administración, unos Servicios de utilidad y un gasto público eficiente, se plantearon cuatro objetivos a cumplir de diferentes líneas de actuación, con acciones de seguimiento para su correcta ejecución y detección de fallos o descoordinaciones:

Establecer y consolidar un modelo de producción único y coordinado con las diferentes entidades que integran el sector público de la Comunidad Autónoma de Extremadura. De forma general, el objetivo es proporcionar, a intervalos regulares, una información completa, homogénea, estándar y sistemática que garantice la calidad e interoperabilidad de la información producida.

Difundir la información de manera que se garantice el acceso de los usuarios, tanto profesionales como particulares, a los datos de interés sobre el territorio.

Fomentar la formación técnica de los productores y de los usuarios de la información.

Promover un gasto eficiente de la administración y la eficacia del mismo.

Con la intención de cumplir con estos objetivos se definieron líneas de actuación y acciones de seguimientos, que permitan conocer el grado de cumplimiento del plan o los posibles desajustes que se vayan produciendo.

El desarrollo de las actividades contempladas en este Plan dota, a la Administración regional y local de Extremadura, de las herramientas que permiten conocer y gestionar la realidad del territorio y fortalece los lazos de cooperación con la Administración nacional. Sin embargo, no debe olvidarse que el territorio cambia y, por tanto, se hace necesario mantener continuamente actualizada la información geográfica que se desarrolle al amparo de este plan. Una vez terminado su período de vigencia (2022-2024), el Grupo de Trabajo del PECIT, realizará una memoria de los objetivos alcanzados por el Plan.

El resultado de todo este trabajo es un documento estratégico que persigue los objetivos de garantizar la coherencia e interoperabilidad de la geoinformación, favorecer la eficiencia del gasto público, asegurar la calidad de la producción de información territorial y facilitar su utilización. Para ello, es necesaria la cooperación de todos los agentes implicados, comprometiéndose en la obtención del dato único consensuado, estandarizado y reutilizable para todas las partes tanto públicas como privadas.

De esta manera, el establecimiento de los propósitos que contempla el presente Plan contribuye al objetivo fundamental de fijación de la población en el medio rural y a la igualdad entre mujeres y hombres al favorecer el acceso a la información y el uso de herramientas telemáticas, sin coste, para el conocimiento, análisis y gestión del entorno en el que se habita.

**Palabras clave:** IDE, IDEEX, Cartografía, PECIT, CICTEX, geoinformación.

**Financiación:** Fondos de la Junta de Extremadura, y Fondos europeos (FEDER).

## The public service of geographic information. CICTEX and Strategic Plan of Cartography and Territorial Information

The Cartographic and Territorial Information Center of Extremadura (CICTEX) is linked to the General Directorate of Urban Planning and Land Management of the Ministry of Agriculture, Rural Development, Population, and Territory of the Junta de Extremadura, since the mid-1980s. In the early years, it was necessary to have urban and territorial cartography for planning. Later on, it was necessary to have a correct knowledge of the territory and its planning, and currently, it is necessary to unify and coordinate, in one organization, abundant geographic databases and associated web services, so that both technical personnel of the administration and companies, self-employed workers, and external users, in general, can work with geoinformation on various topics from the place where they live, without the need for travel, using simple and agile tools and without any economic cost.

With the creation of the Cartographic and Territorial Information Center of Extremadura (CICTEX) in 2007, the first step was taken to, among other things:

Generate abundant territorial information of Extremadura and guide other departments in this process.

Coordinate the territorial information of Extremadura that falls under the responsibility of different agencies.

Promote, coordinate, and maintain the Spatial Data Infrastructure of Extremadura (IDEEX).

Many projects have been carried out in these 16 years, terabytes occupied with geoinformation, applications and services made available to users, and training and dissemination events on Geographic Information Systems, SDI, Cartography, etc.

As an example, some relevant figures are indicated:

In 2013, the IDEEX had 23,110,819 accesses, with a total of 25,041 different users. In 2022, the accesses reached 165,586,015, belonging to a total of 207,249 different users. The statistics have multiplied by 8.

The total number of information layers that IDEEX supports is over 3,000 layers.

The current viewer allows for the generation of customized layer configurations, currently having more than 300 maps generated by users.

IDEEX, in addition to connections to services of all regional IDEs and connection with the node at the national level, supports more than 20 data producers from the administration who do not have the capacity to generate and maintain their own web services.

The download center serves around 70,000 files per year.

The General Directorate of Urban Planning and Land Management has over 73,000 flight archives since 1987.

The Historical Digital Map Collection provides access to more than 700 documents, from 35 different organizations, of cartographic documents of Extremadura prior to 1900.

Training events are held at the Public Administration School of the Junta de Extremadura, professional associations, vocational training centers, Junta de Extremadura departments, etc., since 2005.

In addition to recognitions, the General Directorate of Urban Planning and Land Management has always kept in mind the important role of public service that geoinformation and associated geographic services play and the need for connection between different data producers in order to minimize or even eliminate duplicity and conflicting information. Therefore, IDEEX works with different data producers from the national, regional, and local administration, and has carried out occasional collaborations with the university and the private sector.

We are aware that the demand for official geoinformation and associated services is constantly growing, as evidenced by the increase in accesses to IDEEX and the number of users from 2013 to 2022. The ease of access to this information and the tools to process it through the network, without the need to travel and with the advantage of not having to install and manage software on users' equipment, produces a circular movement that feeds growth: information is demanded and used, this fact causes users to propose improvements in Data and Services, possible improvements are applied in response to demand, and this results in an increase in demand.

All of this, as indicated, in a circular manner, leads us to be in constant search for internal improvements and evolution, and to seek the commitment of other producers.

In this search for commitments and agreements for the standardization of methods and models, at the end of 2020, the Council of Cartographic and Territorial Information of Extremadura, an organ composed of the different departments of the Extremadura regional government, the two Provincial Councils, the Federation of Municipalities and Provinces of Extremadura, the National Geographic Institute and the General Directorate of Cadastre, decided to develop a Strategic Plan for Cartography and Territorial Information that would promote and coordinate cartographic activity among the different information producers.

This year 2023 represents a new milestone in the world of geoinformation, in Extremadura, as a public service, thanks to the publication of the I Strategic Plan for Cartography and Territorial Information (PECIT).

To develop the Plan, work was carried out during 2021 and part of 2022, at the pace allowed by the recovery situation from the recent pandemic and the problems arising from the war in Ukraine, within a working group made up of technicians from different disciplines, approaching the work from the following points: knowing what the user demands, identifying the competent organizations for each data set, knowing the resources/tools available, and setting objectives and actions to carry out the Plan.

The first of these points was to understand the interest that users have in each data set, the use they make of the services and network platforms, and their preferences for accessing editable data or visualization. To do this, statistics from CICTEX, the Spatial Data Infrastructure of Extremadura (IDEEX), and the Geological and Mining Information System of Extremadura (SIGEO) were studied.

It was also of interest to know what information demanded by users did not exist, existed but was not found on the web, or had difficulty of access or was incomplete. Likewise, it was intended to know the problems encountered by users when working with different datasets, services, and platforms. To achieve this knowledge, the PECIT Working Group proposed a series of surveys aimed at both administration workers and external users.

After analyzing the usage and download statistics of geoinformation and the surveys conducted by the WG, in order to plan actions to be carried out in the PECIT that would ensure the production and maintenance of quality, complete and abundant information, in line with the needs of society and administration, useful services, and efficient public spending, four objectives were proposed to be achieved through different lines of action, with monitoring actions for their proper execution and detection of failures or discoordination:

Establish and consolidate a unique and coordinated production model with the different entities that make up the public sector of the Autonomous Community of Extremadura. In general, the objective is to provide, at regular intervals, complete, homogeneous, standard, and systematic information that guarantees the quality and interoperability of the information produced.

Disseminate information in a way that ensures access by users, both professionals and individuals, to data of interest about the territory.

Promote technical training for producers and users of information.

Promote efficient administration spending and its effectiveness.

In order to meet these objectives, lines of action and monitoring actions were defined, which allow to know the degree of compliance with the plan or possible discrepancies that may arise.

The development of the activities contemplated in this Plan provides the regional and local Administration of Extremadura with the tools to know and manage the reality of the territory and strengthens the cooperation ties with the national Administration. However, it should not be forgotten that the territory changes and, therefore, it is necessary to continuously update the geographic information developed under this plan. Once its period of validity (2022-2024) has ended, the PECIT Working Group will prepare a report on the objectives achieved by the Plan.

The result of all this work is a strategic document that pursues the objectives of guaranteeing the coherence and interoperability of geoinformation, promoting the efficiency of public spending, ensuring the quality of the production of territorial information, and facilitating its use. For this, the cooperation of all the agents involved is necessary, committing to obtaining the consensual, standardized, and reusable single data for all parties, both public and private.

In this way, the establishment of the purposes contemplated in this Plan contributes to the fundamental objective of fixing the population in rural areas and to gender equality by promoting access to information and the use of telematic tools, free of charge, for the knowledge, analysis, and management of the environment in which we live.

**Key words:** SDI, IDEEX, Cartography, PECIT, CICTEX, Geoinformation.

**Funding:** Funds from the Junta de Extremadura, and European funds (FEDER).



# DEL SIG MUNICIPAL A LA IDE DE CÁCERES. ACERCANDO LOS DATOS AL CIUDADANO

CORDERO MONTERO, FAUSTINO  
Ayuntamiento de Cáceres, plaza Mayor nº 1, 10003, Cáceres, España  
[faustino.cordero@ayto-caceres.es](mailto:faustino.cordero@ayto-caceres.es)

ÁLVAREZ LORENTE, LUIS ANTONIO  
Ayuntamiento de Cáceres, plaza Mayor nº 1, 10003, Cáceres, España  
[luisant.alvarez@ayto-caceres.es](mailto:luisant.alvarez@ayto-caceres.es)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en potentes herramientas al servicio de empresas, administraciones y particulares para la gestión de grandes volúmenes de información. El Ayuntamiento de Cáceres vio en los SIG una forma de resolver algunos de los problemas de gestión de información con los que ya se encontraba al inicio de los años 90:

Gestionaba una gran cantidad de datos alfanuméricos y cartográficos de forma confusa, no compartida y poco eficiente; Las consultas tanto de técnicos como de ciudadanos tardaban en resolverse por la necesidad de buscar datos en papel y en bases de datos distribuidas por distintos departamentos; El análisis combinado de información procedente de distintas fuentes (catastro, planeamiento, callejero, cartografía, ortofotos) era casi imposible; La edición y modificación de mapas era un proceso completamente artesanal; Toda esa información comenzaba a ocupar un volumen muy importante, algo que con el tiempo se iría agravando si no se empezaba a poner solución; El acceso a los datos sólo era posible desde las dependencias municipales, con las limitaciones de accesibilidad que eso suponía.

Así, en 1995 el equipo de gobierno municipal decide poner en marcha un Sistema de Información Geográfica que resolviera estos problemas. Entre los objetivos que se plantearon cabe destacar:

Centralizar y agrupar toda la información gráfica y alfanumérica y ponerla al servicio de todos: departamentos, técnicos, ciudadanos, administraciones, empresas, etc; Establecer un nuevo modelo de trabajo que permitiera que los datos fluyeran entre los departamentos y el SIG, y viceversa; Agilizar los accesos a la información para que las consultas se resolvieran más rápidamente; Facilitar la combinación de datos para un mejor análisis y apoyo en la toma de decisiones; Hacer la información accesible a todos los ciudadanos.

Transcurridos 28 años, el SIG de Cáceres se ha convertido en una herramienta indispensable para el trabajo diario de muchos técnicos y para el buen funcionamiento de muchas secciones municipales, así como una fuente de recursos y de información geográfica de la ciudad para ciudadanos, estudiantes y empresas.

## CARACTERÍSTICAS DEL SIG DE CÁCERES

1. Se ha hecho íntegramente desde el Ayuntamiento. Posiblemente sea la característica más destacable y la que más ha influido en la sostenibilidad del proyecto: se apostó por desarrollar el SIG con personal propio. De esta forma se obtienen muchos beneficios: no hay dependencia de empresas externas, los costes de desarrollo son notablemente menores; al disponer del personal técnico, el SIG se ha ido adaptando a las necesidades de las diferentes secciones municipales. Por el contrario, la puesta en marcha y el desarrollo ha sido más lento.
2. Se han programado muchas herramientas para hacer el SIG más accesible y fácil de usar. Inicialmente se apostó por software de Bentley como base del sistema (Microstation+Bentley Map). Para facilitar el acceso se programaron diversas barras de herramientas en VBA que permitían a los usuarios acceder rápida y cómodamente al sistema. En los últimos 3 años se ha ido migrando toda la información para que sea QGIS la principal herramienta de trabajo. Y se han implementado varios *Plugin* para facilitar el acceso a los datos.
3. Se ha recopilado una gran cantidad de información muy heterogénea, procedente de distintas fuentes, con diferentes formatos, escalas y contenidos. En la actualidad se dispone de más de 500 mapas y ortofotos, 220.000 archivos fotográficos y cerca de 300 tablas con más de 200.000 registros almacenados en la base de datos corporativa en Oracle 12g.
4. Desde el principio se ha apostado por Internet como forma de comunicación. A través de la web del SIG, en servicio desde 1999, cualquier persona puede consultar la información almacenada en el sistema. En los últimos años se han implementado visualizadores y desarrollado una APP disponible en las principales plataformas móviles que aumentan la accesibilidad al SIG municipal. El SIG de Cáceres también está presente en las principales redes sociales del momento.
5. Desde 2020, el SIG de Cáceres es un sistema híbrido que aprovecha las ventajas del software propietario y del software libre en un único sistema, que garantiza la compatibilidad y el acceso a los datos desde la plataforma Microstation+Oracle o desde QGIS, y que se integra directamente con la Infraestructura de Datos Espaciales municipal.

## LA IDE DE CÁCERES

La Infraestructura de Datos Espaciales de Cáceres (<https://ide.caceres.es>) se crea en 2014 con el objetivo de poner a disposición de ciudadanos, empresas y otras administraciones toda la información cartográfica y alfanumérica geolocalizada recogida en el SIG de Cáceres. Se diseña un nuevo portal web de acceso a datos y servicios



de una forma clara y directa, siguiendo las recomendaciones de la directiva INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe), Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo, y los estándares OGC (Open Geospatial Consortium) que regulan y garantizan la interoperabilidad de la información geográfica.

La IDE Cáceres pretende ser un punto de acceso libre y gratuito a la información geográfica y datos públicos del municipio de Cáceres en distintos formatos, para que puedan ser consultados y reutilizarlos con el fin de fomentar la creación de nuevos servicios y contenidos, como la generación de aplicaciones web multiplataforma (visualizadores) o de APP para móviles y tabletas que muestre los mapas y recuperen la información geográfica suministrada por la IDE de Cáceres.

## CONTENIDOS QUE OFRECE LA IDE DE CÁCERES

A grandes rasgos, el contenido de la IDE se organiza en 4 grandes aparatos: Descargas, Catálogo de Metadatos, Visores y App, que se complementan con un resumen de las novedades de publicación, una página de enlaces de interés y los datos de contacto.

Además, en el pie de página se facilitan enlaces al resto de web gestionadas por el SIG municipal, así como a las redes sociales donde el SIG de Cáceres tiene presencia.

Todos los datos que se publican se ofrecen bajo licencia: Creative Commons Reconocimiento 3.0, de manera que puedan ser reutilizados libremente con la única limitación de indicar siempre la fuente de información.

En el apartado de Descargas, los datos se agrupan en torno a 10 categorías: Cartografía, Ortofotos, Estadísticas, Callejero-Toponimia, Planeamiento, Servicios, Movilidad, Rutas, Patrimonio y Archivo Histórico. Dentro de cada una de ellas a su vez los datos están agrupados en subcategorías, con idea siempre de facilitar el acceso a la información en especial a los usuarios con menos experiencia en la IDE de Cáceres, tratando de que la navegación por el portal sea sencilla y lo más directa posible.

En el nivel final de cada categoría, para cada conjunto de datos disponible se ofrecen diferentes formatos de descarga, entre ellos DGN, DWG, KMZ, GeoJSON, KML, SHP o XLS para los datos vectoriales, o GeoTIFF, ECW o PDF para imágenes ráster. Además de acceso a los metadatos y la fecha de la última actualización.

Por su parte, desde el Catálogo de Metadatos se puede acceder los conjuntos de datos siguiendo la temática oficial INSPIRE o una serie de topics propios establecidos en la IDE de Cáceres. Actualmente hay disponibles 269 conjuntos de datos. En la parte inferior se muestran los últimos conjuntos de datos actualizados y los más populares. En cualquier caso, siempre se puede realizar una búsqueda escribiendo alguna palabra clave que identifique el conjunto de datos.

Para cada conjunto de datos localizado, se muestran enlaces a la zona de descargas, a los visores donde puede consultarse, el servicio WMS que se ofrece y un resumen del resto de metadatos, así como una imagen con el aspecto del contenido del mismo y un plano de situación general de la zona que abarca.

Es destacable el enlace que permite cargar de forma automática el servicio WMS sobre un mapa que actúa como visor, con idea de poder ver el resultado de este servicio rápida y cómodamente.

Todos los visores que se han ido implementando a lo largo de los años de servicio de la IDE se han agrupado en el apartado Visores. Todos ellos reutilizan los servicios WMS de la propia IDE de Cáceres y de otras IDEs (Catastro, PNOA, IDEE, IDEEx, etc). Están agrupados en función de la tecnología usada en cada momento, desde los primeros visores pensados para usar en ordenadores de sobremesa con grandes pantallas, a los visores más modernos adaptados especialmente para usar dispositivos móviles. Además, hay disponible un visor especial 3D, que permite ver el término municipal de Cáceres en 3 dimensiones, con la representación de los edificios en forma de cubos (con texturas fotorrealistas en la ciudad monumental) apoyados sobre un modelo digital del terreno sobre el que se pueden cargar diferentes ortoimágenes a elección del usuario.

Cabe destacar el nuevo visor de la IDE publicado en junio de 2021, que aglutina todos los visores en una única aplicación. Viene a resolver el problema detectado de la dispersión de la información: al existir tantos visores no resulta fácil identificar cuál es el que necesitamos abrir para consultar un determinado conjunto de datos. Con este nuevo visor, multiplataforma, interactivo y multilingüe, sin salir del mismo se puede acceder a todos los datos disponibles, organizados en las mismas 10 categorías de las que ya hemos hablado, y a su vez en mapas. Cada mapa dispone de un conjunto de capas que se pueden activar/desactivar. El usuario puede añadir las capas que desee como servicios WMS procedentes de cualquier IDE, simplemente indicando la URL del mismo. Para el caso de datos procedentes de la IDE de Cáceres se añade un botón de acceso directo a su catálogo de metadatos, que facilita y simplifica la carga de los mismos.

Este visor además incorpora un comparador de mapas que permite representar la misma zona geográfica en varias vistas, con diferentes contenidos seleccionados por el usuario. Tanto los datos representados en el comparador como en el mapa único pueden enviarse a la impresora en una salida gráfica personalizable a escala.

Finalmente, este visor incorpora herramientas de búsqueda por varios criterios (callejero, toponimia, catastro, coordenadas), permite realizar consultas sobre los conjuntos de datos representados, así como realizar mediciones, obtener coordenadas o cambiar el sistema de proyección.

Para terminar con los 4 grandes apartados de la IDE, nos queda comentar la APP Cáceres View. Creada para dar servicio en plataformas móviles basadas en iOS y Android, se basa en la idea de llevar toda la información gestionada en la IDE de Cáceres en una única aplicación, que se actualizada de manera transparente al usuario y sin necesidad de actualizar. Para poder representar tantos datos, la información se ha organizado en lo que denominamos escenarios, configurables desde el servidor de la IDE por los técnicos del SIG, y cada uno de los cuales contiene un conjunto de capas y mapas con una temática común. Actualmente hay 14 escenarios definidos. El contenido de cada uno de ellos se actualiza al abrir la aplicación, y el usuario puede activar/desactivar todos los contenidos que se muestran.

También incorpora un buscador y un botón de geoposicionamiento a partir del GPS del dispositivo, muy útil especialmente fuera de núcleos urbanos para localizarnos sobre el mapa.

## PRÓXIMOS PROYECTOS

El Ayuntamiento de Cáceres ha sido beneficiario de varios proyectos incluidos en el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (Fondos UE Next Generation), entre ellos el de “Paso a Alta Disponibilidad de la IDE/SIG de Cáceres”, que deberá estar concluido antes del 30 de junio de 2023. Este proyecto permitirá mejorar la capacidad y el rendimiento de la IDE gracias a un sistema de cluster de servidores con carga balanceada que asegurará una gestión rápida y eficiente de los recursos necesarios para seguir dando un servicio rápido y de calidad a todos los usuarios durante los próximos años.

## CONCLUSIONES

El Ayuntamiento de Cáceres pone al servicio de ciudadanos y empresas un numeroso conjunto de datos, inicialmente desde el SIG municipal, creado a mediados de los años 90, y posteriormente a través de su Infraestructura de Datos Espaciales, con el objetivo de que puedan consultarlos y reutilizarlos libremente, cumpliendo así con la directiva europea INSPIRE. A lo largo del presente artículo se desgana el contenido del portal de la IDE de Cáceres.

*Palabras clave:* SIG, IDE, metadatos, visores, reutilizar, compartir.

*Agradecimientos:* A todos los compañeros y amigos que han colaborado con el SIG de Cáceres.

## From the municipal GIS to the IDE of Cáceres. Bringing the data closer to the citizen

Geographic Information Systems (GIS) have become powerful tools at the service of companies, administrations and individuals for the management of large volumes of information. Cáceres City Council saw in GIS a way to solve some of the information management problems that it was already facing at the beginning of the 1990s:

It managed a large amount of alphanumeric and cartographic data in a confusing, non-shared and inefficient manner; Consultations from both technicians and citizens took time to be resolved due to the need to search for data on paper and in databases distributed by different departments; The combined analysis of information from different sources (cadastre, planning, street, cartography, orthophotos) was almost impossible; The editing and modification of maps was a completely handmade

process; All this information began to occupy a very important volume, something that would worsen over time if a solution was not started; Access to the data was only possible from the municipal offices, with the accessibility limitations that this entailed.

Thus, in 1995 the municipal government team decided to implement a Geographic Information System that would solve these problems. Among the objectives that were set, it is worth mentioning:

Centralize and group all the graphic and alphanumeric information and put it at the service of everyone: departments, technicians, citizens, administrations, companies, etc; Establish a new work model that would allow data to flow between departments and the GIS, and vice versa; Streamline access to information so that queries are resolved more quickly; Facilitate the combination of data for better analysis and support in decision making; Make the information accessible to all citizens.

After 28 years, the Cáceres GIS has become an indispensable tool for the daily work of many technicians and for the proper functioning of many municipal sections, as well as a source of resources and geographic information on the city for citizens, students and companies.

## CHARACTERISTICS OF THE CÁCERES GIS

1. It has been done entirely from the City Council. This is possibly, the most notable characteristic and the one that has most influenced the sustainability of the project: the commitment was made to develop the GIS with its own personnel. In this way, many benefits are obtained: there is no dependence on external companies, development costs are significantly lower; By having technical staff, the GIS has been adapting to the needs of the different municipal sections. On the contrary, start-up and development has been slower.
2. Many tools have been programmed to make GIS more accessible and easy to use. Initially, Bentley software was used as the base of the system (Microstation+Bentley Map). To facilitate access, various toolbars were programmed in VBA that allowed users to quickly and comfortably access the system. In the last 3 years, all the information has been migrated so that QGIS is the main work tool. And several *Plugins* have been implemented to facilitate access to the data.
3. A large amount of very heterogeneous information has been collected, coming from different sources, with different formats, scales and contents. Currently there are more than 500 maps and orthophotos, 220,000 photographic files and nearly 300 tables with more than 200,000 records stored in the corporate database in Oracle 12g.
4. From the beginning, the Internet has been used as a form of communication. Through the GIS website, in service since 1999, anyone can consult the information stored in the system. In recent years, viewers have been implemented and an APP available on the main mobile platforms has been developed to increase accessibility to the municipal GIS. The Cáceres GIS is also present in the main social networks of the moment.
5. Since 2020, the Cáceres GIS is a hybrid system that takes advantage of proprietary software and free software in a single system, which guarantees compatibility and

access to data from the Microstation+Oracle platform or from QGIS, and which integrates directly with the municipal Spatial Data Infrastructure.

## THE IDE OF CÁCERES

The Cáceres Spatial Data Infrastructure (<https://ide.caceres.es>) was created in 2014 with the aim of making all the geolocated cartographic and alphanumeric information collected in the Cáceres GIS available to citizens, companies and other administrations. A new web portal for access to data and services is designed in a clear and direct way, following the recommendations of the INSPIRE directive (Infrastructure for Spatial Information in Europe), Directive 2007/2/CE of the European Parliament, and the OGC standards (Open Geospatial Consortium) that regulate and guarantee the interoperability of geographic information.

The IDE Cáceres aims to be a free access point to the geographic information and public data of the municipality of Cáceres in different formats, so that they can be consulted and reused in order to promote the creation of new services and content, such as the generation multiplatform web applications (viewers) or APPs for mobile phones and tablets that display the maps and retrieve the geographic information provided by IDE of Cáceres.

## IDE OF CÁCERES CONTENTS

Roughly, the content of the IDE is organized into 4 large devices: Downloads, Metadata Catalog, Viewers and App, which are complemented by a summary of publication news, a page of links of interest and contact information.

In addition, the footer provides links to the rest of the websites managed by the municipal GIS, as well as to the social networks where the Cáceres GIS is present.

All the data that is published is offered under license: Creative Commons Acknowledgment 3.0, so that it can be freely reused with the only limitation of always indicating the source of information.

In the Downloads section, the data is grouped into 10 categories: Cartography, Orthophotos, Statistics, Street-Toponymy, Planning, Services, Mobility, Routes, Heritage and Historical Archive. Within each of them, in turn, the data is grouped into subcategories, always with the idea of facilitating access to information, especially for users with less experience in the Cáceres IDE, trying to make browsing the portal easy. and as direct as possible.

At the final level of each category, different download formats are offered for each available dataset, including DGN, DWG, KMZ, GeoJSON, KML, SHP, or XLS for vector data, or GeoTIFF, ECW, or PDF for raster images. In addition to access to metadata and the date of the last update.

For its part, from the Metadata Catalog you can access the data sets following the official INSPIRE theme or a series of own topics established in the Cáceres IDE. Up to date, a total of 269 data sets are available. The most recently updated and most popular data sets are displayed at the bottom. In any case, you can always perform a search by typing some keyword that identifies the data set.

For each located data set, links are shown to the download area, to the viewers where it can be consulted, the WMS service offered and a summary of the rest of the metadata, as well as an image with the appearance of its content and a General location map of the area covered.

The link that allows the automatic loading of the WMS service on a map that acts as a viewer is noteworthy, with the idea of being able to see the result of this service quickly and comfortably.

All the viewers that have been implemented throughout the years of service of the IDE have been grouped in the Viewers section. All of them reuse the WMS services of the IDE of Cáceres itself and of other IDEs (Cadastre, PNOA, IDEE, IDEEx, etc). They are grouped according to the technology used at any given time, from the first viewers designed for use on desktop computers with large screens, to the most modern viewers specially adapted for using mobile devices. There is also a special 3D viewer available, which allows you to see the municipality of Cáceres in 3 dimensions, with the representation of the buildings in the form of cubes (with photorealistic textures in the monumental city) supported on a digital model of the terrain on which they are located. They can load different orthoimages at the user's choice.

It is worth noting the new IDE viewer published in June 2021, which brings together all the viewers in a single application. It solves the detected problem of the dispersion of information: since there are so many viewers available. It is not easy to identify which one we need to open to consult a certain data set. With this new multiplatform, interactive and multilingual viewer, without leaving it you can access all the available data, organized into the same 10 categories that we have already talked about, and in turn, on maps. Each map has a set of layers that can be turned on/off. The user can add the layers they want as WMS services from any IDE, simply by indicating the URL of the same. In the case of data from the Cáceres IDE, a direct access button is added to its metadata catalogue, which facilitates and simplifies their loading.

This viewer also incorporates a map comparator that allows representing the same geographical area in various views, with different content selected by the user. Both the data represented on the comparator and on the single map can be sent to the printer in customizable scaled graphical output.

Finally, this viewer incorporates search tools by various criteria (street, toponymy, cadastre, coordinates), allows you to query the data sets represented, as well as perform measurements, obtain coordinates or change the projection system.

To end with the 4 major sections of the IDE, we can now comment on the Cáceres View APP. Created to serve mobile platforms based on IOs and Android, it is based on the idea of bringing all the information managed in the Cáceres IDE in a single application, which is updated transparently to the user and without the need to update. In order to represent so much data, the information has been organized into what we call scenarios, configurable from the IDE server by GIS technicians, and each of which contains a set of layers and maps with a common theme. There are currently 14 defined scenarios. The content of each one of them is updated when opening the application, and the user can activate/deactivate all the contents that are displayed.

It also incorporates a search engine and a geopositioning button based on the device's GPS, very useful especially outside urban centers to locate us on the map.

## NEXT PROJECTS

Cáceres City Council has been the beneficiary of several projects included in the Recovery, Transformation and Resilience Plan (EU Next Generation Funds), including the "Step to High Availability of the Cáceres IDE/GIS", which must be completed before on June 30, 2023. This project will improve the capacity and performance of the IDE thanks to a load-balanced server cluster system that will ensure fast and efficient management of the resources necessary to continue providing a fast and quality service to all users for years to come.

## CONCLUSIONS

Cáceres City Council puts a large set of data at the service of citizens and companies, initially from the municipal GIS, created in the mid-1990s, and later through its Spatial Data Infrastructure, so that they can consult and reuse them freely, thus complying with the European directive INSPIRE. Throughout this article, the content of the Cáceres IDE portal is described.

**Keywords:** GIS, SDI, Metadata, Viewers.

**Acknowledgments:** To all colleagues and friends who have collaborated with the Cáceres GIS.





# CARTOGRAFÍA VECTORIAL PARA MÓVILES DEL IGN-CNIG

FERNÁNDEZ CARMONA, JACINTO

Centro Nacional de Información Geográfica, C/General Ibañez de Ibero, 3, 28003, Madrid, España,  
[jacinto.fernandez@cnig.es](mailto:jacinto.fernandez@cnig.es)

**E**n los últimos años se viene realizando un esfuerzo por parte del Área de Informática del Centro Nacional de Información Geográfica en mejorar la calidad y cantidad de los productos disponibles en las aplicaciones móviles, para dar respuesta a las demandas de los usuarios y para ofrecer productos novedosos y de interés.

Las aplicaciones móviles del Centro Nacional de Información Geográfica sirven un conjunto de productos cartográficos para su consumo off-line o sin conexión a Internet en formatos ráster como MBTiles, basados en el Mapa Topográfico Nacional del Instituto Geográfico Nacional, y para ampliar este conjunto se decidió en mediados de 2020 crear un producto en formato vectorial que se pareciera lo más posible al estilo del Mapa Topográfico Nacional 1:25000 (MTN25) y en el que se pudiera tener descargado todo el territorio español en un único producto para descarga directa desde las aplicaciones móviles, además de que no supusiera un almacenamiento excesivo en los dispositivos y que no afectara en el rendimiento en el manejo dentro de las propias aplicaciones móviles.

Con la ayuda inestimable del personal del Instituto Geográfico Nacional, y partiendo también del trabajo previo, en este sentido realizado por iniciativas como el Mapa Base de Información Geográfica Nacional, la aplicación móvil Catalunya-Offline del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) o la iniciativa OpenAndroMap, y después de un estudio exhaustivo, se decidió que el formato final del producto sería el de MBTiles Vector Tiles (MVT), de Mapbox. Este formato admite la carga de archivos de sombreado, por lo que se decidió incluir además del archivo de recursos y de los archivos de simbolización un archivo en formato MBTiles ráster para mejorar la simbolización del producto basándose en el producto Modelo Digital del Terreno 1:25000 (MDT25).

El producto en su totalidad ocupa actualmente 1.7 gigabytes, cumpliendo el objetivo inicial de tener menos de 2 gigabytes de almacenamiento. Este límite es el límite máximo establecido por el Centro Nacional de Información Geográfica para sus productos para móviles para su consumo off-line o sin conexión a Internet. Además, este producto sólo es accesible desde las aplicaciones móviles Mapas de España

y Mapas de España Básico del Centro Nacional de Información Geográfica, para su consumo exclusivo dentro de esas aplicaciones.

El producto consta de un archivo de sombreado en formato MBTiles ráster, un archivo de datos en formato MBtiles vector y archivos comprimidos que incluyen toda la simbología del producto, incluyendo fuentes tipográficas de formato libre.

Los datos iniciales de este producto se encuentran alojados en un servidor de bases de datos, el Servidor Español de Información Geográfica del Instituto Geográfico Nacional. Además, se han usado bases de datos secundarias, como la base de datos de puesta en producción de la serie del Mapa Topográfico Nacional por métodos automáticos. Ambas bases de datos se encuentran en formato PostGIS.

También se ha puesto a disposición información acerca de la simbología utilizada en el Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25000, concretamente todos sus iconos y patrones de simbolización y archivos en los que se especifican el orden de representación tanto de las diferentes capas del mapa como del etiquetado.

En cuanto al software utilizado, al determinar usar Mapbox Vector Tiles como formato del producto final, se ha escogido Tippecanoe como software para la creación del archivo de datos. Tippecanoe es una herramienta de Mapbox que crea conjuntos de datos vector desde formatos GeoJSON, Geobuf o CSV. Además, permite en el proceso de creación establecer condiciones como límites de almacenamiento o procesos de generalización.

Para pasar de la base de datos a los formatos aceptados por Tippecanoe de entrada, se ha usado el software GDAL con los plugins incluidos de PostGIS y GeoJSON, que fue el formato final de entrada escogido para usarlo en Tippecanoe. Así se han creado archivos para cada una de las capas del Mapa Topográfico Nacional, intentando que ocuparan lo menor posible para cumplir con el objetivo de tamaño final.

Para el archivo de sombreado, se han usado programas libres como rio-rgbify, de Mapbox y también GDAL, con comandos como gdalwarp.

En cuanto a la simbolización, se han creado archivos (sprites) que contienen iconos y patrones de simbolización de tipo puntual, lineal y superficial. Para crear estos sprites se ha usado Adobe Illustrator junto con Spritezero, que es un software libre de Mapbox.

Interpretando la simbología y respetando el orden de las capas y el etiquetado del Mapa Topográfico Nacional y junto a fuentes tipográficas de libre uso y los sprites, se ha creado el estilo usando Maputnik, que es un software libre para la creación de estilos de Mapbox.

A principios de 2022 se finalizó una primera versión de este producto, que ha sufrido pequeñas modificaciones para ajustar su estilo a medida que se ha ido desplegando en las aplicaciones móviles, finalizando su publicación total junto con las nuevas versiones de estas aplicaciones en febrero de 2023.

*Palabras clave:* IGN, CNIG, aplicaciones móviles, mapas vectoriales, Mobile Gis, geoinformación.

*Financiación:* Toda la financiación es pública, al ser instituciones públicas el Instituto Geográfico Nacional y Centro Nacional de Información Geográfica

*Agradecimientos:* a Santiago Prieto del Caño, Ana Pozuelo Ortega, Alejandro García Barroso, Carlos Bustos Plaza y a todo el personal del Instituto Geográfico Nacional y Centro Nacional de Información Geográfica que ha trabajado en el proyecto.

## Vector cartography for mobile phones from IGN-CNIG

In recent years Computing Area of National Centre of Geographic Information had been striving for increase the quality and quantity of available resources in its mobile applications to respond to user needs and to offer innovative and relevant products.

National Centre of Geographic Information mobile applications release some cartographic products to use off-line in raster formats like MBTiles, based on National Geographic Institute National Topographic Map, and to increase that products in mid-2020 it was decided to create a cartographic product in vectorial format that it would look like to National Topographic Map 1:25000 cartographic style and in which it was downloaded all Spain land in a direct download single product for mobile applications, besides it does not involve an excessive storage in mobile devices and it does not affect on the efficiency of mobile applications management.

With the inestimable help of Spanish National Geographic Institute employees, and on the basis of the previous work doing by projects like Official Geographic Information Base Map of Spanish National Geographic Institute, Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) mobile application Catalunya-Offline or OpenAndroMap project and after an exhaustive survey it was decided to use as product final format Mapbox Vector Tiles (MVT), from Mapbox. This format supports hillshade files and for that it was decided to create besides the features file and simbolization files a MBTiles raster format file to improve the final product simbolization based on National Geographic Institute Terrain Digital Model (1:25000).

The final product takes up 1.7 gigabytes, meeting the initial objective to take up less than 2 gigabytes of storage. This limit is the maximum limit of National Centre of Geographic Information off-line mobile products. Besides, this product is only available from Mapas de España and Mapas de España Básicos mobile applications, for its exclusive management from these applications.

The final product has a hillshade file in MBTiles raster format, a features file in MBTiles vector format and zipped files which include all final product simbolization, including free license font types.

The initial data of this product are in a database server, Spanish Geographic Information Server of Spanish National Geographical Institute. Besides, secondary databases had been used, like the database to produce National Topographic Map series by automatic methods. Both databases are in PostGIS format.

Besides there are made available information about the symbology used in National Topographic Map 1:25000, specifically all symbolization icons and patterns and files which specify both map features and labels representation order.

As regards the software, because of the using of Mapbox Vector Tiles as the final product format, Tippecanoe is chosen to data file creation software. Tippecanoe is a Mapbox software which create vector data files from GeoJSON, Geobuf or CSV formats. Besides, in the creation process allows to establish conditions like data storage limits or generalization processes.

To proceed from the database to Tippecanoe entry file formats, GDAL has been used with PostGIS and GeoJSON plugins. GeoJSON is the final format entry file for Tippecanoe. Thus, files are being created for every feature of Spanish National Topographic Map, trying to store as little as possible to conform to the final storage limit.

To the hillshade file, free software are used like rio-rgbify, from Mapbox and also GDAL, with commands like gdalwarp.

As regards the symbolization, files are created (sprites) which have point, line and polygon symbolization icons and patterns. To create this sprites Adobe Illustrator and Spritezero is used. Spritezero is a Mapbox free software.

Interpreting the symbology and respecting National Topographic Map labels and features symbolization order and with free license font types and sprites, the final style was created using Maputnik, which is a free software from Mapbox to create vector data styles.

At the beginning of 2022 a final version was produced, which has suffered little modifications to set its style as much as possible it has been loaded in the mobile applications, finishing its total release with the new versions of this mobile applications in February of 2023.

**Keywords:** IGN, CNIG, mobile applications, vectorial maps, Mobile Gis, geoinformation.

# GEOPORTAL PARA LA MEJORA Y ACONDICIONAMIENTO DE CAMINOS RURALES MEDIANTE CRITERIOS SOSTENIBLES. CASO DE ESTUDIO: CATÁLOGO DE CAMINOS PÚBLICOS DEL MUNICIPIO DE MONTIJO (EXTREMADURA)

RODRÍGUEZ BUENO, ANTONIO

Universidad Politécnica de Madrid, Av. Puerta de Hierro, nº 2 – 4 28040 Madrid, España,  
[a.rbueno@alumnos.upm.es](mailto:a.rbueno@alumnos.upm.es)

MOYA IGNACIO, MANUEL

Universidad de Extremadura, Av. Virgen del Puerto 2 10600 Plasencia (Cáceres),  
[manuelmi@unex.es](mailto:manuelmi@unex.es)

AYUGA TÉLLEZ, FRANCISCO

Universidad Politécnica de Madrid, Av. Puerta de Hierro, nº 2 – 4 28040 Madrid, España,  
[francisco.ayuga@upm.es](mailto:francisco.ayuga@upm.es)

**L**as vías rurales han servido desde tiempos ancestrales como herramienta de comunicación entre núcleos de población diseminada, además de elemento fundamental para su desarrollo agropecuario, comercial y social. En los últimos años el tráfico rodado en este tipo de vías se ha intensificado principalmente por su utilización como atajos para alcanzar cierto destino, como vía para uso lúdico y deportivo, el turismo rural o el retorno de parte de la población a dichos núcleos diseminados.

A diferencia de los caminos rurales sin capa de rodadura, la red de caminos pavimentados ha permitido mayores grados de accesibilidad y movilidad en aquellas zonas por la que discurre su trazado, permitiendo mayor flujo de visitantes, mercancías y nuevas actividades comerciales generadoras de mayores recursos económicos.

Dentro de la idiosincrasia socioeconómica de nuestra región, la extensa red de caminos públicos de Extremadura con 35.000 caminos y más de 67.000 km de longitud se presenta como el principal instrumento vertebrador de los pequeños núcleos de población, permitiendo su comunicación o facilitando el servicio a actividades de marcado carácter rural como son la explotación de terrenos agrícolas y la gestión de bosques. Con la Ley 6/2015 Agraria de Extremadura, quedó derogada la Ley 12/2001 de Caminos Públicos, que había resultado pionera en el inventario y digitalización de los caminos públicos de los municipios extremeños.

Para la correcta aplicación de la Ley y el análisis del volumen de información generado, las administraciones públicas locales requieren optimizar los medios para llevar a cabo el servicio público que se les encomienda y para ello es imprescindible disponer de herramientas que permitan gestionar de una manera eficaz todo el proceso. En este sentido, los Geoportales son uno de los instrumentos más eficaces para la aplicación práctica de la legislación vigente en la materia y, por tanto, para la correcta gestión y conservación de este tipo de infraestructuras rurales.

Uno de los grandes hitos conseguidos tras la publicación de la Ley 6/2015 fue, desde enero de 2016, la difusión de los Catálogos de Caminos Públicos de los municipios de Extremadura a través de Internet, con acceso libre y gratuito. Se trata de Catálogos Oficiales revisados, actualizados y aprobados por los Ayuntamientos. Sin embargo, este geoportal desarrollado por la Dirección General de Desarrollo Rural y la Dirección General de Ordenación del Territorio aporta información en lo que al inventario de estas vías se refiere, pero carece de la información necesaria como para ser una solución sectorial para la gestión de los caminos públicos de un municipio concreto.

Las variables contempladas para la toma de decisiones de acondicionamiento o pavimentación de caminos rurales pueden variar en función de la Administración que lo aplique, sin embargo, la literatura técnica revisada coincide en cuatro ámbitos de estudios indispensables para establecer planes de priorización de acondicionamiento de caminos rurales y que influyen en la sostenibilidad de un territorio:

- Técnico: Grado de deterioro de la vía, inventario y conservación de sus obras de paso, adaptación de la geometría al relieve de la zona, etc.
- Social: Accesibilidad a centros educativos, centros de salud y sitios históricos y culturales, etc.
- Económico: Usos principales del suelo en la traza del camino, accesibilidad a vías principales, proximidad a zonas turísticas y principales empresas del municipio, etc.
- Ambiental: Caminos que pueden servir de conectividad alternativa ante cortes de rutas pavimentadas por inundación, especies y hábitats protegidos, acceso a humedales naturales y artificiales, etc.

Con el objetivo de facilitar la toma de decisiones tanto administrativas como de gestión se diseña y desarrolla esta herramienta SIG que permita planificar el conjunto de acciones a llevar a cabo para garantizar el adecuado mantenimiento de estas infraestructuras optimizando los recursos disponibles. El resultado final obtenido se resume en un SIG específico para el desempeño del municipio de Montijo:

- Vivo y dinámico con cartografía de interés sobre el entorno del municipio de Montijo.
- De libre acceso.
- Articulador de los diversos agentes intervinientes: administraciones, técnicos, empresas y ciudadanos.

Para poder llevar a cabo el desarrollo del geoportal se han empleado los siguientes softwares y aplicaciones:

- ArcMap: para la consulta, generación edición, y análisis mapas y bases de datos espaciales.
- Herramientas de geoprocetamiento: para procesar los datos geográficos y otros datos relacionados, tanto para realizar análisis espaciales o para administrar los datos SIG de forma automática.
- Arcgis Online: para la combinación de la cartografía elaborada, modificación de mapas, análisis de datos y compartir la información generada.

Para el desarrollo de este trabajo, se ha tomado como área de estudio el municipio de Montijo. Localidad situada en la provincia de Badajoz (Extremadura). Es el décimo municipio de la región en cantidad de población con 15.457 habitantes. Ubicado entre Mérida y Badajoz y próximo a la margen derecha del río Guadiana y a infraestructuras de regadío que llevan su propio nombre (Presa de Montijo), erigen a Montijo como uno de los municipios con mayor actividad agropecuaria de la zona.

Según el Catálogo de Caminos Públicos de la Junta de Extremadura Montijo dispone de 145 tramos inventariados con una longitud total del viario rural de 187 km. Sin embargo, a pesar de disponer de la aprobación definitiva de su catálogo de caminos públicos desde febrero de 2007, la red caminos públicos del municipio no aparece en el Geoportal desarrollado por la Junta de Extremadura anteriormente mencionado.

Además, tras solicitar la información pertinente al Ayuntamiento, el catálogo inicialmente aprobado no ha sufrido revisión o modificación alguna durante todos estos años, lo que ha derivado fundamentalmente en:

- Existencia actualmente de diversos litigios sin resolver en cuanto a la titularidad de determinados tramos de camino.
- Ausencia de planificación de acciones que permitan proyectar y presupuestar de manera ágil y sencilla las actuaciones a llevar a cabo.
- Ausencia de coordinación con el resto de las administraciones que permita evaluar y analizar los tramos de la red viaria que discurren por áreas específicas como zonas regables, áreas protegidas, etc.

Como se ha comentado anteriormente la finalidad que pretende el geoportal es disponer de un servicio de visualización, consulta y análisis de información geográfica que permita la publicación de aquella cartografía que facilite la toma de decisiones en la elección de los tramos de caminos a acondicionar. En este caso, a través de distintas pestañas del visor geográfico seleccionado, se permitirá la visualización, navegación e interacción con mapas que contienen información geográfica de acuerdo con los siguientes criterios de desarrollo sostenible en tareas de mantenimiento y conservación de vías rurales:

- Morfología de terreno
  - Pendientes
  - Hidrografía
  - Acumulación de flujos
  - Necesidades de drenaje transversal

- Usos del Suelo y Espacios Naturales Protegidos
  - Vías pecuarias
  - Riesgo de inundación fluvial
  - Tipos de usos del Suelo
  - Áreas y hábitats protegidos
- Acceso a servicios
  - Sanitarios
  - Educación
  - Administrativos

Para la elaboración del Geoportal se utilizará la aplicación ArcGIS StoryMaps que permitirá compartir los diferentes mapas elaborados en función de la información reflejada para el criterio o ámbito de estudio comentado anteriormente. Dicha estructura queda reflejada en el siguiente esquema.



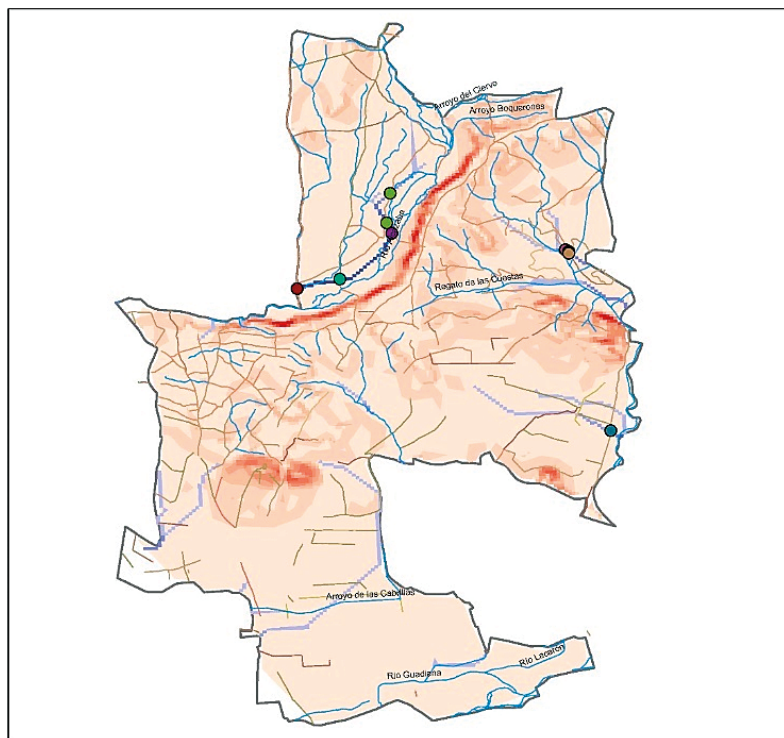
## MAPA DE MORFOLOGÍA DEL TERRENO

La información que se pretende reflejar en este primer mapa es la que permita facilitar la toma de decisiones en aquellas actuaciones de acondicionamiento claramente condicionadas por la morfología del terreno como:

- Trazado de los caminos rurales del catálogo con información como matrícula (o nomenclatura), tipo de firme o anchura de calzada.
- Pendientes del terreno.
- Acumulación de flujos que permita analizar la red de drenaje de la zona de estudio.
- Puntos de Intersección de las zonas de acumulación de flujo con los tramos de camino.
- Hidrografía de la zona con los principales cauces a salvar en caso de intersección con la vía rural de estudio.



Mapa 1. Morfología del terreno de Montijo



**Leyenda**

% Pendiente
0-2
2-5
5-7
7-9
9-11
11-13
13-15
15-17
17-19
19-22

Tipo de Firme Camino
Adoquinado-empedrado
Grava
Mezcla bituminosa
Terreno compactado
Terreno natural
Zahorra artificial
Zahorra natural

Zonas de Flujo Acumulado
300-700
700-1000
1000-1400
1400-1700
1700-2000
2000-2400
2400-2700
2700-3000
3000-3400
Hidrografía

Obras de Paso Acum. Flujo
03E09030610A
03E09031417B
03E09031510A
03E09031512C
03E09031518A
03E09032009B
03E09050113B



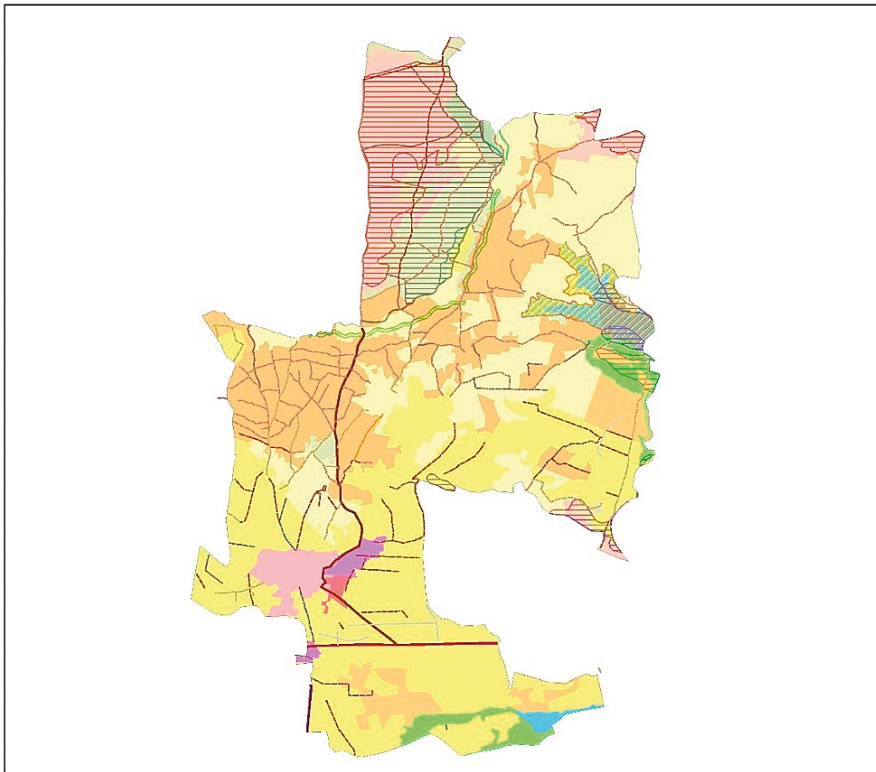
**MAPA DE USOS DEL SUELO, ÁREAS PROTEGIDAS Y VÍAS PECUARIAS**

Se pretende reflejar en el área de estudio, son las áreas protegidas o afectadas por determinados riesgos naturales y los diferentes usos del suelo con el fin de poder disponer de un primer análisis de los criterios ambientales de acondicionamiento de determinados tramos de caminos. Para ello se expondrá la siguiente información en el geoportal:

- Trazado de los caminos rurales del catálogo.

- Vías Pecuarias clasificadas y deslindadas.
- Riesgo de inundación de zonas próximas a tramos de caminos.
- Tipo cobertura del suelo o categorización de la superficie terrestre en distintas unidades: superficie urbana, cultivo, arbolado forestal, etc.
- Áreas Protegidas para la valoración de las Ayudas al Desarrollo Sostenible de Extremadura.
- Coberturas de Hábitats de la Directiva CEE 92/43 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestre.

*Mapa 2. Usos del suelo, áreas protegidas y vías pecuarias de Montijo*



### Leyenda

#### Usos del Suelo

	Bosques de frondosas		Prados y praderas
	Cursos de agua		Sistemas agroforestales
	Frutales		Tejido urbano continuo
	Láminas de agua		Tejido urbano discontinuo
	Matorral boscoso de transición		Terrenos regados permanentemente
	Matorrales esclerófilos		Tierras de labor en secano
	Mosaico de cultivos		Zonas de extracción minera
	Olivares		Zonas industriales o comerciales
	Pastizales naturales		

#### Código Hábitats Protegidos

	217047		531018
	433511		81B012
	52204F		82A056
	522055		82D041
	522082		834016

#### Vías Pecuarias

	COLADA DEL CAMINO DE LA BARCA
	CORDEL DE BARBAÑO
	CORDEL DE LA CALZADA ROMANA

#### Código Áreas Protegidas

	PG21 ZAI01
	PG21 ZI
	PG21 ZIP01
	PG21 ZIP02
	PG21 ZUG

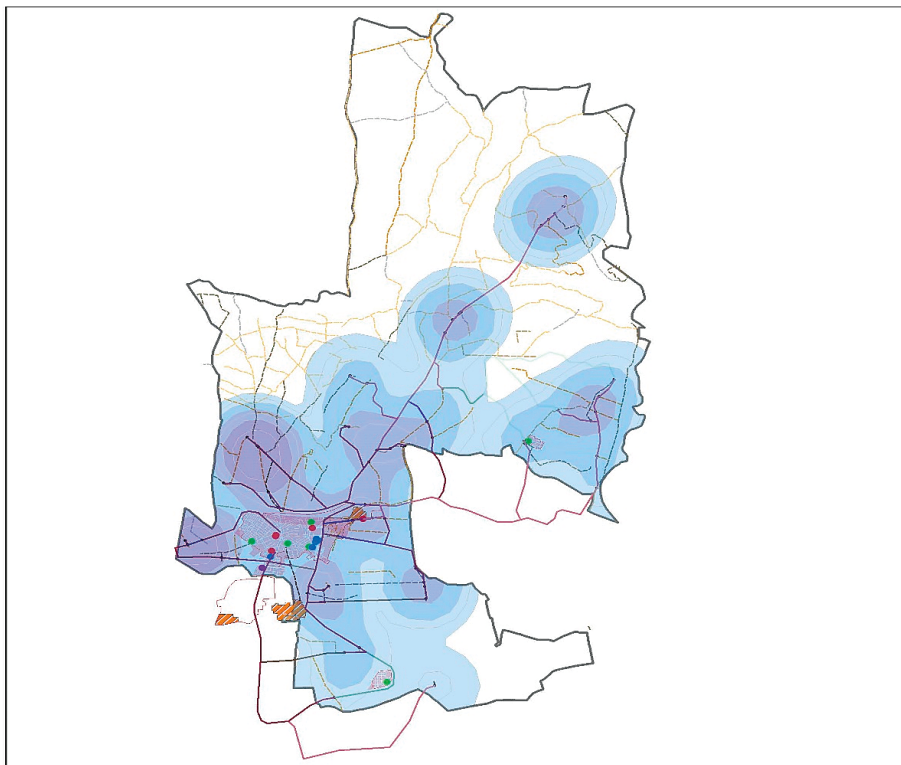
N  
ETRS\_1989  
ZGNA\_30N  
1:75.000

## MAPA DE ACCESO A SERVICIOS Y ÁREAS DE INFLUENCIA DE LOS CAMINOS PÚBLICOS DE MONTIJO

El objetivo principal de este último mapa es definir las rutas óptimas que sirven de “corredores” de accesos a centros educativos, administrativos y sanitarios y los tramos de caminos que intersecan con dichas rutas. Para el desarrollo de este mapa se ha tenido en cuenta la siguiente información:

- Rutas óptimas de accesos a centros educativos, administrativos y sanitarios.
- Tramos de caminos cercanos al área de influencia de esas rutas óptimas.

*Mapa 3. Acceso a servicios y áreas de influencia de los caminos públicos de Montijo*



### Leyenda

#### Tipos de firme caminos

- Adoquinado-empedrado
- Grava
- Mezcla bituminosa
- Terreno compactado
- Terreno natural
- Zahorra artificial
- Zahorra natural

#### Tiempos Mínimos de Acceso (minutos)

- |                      |                                   |
|----------------------|-----------------------------------|
| <b>Serv. Admin</b>   | <b>I.E.S.- Especial - Adultos</b> |
| ----- 10 - 15        | ----- 10 - 15                     |
| ----- 5 - 10         | ----- 5 - 10                      |
| ----- 0 - 5          | ----- 0 - 5                       |
| <b>Col. Primaria</b> | <b>Serv. Sanitarios</b>           |
| ----- 5 - 10         | ----- 10 - 15                     |
| ----- 1 - 5          | ----- 5 - 10                      |
| ----- 0-1            | ----- 0 - 5                       |

#### Nº de Caminos en Rutas de Tiempos Mínimos

- 2 - 3
- 4 - 5
- 6 - 7
- 8 - 9

#### Servicios

- Educación Primaria
- Educación Secundaria
- Servicios Administrativos
- Centro de Salud



El Catálogo de Caminos Públicos es una herramienta esencial para que Ayuntamientos y Mancomunidades puedan determinar con precisión sus trazados, el estado de conservación, las actuaciones necesarias para su acondicionamiento, las intrusiones y cortes.

Unas de las carencias fundamentales de los catálogos de caminos públicos municipales es la escasa, nula o errónea información que aportan respecto a:

Una descripción relativamente precisa del estado general de conservación del tramo en cuestión en la fecha de la inspección.

Errores groseros en la identificación, inventario y clasificación de las obras de paso detectados en el Catálogo de Caminos Públicos. En este sentido convendría clasificarlas según lo establecido en la normativa existente de referencia.

En Montijo de los 145 tramos inventariados con una longitud de 187 km apenas sólo cuatro tramos con una longitud total de 6 km son tramos de caminos pavimentados cuyas características constructivas, obras de paso contenidas, patrimonio urbano e importancia en la red viaria municipal requiere de acciones de conservación y mantenimiento específicas.

Tras cotejar la cartografía del geoportal con la posterior inspección *in situ* de estos cuatro tramos se pudo comprobar como algunos de estos presentaba errores en la georreferenciación de su inicio y final de tramo, otros carecían de matrícula identificatoria y otro ni tan siquiera estaban digitalizados. A continuación, se resumen la información recogida.

Las obras de paso con luz de vano superior a 3 m se han encontrado en varios de los tramos pavimentados, siendo en todos los casos un cauce natural el obstáculo salvado por la infraestructura. Durante el análisis de la morfología del terreno, la cartografía de acumulación de flujos representada en el geoportal identificaba aquellos puntos de tramos de camino susceptibles de necesitar de una obra de drenaje transversal, sin embargo, el catálogo de caminos evidencia la carencia de estas en dichas zonas.

El geoportal se erige como una herramienta ágil y eficaz para ofrecer al público en general información de interés además de constituir un instrumento básico de análisis y planificación para las distintas Administraciones Públicas, en aras de definir planes concretos de conservación y acondicionamiento de este tipo de vías y el patrimonio urbano adyacente.

El geoportal es público, sin ninguna restricción de acceso en el siguiente enlace: <https://arcg.is/0PaHbT0>.

**Palabras clave:** Geoportal, Extremadura, camino, rural, SIG, conservación.

## Geoportal for the improvement and conditioning of rural roads using sustainable criteria. Case Study: Catalog of Public Roads of the municipality of Montijo (Extremadura)

Rural roads have served since ancient times as a communication tool between disseminated population centers, as well as a fundamental element for their agricultural, commercial and social development. In recent years, road traffic on this type of road has intensified mainly due to its use as shortcuts to reach a certain destination, as a way for recreational and sports use, rural tourism or the return of part of the population to these scattered nuclei.

Unlike rural roads without a tread layer, the paved road network has allowed greater degrees of accessibility and mobility in those areas through which its layout runs, allowing a greater flow of visitors, merchandise and new commercial activities that generate greater economic resources.

Within the socioeconomic idiosyncrasy of our region, the extensive network of public roads in Extremadura with 35,000 roads and more than 67,000 km in length is presented as the main backbone instrument for small population centers, allowing their communication or facilitating the service to activities of a markedly rural nature, such as the exploitation of agricultural land and forest management. With Extremadura Agrarian Law 6/2015, Law 12/2001 on Public Roads, which had been a pioneer in the inventory and digitization of public roads in Extremadura municipalities, was repealed.

For the correct application of the Law and the analysis of the volume of information generated, the local public administrations need to optimize the means to carry out the public service entrusted to them and for this it is essential to have tools that allow them to manage effectively the whole process. In this sense, the Geoportals are one of the most effective instruments for the practical application of current legislation on the matter and, therefore, for the correct management and conservation of this type of rural infrastructure.

One of the great milestones achieved after the publication of Law 6/2015 was, since January 2016, the dissemination of the Catalogs of Public Roads of the municipalities of Extremadura through the Internet, with free and open access. These are Official Catalogs reviewed, updated and approved by the Town Halls. However, this geoportal developed by the General Directorate for Rural Development and the General Directorate for Territorial Planning provides information regarding the inventory of these roads, but lacks the necessary information to be a sectoral solution for the management of public roads of a specific municipality.

The variables considered for decision-making on the conditioning or paving of rural roads may vary depending on the Administration that applies it, however, the reviewed technical literature coincides in four fields of study that are essential to establish prioritization plans for the conditioning of rural roads and that influence the sustainability of a territory:

- Technical: Degree of deterioration of the road, inventory and conservation of its crossing works, adaptation of the geometry to the relief of the area, etc.
- Social: Accessibility to educational centers, health centers and historical and cultural sites, etc.
- Economic: Main land uses along the road, accessibility to main roads, proximity to tourist areas and main companies in the municipality, etc.
- Environmental: Roads that can serve as alternative connectivity before paved road cuts due to flooding, protected species and habitats, access to natural and artificial wetlands, etc.

In order to facilitate both administrative and management decision-making, this GIS tool is designed and developed to allow planning the set of actions to be carried out to guarantee the proper maintenance of these infrastructures, optimizing the available resources. The final result obtained is summarized in a specific GIS for the performance of the municipality of Montijo:

- Live and dynamic with cartography of interest on the environment of the municipality of Montijo.
- Free access.
- Articulador of the various agents involved: administrations, technicians, companies and citizens.

In order to carry out the development of the geoportal, the following software and applications have been used:

- ArcMap: for consultation, generation, edition, and analysis of maps and spatial databases.
- Geoprocessing tools: to process geographic data and other related data, either to perform spatial analysis or to manage GIS data automatically.
- Arcgis Online: for the combination of the elaborated cartography, map modification, data analysis and sharing of the generated information.

For the development of this work, the municipality of Montijo has been taken as the study area. Town located in the province of Badajoz (Extremadura). It is the tenth largest municipality in the region in terms of population with 15,457 inhabitants. Located between Mérida and Badajoz and close to the right bank of the Guadiana River and to irrigation infrastructures that bear its own name (Montijo Dam), they make Montijo one of the municipalities with the greatest agricultural activity in the area.

According to the Catalog of Public Roads of the Junta de Extremadura, Montijo has 145 inventoried sections with a total length of rural roads of 187 km. However, despite having the definitive approval of its catalog of public roads since February 2007, the public roads network of the municipality does not appear in the Geoportal developed by the aforementioned Junta de Extremadura.

In addition, after requesting the relevant information from the City Council, the initially approved catalog has not undergone any revision or modification during all these years, which has mainly resulted in:

- Existence currently of various unresolved disputes regarding the ownership of certain sections of road.

- Absence of planning of actions that allow projecting and budgeting in an agile and simple way the actions to be carried out.
- Absence of coordination with the rest of the administrations that allows evaluating and analyzing the sections of the road network that run through specific areas such as irrigable areas, protected areas, etc.

As previously mentioned, the purpose of the geoportal is to have a geographic information visualization, consultation and analysis service that allows the publication of that cartography that facilitates decision-making in the choice of road sections to be conditioned. In this case, through different tabs of the selected geographic viewer, the visualization, navigation, and interaction with maps containing geographic information will be allowed in accordance with the following sustainable development criteria in rural road maintenance and conservation tasks:

- Land morphology
  - Earrings
  - Hydrography
  - Accumulation of flows
  - Cross drainage needs
  - Land Use and Protected Natural Areas
  - Livestock roads
  - Risk of river flooding
- Types of land uses
  - Protected areas and hábitats
- Access to services
  - Sanitary
  - Education
  - Administrative

For the elaboration of the Geoportal, the ArcGIS StoryMaps application will be used, which will allow the sharing of the different maps prepared based on the information reflected for the previously mentioned criteria or field of study. This structure is reflected in the following scheme.



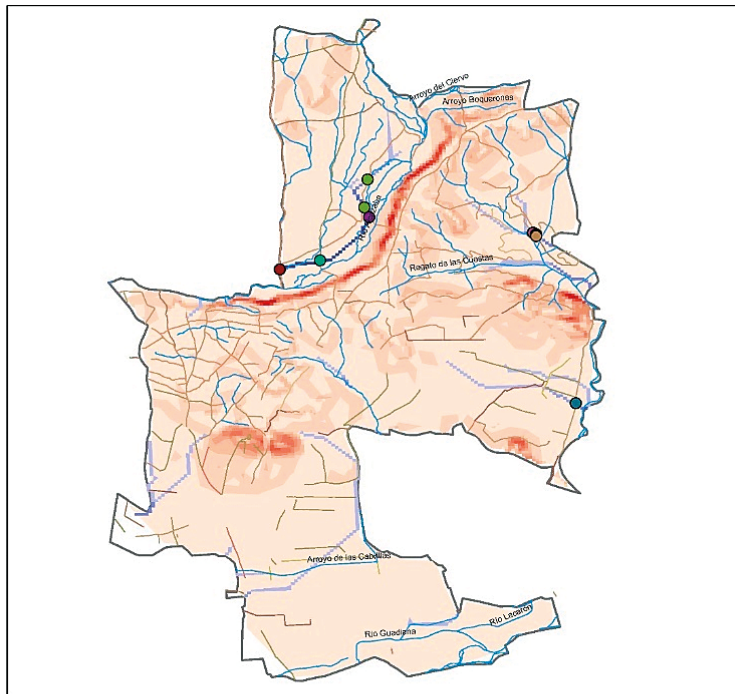


## TERRAIN MORPHOLOGY MAP

The information that is intended to be reflected in this first map is that which makes it possible to facilitate decision-making in those conditioning actions clearly conditioned by the morphology of the terrain, such as:

- Layout of rural roads in the catalog with information such as registration (or nomenclature), type of firm or road width.
- Land slopes.
- Accumulation of flows that allows analysis of the drainage network of the study area.
- Points of intersection of the flow accumulation zones with the road sections.
- Hydrography of the area with the main channels to be crossed in case of intersection with the rural road under study.

Map 1. Terrain morphology map.



### Leyenda

#### % Pendiente

0-2
2-5
5-7
7-9
9-11
11-13
13-15
15-17
17-19
19-22

#### Tipo de Firme Camino

Adoquinado-empedrado
Grava
Mezcla bituminosa
Terreno compactado
Terreno natural
Zahorra artificial
Zahorra natural

#### Zonas de Flujo Acumulado

300-700
700-1000
1000-1400
1400-1700
1700-2000
2000-2400
2400-2700
2700-3000
3000-3400
Hidrografia

#### Obras de Paso Acum. Flujo

03E09030610A
03E09031417B
03E09031510A
03E09031512C
03E09031518A
03E09032009B
03E09050113B

N  
ETRS\_1989  
ZONA\_30 N  
1:75.000

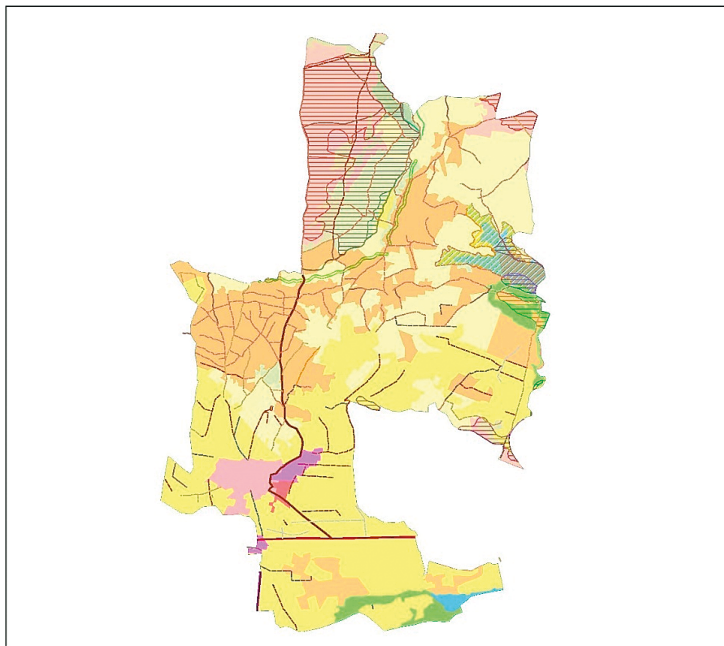


## MAP OF LAND USES, PROTECTED AREAS AND CATTLE TRAILS.

It is intended to reflect in the study area, are the areas protected or affected by certain natural risks and the different uses of the land in order to have a first analysis of the environmental criteria of conditioning of certain sections of roads. To this end, the following information will be displayed on the geoportal:

- Layout of the rural roads of the catalogue.
- Classified and demarcated cattle roads.
- Risk of flooding in areas close to sections of roads.
- Type of land cover or categorization of the terrestrial surface in different units: urban surface, cultivation, forest trees, etc.
- Protected Areas for the assessment of Aid for the Sustainable Development of Extremadura.
- Habitats coverage of the EEC Directive 92/43 relative to the conservation of natural habitats and wild fauna and flora.

Map 2. Land uses, protected areas and cattle trails.



### Leyenda

#### Usos del Suelo

Bosques de frondosas	Prados y praderas
Cursos de agua	Sistemas agroforestales
Frutales	Tejido urbano continuo
Láminas de agua	Tejido urbano discontinuo
Matorral boscoso de transición	Terrenos regados permanentemente
Matorrales esclerófilos	Tierras de labor en secano
Mosaico de cultivos	Zonas de extracción minera
Olivares	Zonas industriales o comerciales
Pastizales naturales	

#### Código Hábitats Protegidos

217047	831018
433511	81B012
82D04F	82AD56
82D005	82D041
82D082	834016

#### Vías Pecuarias

COLADA DEL CAMINO DE LA BARCA
CORDEL DE BARBAÑO
CORDEL DE LA CALZADA ROMANA

#### Código Áreas Protegidas

PG21 ZAI01
PG21 ZI
PG21 ZIP01
PG21 ZIP02
PG21 ZUG

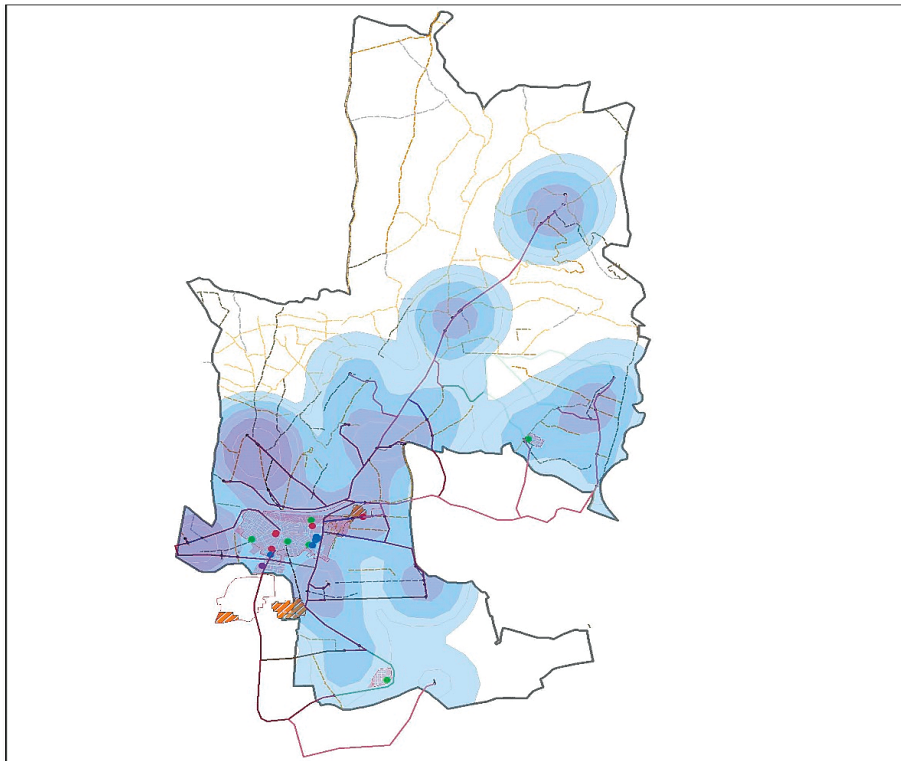


## MAP OF ACCESS TO SERVICES AND AREAS OF INFLUENCE OF THE PUBLIC ROADS OF MONTIJO

The main objective of this last map is to define the optimal routes that serve as access "corridors" to educational, administrative and health centers and the sections of roads that intersect with said routes. For the development of this map, the following information has been taken into account:

- Optimal access routes to educational, administrative and health centers.
- Sections of roads close to the area of influence of those optimal routes.

**Map 3.** Access to services and areas of influence of the public roads of Montijo.



### Leyenda

#### Tipos de firme caminos

- Adoquinado-empedrado
- Grava
- Mezcla bituminosa
- Terreno compactado
- Terreno natural
- Zahorra artificial
- Zahorra natural

#### Tiempos Mínimos de Acceso (minutos)

- | Serv. Admin   | I.E.S. Especial - Adultos |
|---------------|---------------------------|
| 10 - 15       | 10 - 15                   |
| 5 - 10        | 5 - 10                    |
| 0 - 5         | 0 - 5                     |
| Col. Primaria | Serv. Sanitarios          |
| 5 - 10        | 10 - 15                   |
| 1 - 5         | 5 - 10                    |
| 0-1           | 0 - 5                     |

#### Nº de Caminos en Rutas de Tiempos Mínimos

- 2 - 3
- 4 - 5
- 6 - 7
- 8 - 9

#### Servicios

- Educación Primaria
- Educación Secundaria
- Servicios Administrativos
- Centro de Salud

N  
ETRS\_1989 ZONA 30N  
1:75.000

The Catalog of Public Roads is an essential tool for City Councils and Associations to accurately determine their layouts, the state of conservation, the necessary actions for their conditioning, intrusions and cuts.

One of the fundamental deficiencies of the catalogs of municipal public roads is the little, null or erroneous information that they provide regarding:

A relatively precise description of the general state of conservation of the section in question on the date of the inspection.

Gross errors in the identification, inventory and classification of transit works detected in the Catalog of Public Roads. In this sense, it would be convenient to classify them according to what is established in the existing regulations of reference.

In Montijo of the 145 inventoried sections with a length of 187 km, only four sections with a total length of 6 km are sections of paved roads whose construction characteristics, contained passage works, urban heritage and importance in the municipal road network require of specific conservation and maintenance actions.

After comparing the cartography of the geoportal with the subsequent on-site inspection of these four sections, it was possible to verify how some of these presented errors in the georeferencing of their beginning and end of the section, others lacked identification number plates and another were not even digitized. The information collected is summarized below.

Crossing works with a span greater than 3 m have been found in several of the paved sections, the obstacle overcome by the infrastructure being in all cases a natural channel. During the analysis of the morphology of the terrain, the flow accumulation cartography represented in the geoportal identified those points of road sections likely to need a cross-sectional drainage work, however, the catalog of roads shows the lack of these in said zones.

The geoportal stands as an agile and efficient tool to offer the general public information of interest in addition to constituting a basic instrument of analysis and planning for the different Public Administrations, in order to define specific conservation and conditioning plans of this type. of roads and the adjacent urban heritage.

The geoportal is public, without any access restriction at the following link: <https://arcg.is/0PaHbT0>.

**Keywords:** Geoportal, Extremadura, road, rural, GIS, conservation.



# LA SELECCIÓN DE UNIDAD ESPACIAL DE ANÁLISIS COMO PROBLEMA EN LA VISUALIZACIÓN WEB DE INFORMACIÓN GEORREFERENCIADA: UN CASO DE USO

PEDICINO, JOSEFINA

Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Pinto 399, C.P 7000, Argentina, [Josefinapedicinoalbarito@gmail.com](mailto:Josefinapedicinoalbarito@gmail.com)

La visualización web de *información social georreferenciada* da acceso a diversos conjuntos de datos disponibles a escalas nacionales, regionales y globales. Este acceso es utilizado cotidianamente por distintos actores, los cuales pueden requerir enfocarse en diferentes niveles de agregación y unidades especiales de análisis<sup>1</sup>: una provincia, un barrio, un municipio, entre otros. El presente trabajo tiene como objetivo dar visibilidad al problema de la selección y *adaptabilidad dinámica* de las unidades espaciales de análisis en la presentación de información georreferenciada, a partir de la experiencia realizada en el diseño y puesta en uso de un visor de datos socio-espaciales.

En los últimos años se han masificado una diversidad de *herramientas web* que permiten representar *información social georreferenciada* para fines específicos y para el público general. Esto ha permitido la creación de aplicaciones para la visualización de mapas y la georreferenciación de datos.

A partir del éxito de las plataformas de visualización web que permiten representar *información social georreferenciada*, nos interesa enfocarnos en un aspecto que ha recibido poca atención: cómo permitir a los usuarios acceder a información segmentada para una *unidad espacial* específica, definiendo a estas como delimitaciones espaciales o áreas de estudio constituidas por individuos o elementos geográficos bidimensionales únicos que varían en función de los objetivos, el tipo de estudio, la variable a analizar y de la naturaleza de los elementos que la componen (Harvey, 1969). Nuestra investigación preliminar mostró que la capacidad de “recortar” la información según la *unidad espacial* es una necesidad recurrente para los usuarios,

---

<sup>1</sup> HARVEY, D. (1969). Capítulo 19: La Toma de datos y la representación en Geografía. *Teorías, leyes y modelos en Geografía*. España: Alianza Editorial.

quienes ubican sus problemáticas en lugares específicos (un barrio, un municipio, una provincia, etc). Estos “lugares” pueden ser regiones político-administrativas, áreas de gestión, aglomeraciones urbanas, localidades, barrios, comunas o regiones naturales, como cuencas hidrográficas. Entonces, nos preguntamos: ¿Cómo pueden los usuarios acceder, descargar y visualizar la información solo para una subregión en particular, en lugar de ver el total de una capa? ¿Cómo comunicar, mostrar e implementar esto?

En esta presentación se busca poner en común la experiencia realizada en una plataforma de datos sociales georreferenciados abierta y colaborativa de Argentina (poblaciones.org) para dar respuesta a estos interrogantes. El trabajo realizado buscó satisfacer tres objetivos:

- Dotar a la plataforma en desarrollo de la capacidad para segmentar dinámicamente la información disponible.
- Permitir un acceso visual a dichos segmentos.
- Permitir un acceso paramétrico (similar a una búsqueda) de dichos segmentos.

El proceso de implementación de la plataforma de *datos abiertos* se llevó a cabo en tres etapas operativas.

En la primera etapa de Diseño, se evaluaron las capacidades de las plataformas de publicación de unidad espacial y datos disponibles y se identificó que el problema de la selección de unidades de análisis no estaba siendo abordado de manera explícita en ninguna de ellas. Se produjo una especificación para almacenar jerarquías de entidades que pudieran ser utilizadas como unidades de análisis y se estableció que el acceso a estas entidades debía poder darse tanto por medio visual como por medio del buscador.

En la segunda etapa de Relevamiento de criterios relevantes de segmentación, se buscó establecer qué tipos de entidades eran relevantes para los usuarios y estaban disponibles para su incorporación.

Finalmente, en la tercera etapa de Implementación, se codificó un visor que permitió un filtrado de datos por medio de regiones de recorte espacial y se incorporaron en la instalación productiva los conjuntos de regiones mencionadas. De esta manera, se logró dotar a la plataforma de la capacidad para segmentar dinámicamente la información disponible, permitir un acceso visual a dichos segmentos y permitir un acceso paramétrico (similar a una búsqueda) de dichos segmentos.

En cuanto a los resultados obtenidos, la posibilidad de establecer visual y dinámicamente la unidad de análisis, tuvo un punto de intersección con el abordaje de la definición toponímica. En las plataformas evaluadas, la toponimia estaba delegada como responsabilidad del proveedor del “mapa de base”, sin dar al usuario una experiencia interactiva respecto de esta toponimia. Se procedió en este aspecto a generar la capacidad de selección visual de las unidades de análisis por medio de su integración a la representación de la toponimia. De esta forma, las etiquetas en el mapa funcionan como links que permiten activar (dejar como selección activa) a los diferentes elementos de cada una de las regiones conocidas.

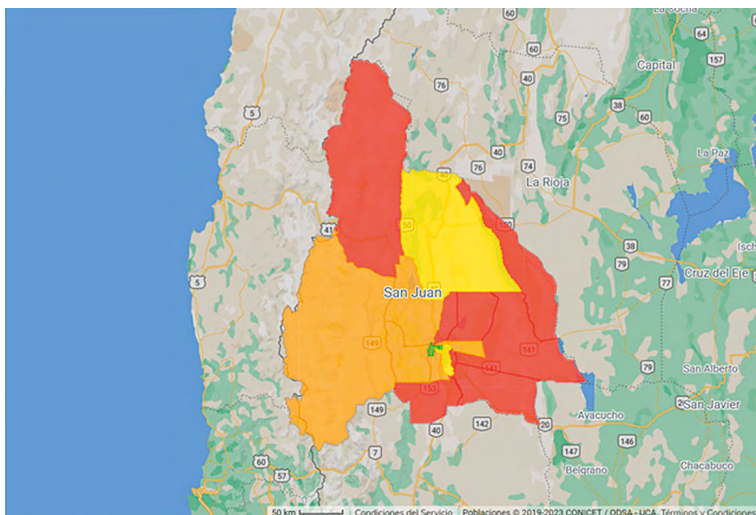
*Figura 1. Selección de Unidad espacial de análisis a través de etiquetas.*



En la etapa de relevamiento de criterios relevantes de segmentación, se obtuvieron capas de información para diferentes niveles y jerarquías de selección, a saber: provincias, departamentos, municipios, barrios, regiones sanitarias, aglomerados urbanos, localidades, regiones climáticas, cuencas hidrográficas, eco-regiones, códigos postales. Es importante destacar que, así como algunos de estos niveles se encuentran en una relación jerárquica unos con otros (por ejemplo los departamentos están dentro de las provincias) en el caso de otras entidades constituyen jerarquías independientes y sus límites no respetan por ejemplos aquellos de las provincias o los departamentos (como es el caso de las regiones climáticas).

Con respecto al visor, se intervino en varios de sus funcionamientos para lograr el efecto de selección de la *unidad espacial* de análisis. Por una parte, al establecerse una región o subregión de recorte como activa, se bloquea visualmente el resto del mapa:

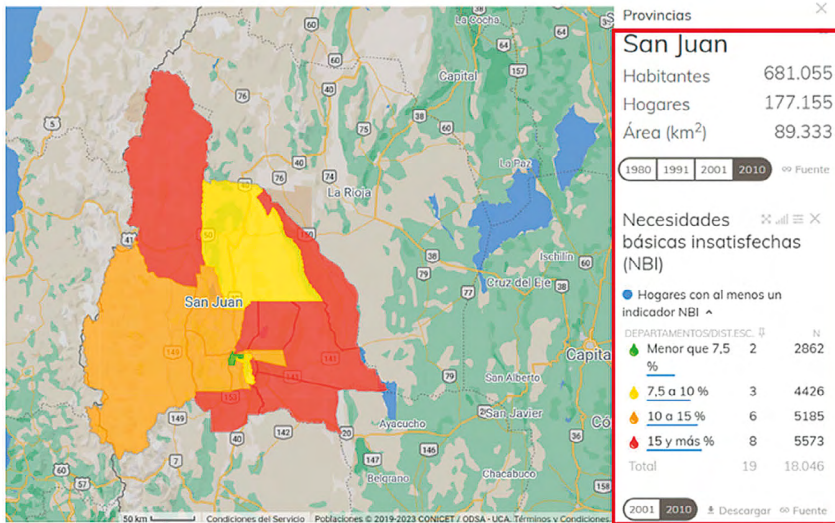
*Figura 2. Selección activa, bloqueo del resto del mapa base (la información solo aparecerá en la zona seleccionada).*





En segundo lugar, los totales que se ofrecen en el panel derecho comienzan a reflejar solamente las cantidades correspondientes a esa selección. Resultados que también se puede visualizar en distintos periodos de tiempo:

Figura 3. Resultados de selección para distintos períodos de tiempo.



Y finalmente, en el caso de descargarse datos, el usuario recibe el “dataset” con la información recortada para obtener solamente los registros correspondientes a esa selección:

Figura 4. Descarga únicamente de los datos espaciales seleccionados.

Descargar

Fuente: Indicadores del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas, 2010

Dataset: Indicadores de hogares, Departamentos, 2010

Licencia: Este obra está bajo una licencia de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>.

Nivel: Departamentos/Comunas

Selección: SAN JUAN

Descarga: [Texto \(.csv\)](#) [Excel \(.xlsx\)](#) [SPSS \(.sav\)](#)  
[Stata \(.dta\)](#) [R \(.rdata\)](#) [Metadatos](#)  
[Diccionario de datos](#)

Adjuntos: [Introducción](#) [Aspectos metodológicos](#) [Códigos de países](#) [Códigos de provincias](#) [Cuadros de control](#) [Definiciones de la base de datos](#) [Definiciones de los indicadores](#)

Descarga con polígonos: [Texto con GeoJSON \(.csv\)](#) [Texto con WKT \(.csv\)](#)  
[Excel con GeoJSON \(.xlsx\)](#) [Excel con WKT \(.xlsx\)](#)  
[SPSS con WKT \(.sav\)](#) [Shapefile \(.shp\)](#)



En todos los casos, tanto si el usuario establece la selección por medio de hacer clic en un elemento de la toponimia o introduciendo términos en el buscador, la misma puede ser revocada desmarcando la selección activa (presionando en la X de la esquina superior derecha).

A modo de cierre, cabe señalar que el trabajo realizado en la implementación de una plataforma de *datos abiertos* de alcance nacional ha permitido identificar la necesidad de establecer de manera explícita unidades espaciales de análisis. Para satisfacer el objetivo propuesto, que fue dotar a la plataforma de la capacidad de segmentar dinámicamente la información disponible, incorporamos un acceso visual y paramétrico a dicha segmentación instrumentando catálogos de potenciales unidades espaciales de análisis en la toponimia de la plataforma y en su buscador general.

**Palabras clave:** Unidad espacial, adaptabilidad dinámica, herramientas web, información social georreferenciada, datos abiertos.

**Financiación:** Esta investigación fue realizada con el apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina y la Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

## The selection of the spatial unit of analysis as a problem in the web visualization of georeferenced information: a case of use

The main objective of this work is, through the exercise of debate, to expose the obstacles, methodologies and achievements obtained on the implementation of an *open data* platform of national scope (...).

The results of this presentation emerged in the context of implementing an *open data* web GIS platform. During the preparation and publication of the spatial data, we found the need to ensure the data could adapt dynamically to different spatial units of analysis. These units ranged from a specific neighborhood or locality to regions or provinces with many subregions within. We took into account that users may require data segmented in different *spatial unit* categories, such as political-administrative, social, natural, and religious units.

In recent years, online *web tools* have become widespread, allowing the representation of *georeferenced social information* for specific purposes and for the general public. This has facilitated the creation of applications for the visualization of maps and the georeferencing of data.

Based on the success of web visualization platforms, we are interested in focusing on an aspect that has received little attention: how to allow users to access segmented information for a specific *spatial unit*. Our preliminary research showed that the ability to filter the information according to a *spatial unit* is a recurring need for users, who

locate their problems in specific places (a neighborhood, a municipality, a province, etc.). These “places” can be political-administrative regions, urban agglomerations, towns, neighborhoods, communes or natural regions, such as river basins. So, the designed goal was to allow users to access, to download and to view the information only for a particular sub-region, instead of seeing the whole of a layer.

This presentation shows the experience carried out in an open and collaborative georeferenced social data platform in Argentina ([poblaciones.org](http://poblaciones.org)) to meet this goal.

The work carried out sought to satisfy three objectives:

- Provide the platform under development with the capacity to dynamically segment the available information.
- Allow visual access to the segmentation capabilities.
- Allow parametric access (such as keyword search) to the segmentation capabilities.

The *open data* platform implementation process was carried out in three stages.

In the first stage, Design, the capacities of the available data publication platforms were evaluated and it was identified that the problem of the selection of analysis units was not being explicitly addressed in any of them. A specification was produced to store hierarchies of entities that could be used as units of analysis and it was established that access to these entities should be possible both visually and through the website search engine.

In the second stage, Survey of relevant segmentation criteria, we sought to establish what types of entities were relevant to users and were available for their incorporation.

Finally, in the third stage (Implementation), a viewer was coded that allowed data filtering through spatial clipping and the aforementioned sets of regions were incorporated into the online production environment. In this way, it was possible to provide the platform with the capacity to dynamically segment the available information, allow visual access and parametric access to data filtering and selection.

Regarding the results obtained, the possibility of visually and dynamically establishing the unit of analysis has, in turn, a point of intersection with the approach to the toponymic definitions. On the platforms we evaluated, toponymy was delegated as the responsibility of the “base map” provider, without refining its content nor giving the user an interactive experience regarding this toponymy.

In this regard, we proceeded to generate the capacity for visual selection of the units of analysis through its integration into the representation of toponymy. In this way, the labels on the map function as links that allow activating (leaving as active selection) the different elements of each of the regions.

In the survey stage of relevant segmentation criteria, layers of information were obtained for different levels and selection hierarchies: provinces, departments, municipalities, neighbourhoods, health regions, urban agglomerates, localities, climatic regions, hydrographic basins, eco-regions, zip codes.

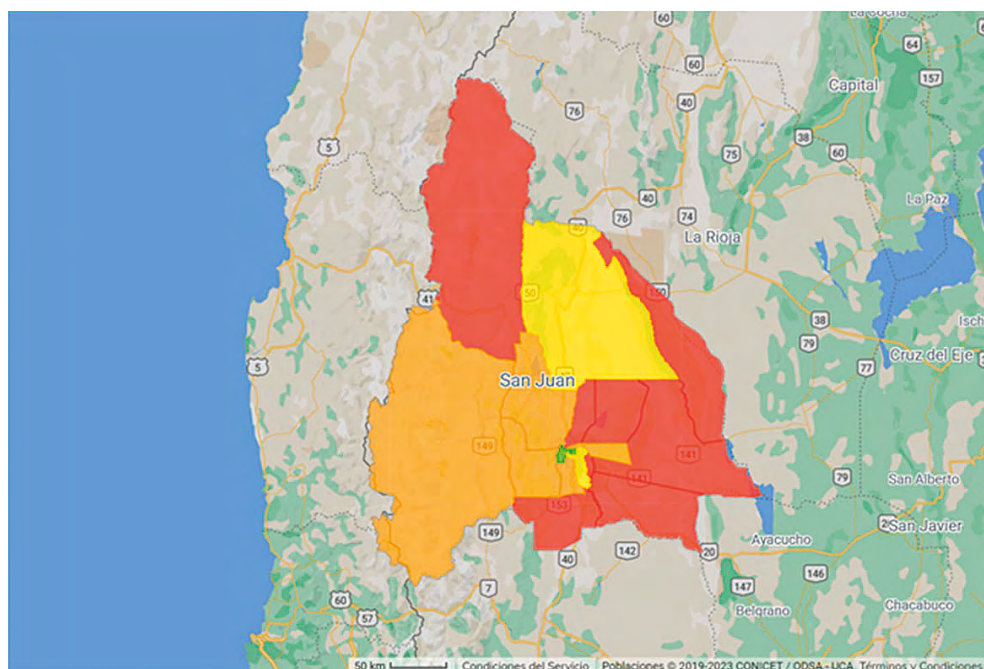
It is important to note that just as some of these levels are in a hierarchical relationship with each other (for example, the departments are within the provinces), in the case of other entities they constitute independent hierarchies and their areas may partially overlap, for example, those of the provinces with climatic regions areas.

Figure 1. Selection of spatial unit of analysis through labels.



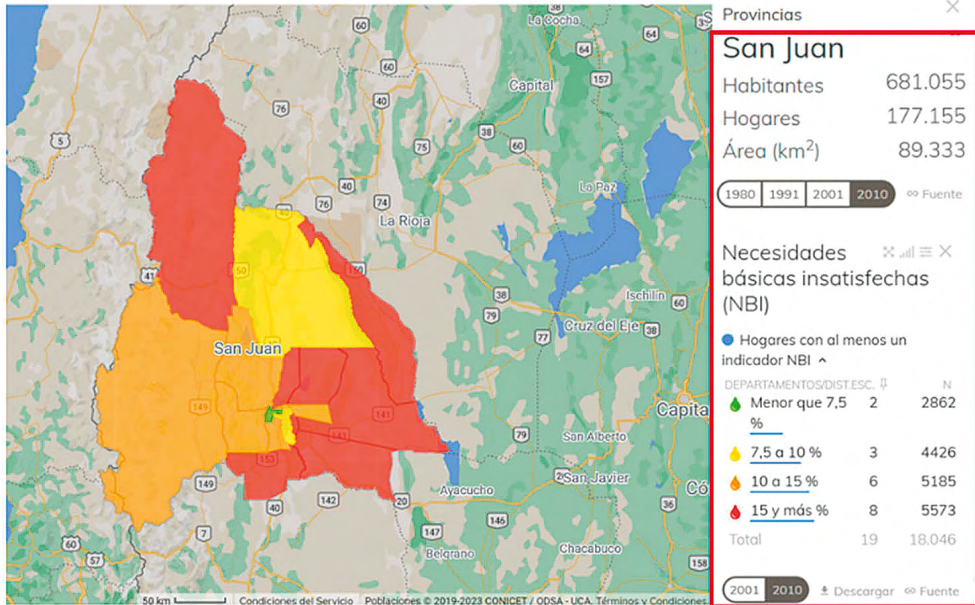
Regarding the viewer, many functions were modified to achieve the effect of selecting the *spatial unit of analysis*. On the one hand, by setting a clipping region as active, the rest of the map is visually greyed:

Figure 2. Active selection, blocking of the rest of the base map (the information will only appear in the select area).



Second, the totals offered in the right panel reflect only the metrics for that selection:

Figure 3. Selection results for different periods of time.



And finally, in the case of downloading data, the user receives the dataset with the information trimmed to obtain only the records corresponding to that selection:

Figure 4. Download only selected spatial data.

Descargar

Fuente: Indicadores del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas, 2010

Dataset: Indicadores de hogares. Departamentos, 2010

Licencia: Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>.

Nivel: Departamentos/Comunas

Selección: SAN JUAN X

Descarga:

Adjuntos:

Descarga con polígonos:

In all cases, whether the user establishes the selection by clicking on an element of the toponymy or entering terms in the search engine, it can be cleared by unchecking the active selection.

In conclusion it is evident that the work carried out in the implementation of an *open data* platform of national scope has allowed us to identify the need for explicit spatial analysis units to be selected. To satisfy the proposed goal, which was to provide the platform with the capacity to dynamically segment the available information, we allowed visual and parametric access to said segments, instrumenting the toponymy and the search engine with catalogs of potential spatial analysis unit.

**Keywords:** spatial unit, dynamic adaptability, web tools, georeferenced social information, open data.

**Funding:** This research was carried out with the support of the Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas of Argentina and the Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires.



## 2. TELEDETECCIÓN Y GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL







# UNA PROPUESTA PARA CARTOGRAFIAR EL USO/COBERTURA DE SUELO MEDIANTE EL GEO BIG DATA. URUGUAY, AÑO AGRÍCOLA 2021-2022

ALCIATURI, GIANCARLO

UMPIÉRREZ, RODRIGO

AGUDELO, FABIANA

PANZL, REBECA

FERNÁNDEZ, VIRGINIA

Ministerio de Ambiente, Galicia 1133 – Montevideo, 11100, Uruguay.  
[giancarlo.alciaturi@ambiente.gub.uy](mailto:giancarlo.alciaturi@ambiente.gub.uy) ; [galciatu@ucm.es](mailto:galciatu@ucm.es)

Con fines de monitoreo ambiental para el Uruguay y a través del Geo Big Data (GeoBD), se diseña una metodología para cartografiar el uso/coertura del suelo (UCS) referido al año agrícola 2021-2022. A grandes rasgos, la meta parte de crear dos juegos multitemporales (JDT) que combinen imágenes adquiridas por las constelaciones Sentinel 1 (S1) y Sentinel 2 (S2), clasificar estos mediante los algoritmos *Random Forest* (RF) o *Support Vector Machines* (SVM), generar las estadísticas de fiabilidad para c/u de las cuatro posibles soluciones, e identificar aquella que ofrezca los resultados más satisfactorios.

Para sentar un breve contexto geográfico de referencia, Uruguay posee una superficie continental próxima a los 176.215 km<sup>2</sup> y se localiza entre los 30°-35° S y los 53°-58° O. Según la clasificación de Köppen-Geiger, el país presenta un clima templado-húmedo sin estación seca y pertenece al bioma denominado “pastizales pampeanos”, donde en algunas zonas coexiste con vegetación perennifolia autóctona que localmente se conoce como “monte nativo”. Hacia el este y en la Cuenca del Río Santa Lucía, existen humedales RAMSAR cuya notoriedad subyace en el potencial para brindar servicios ecosistémicos y albergar diversas especies animales y vegetales. Dentro del plano social, en 2021, el país contaba con una cantidad próxima a los 3.426.260 habitantes, quienes se distribuían en 4% para el ámbito rural y 96% en lo urbano. Se presenta una marcada concentración hacia el Área Metropolitana de Montevideo – zona costera. En lo económico, se subraya la presencia de una sólida

base agrícola-forestal que se respalda en las citadas condiciones biofísicas y en la ejecución de instrumentos político-legales que fomentaron el aumento de las superficies destinadas a los cultivos. También se han decretado instrumentos de este orden para promover la conservación de espacios de interés medio-ambiental.

Dada la realidad territorial, es oportuno un monitoreo sistemático para conocer la distribución espacial de las siguientes clases de UCS: herbazales – herbazales con vegetación leñosa dispersa, monte nativo, cuerpos de agua, humedales – áreas inundables, forestaciones (especialmente pinos y eucaliptos), cosecha de forestaciones, cultivos de verano (soja y arroz son casos representativos), cultivos de invierno (por ejemplo trigo o cebada), doble cultivo, suelo desnudo – roca descubierta, superficies urbanas pavimentadas, y vegetación en zonas urbanas.

Si bien dentro de este conjunto, hay clases fenológicamente estables, debe mencionarse la existencia de otras (por ejemplo, las agrícolas) con una dinámica marcada que se ciñe a la evolución de las estaciones en el hemisferio sur. A efectos de elaborar la cartografía respectiva, se plantea recurrir a la clasificación supervisada de series temporales S1 y S2. La elección de estas imágenes obedece a que son las alternativas de libre acceso que brindan las prestaciones más adecuadas en cuanto a resolución espacial (hasta 10 m para ambas) y temporal (6 días para S1<sup>2</sup> y 5 para S2). Se optó para que dichas series, contuvieran registros capturados desde junio 2021 hasta mayo 2022, período en el que de forma aproximada se cubre el año agrícola objeto de análisis. Debe advertirse que la recurrente cobertura nubosa en el área de estudio es una limitante para tomar partido de algunos registros ópticos. También se optó por aprovechar las ventajas que ofrecen los sistemas de radar de apertura sintética (SAR) para adquirir imágenes sin depender de las condiciones atmosféricas.

En función de la limitante y fin de evaluar opciones diferentes dentro de este enfoque multitemporal, se propone conformar una base de datos contentiva de los JDT que por conveniencia se denominaron “cuatriestacional” y “bimestral”. Formulada la idea, se atiende a las siguientes salvedades: a) el primer juego provee registros S2 agrupados según su captura durante alguna de las cuatro estaciones<sup>3</sup>; b) en la alternativa “bimestral”, los datos ópticos se agrupan según su adquisición dentro de uno de los seis períodos *ad hoc*<sup>4</sup> en los que se dividió el año agrícola y, c) ambos juegos cuentan con registros S1 agrupados conforme a una cadencia de captura según mes calendario. Se parte de la hipótesis de que cada uno de estos dos juegos posee adecuadas pero diferentes capacidades para discriminar las categorías de UCS.

Para el almacenamiento y procesamiento de volúmenes de datos como los aquí requeridos, es subrayable que el empleo de tecnologías informáticas tradicionales

---

<sup>2</sup> El 23 de diciembre de 2021, la Agencia Espacial Europea anunció que debido a una falla en los instrumentos electrónicos que se destinan al aprovisionamiento de energía, la plataforma Sentinel 1-B cesó sus operaciones. Posterior a la fecha, se dispuso únicamente de los datos proporcionados por Sentinel 1-A.

<sup>3</sup> En cuanto a las estaciones, se considera la siguiente evolución: invierno (21/6/2021-20/9/2021), primavera (22/9/2021-20/12/2021), verano (21/12/2021-28/2/2022), y otoño (20/3/2022-20/5/2022).

<sup>4</sup> Los grupos se dividieron según la siguiente progresión o períodos: 1) 21/6/2021-21/8/2021; 2) 23/9/2021-15/11/2021; 3) 16/11/2021-15/1/2022; 4) 16/1/2022-15/01/2022; 5) 16/1/2022-15/3/2022; 6) 16/3/2022-16/5/2022; y 7) 17/5/2022-05/06/2022.

podría conllevar a una inversión relativamente alta de tiempo que a su vez es incompatible con un desarrollo ágil de los productos. No obstante, el apogeo del GeoBD y en particular, aquella vertiente avocada a la observación de la tierra, ha permitido sortear tales restricciones porque sus capacidades son adecuadas para la veloz búsqueda y procesamiento de las entradas. La filosofía GeoBD se apoya en la computación de alto desempeño y en los avances en el campo de la Inteligencia Artificial. Respecto a lo último, adquieren especial notoriedad los algoritmos de última generación (por ejemplo, RF y SVM) para clasificar imágenes satelitales. En cuanto el acceso a estas tecnologías, resulta clave la disponibilidad de herramientas que operen conforme a políticas de libre acceso. Bajo esta premisa, se usaron el paquete GEEMAP y los cuadernos “Júpiter” de *Google Colab* para aprovechar simultáneamente el potencial de la plataforma *Google Earth Engine* (GEE) y algunas de las capacidades analíticas del lenguaje de programación “Python”. Dicha plataforma ofrece un catálogo de datos listos para su análisis (ARD), y dentro de estos, se dispuso de los insumos S1-GRD y S2-MSI. Los primeros, capturados mediante SAR, se ponen a disposición con un tratamiento que principalmente comprende la remoción de ruido térmico, la calibración radiométrica, y la corrección geométrica; de modo que los píxeles reflejan valores de decibeles (dB). Los S2-MSI constan de productos S2 atmosféricamente corregidos que expresan la reflectancia a nivel de superficie.

A partir de los recursos se planteó una metodología que se ejecutó mediante las siguientes fases:

I. La implementación de filtros temporales para crear un primer conjunto de datos que cometieran con los requisitos definidos para los juegos “cuatriestacional” y “bimestral”. Respecto a S2-MSI, se consideraron únicamente las bandas B4, B8 y B11; dentro de aquellas subescenas cuya cobertura nubosa fuese menor a 15%. En cuanto a S1-GRD, se dispuso de la banda que opera en la polarización Vertical Horizontal (VH) y de 10m de resolución espacial. Como resultado de esta fase, se identificaron hasta 432 escenas S1-GRD y 1.215 escenas S2-MSI que serían de utilidad para etapas subsiguientes.

II. La aplicación del estadístico de mediana para reducir el volumen de datos considerados en la primera fase. Como resultado, se obtuvo una única imagen por banda espectral dentro de c/u de los grupos que conforman los juegos “cuatriestacional” o “bimestral”. Este tratamiento podría sortear la aparición de píxeles con valores extremos y que al mismo tiempo son representativos de densas coberturas nubosas o de las sombras que estas producen.

III. El cómputo del NDVI a partir de las bandas de B8 y B4 contenidas en c/u de los grupos. La fórmula aplicada es:  $NDVI = (B8 - B4) / (B8 + B4)$ .

IV. La conformación de los JDT a partir de los elementos creados en las fases II y III.

V. La creación de un total de 3.252 polígonos para generar las muestras de entrenamiento. La cobertura corresponde con un total de 10.845 píxeles.

VI. La configuración de los hiperparámetros RF y SVM para optimizar los resultados de la clasificación supervisada. Mediante la función GridSearchCV de la librería Scikit-learn de Python, se procesaron las muestras de entrenamiento obtenidas en

la quinta fase. El tratamiento condujo a identificar los valores óptimos de “*number of trees*”, “*variables per split*”, y “*min leaf population*” para RF. En cuanto al SVM; se hizo lo propio con el “*kernel type*”, “*cost*” y “*gamma*”.

VII. La clasificación supervisada para generar mapas de UCS según cada JDT y clasificador. De esta forma, se crean cuatro mapas: cuatriestacional – RF (CRF), cuatriestacional – SVM (CSVM), bimestral – RF (BIRF), y bimestral – SVM (BISVM).

VIII. La validación de los productos mediante las matrices de confusión para conocer las estadísticas de fiabilidad global y por clase. Las primeras refieren al coeficiente kappa y al % general de aciertos; en tanto que, para las restantes, es trascendental conocer la exactitud por clase y los respectivos errores de comisión y omisión. Esta validación se consumó a partir del contraste de los mapas aquí producidos con varias fuentes independientes: capturas en campo, interpretación visual de imágenes satelitales de alta resolución espacial (3-5 m) adquiridas por la constelación *Planet Dove*, y datos proporcionados por el proyecto *Dynamic World*.

Dentro de los resultados se destaca que BIRF arrojó las clasificaciones más acertadas: 83 % de fiabilidad global y un índice Kappa de 0,81. Esto último, supone contar con una muy buena estimación del grado de acuerdo. Al abarcar cerca 60 % del total del área de estudio, la categoría con mayor extensión es herbazales – herbazales con vegetación leñosa dispersa. Las superficies urbanas construidas apenas alcanzaron cerca del 0,20 % del total. Para esta clasificación, uno de los aciertos más bajos se derivó de las respectivas identificaciones del doble cultivo (75 % exactitud del usuario) y de los cultivos de invierno (72 % exactitud del productor). En general, los errores presentan un patrón de localización más marcado hacia el centro-sur y el oeste del país; regiones coincidentes con algunas zonas agrícolas de la Cuenca del Río Santa Lucía y la Cuenca del Río Negro. En cuanto a algunas generalidades de los otros mapas, sobresale: BISVM alcanzó una fiabilidad global de 81 % y un índice Kappa igual a 0,78; CRF tuvo una fiabilidad global de 80 % y un índice Kappa de 0,77; mientras que CSVM proporcionó una fiabilidad global de 73 % y un índice Kappa de 0,69. Al comparar los estadísticos globales de los productos hechos con un mismo JDT y con un diferente clasificador, se nota que RF condujo a mejores resultados. Al respecto, se aclara que las estadísticas de fiabilidad global para los productos obtenidos a partir de JDT bimestrales no revelan diferencias significativas, sin embargo, estas son más acusadas en el caso de los juegos cuatriestacionales. Desde estos planteamientos, se confirma la hipótesis de que el empleo de JDT más densos (los bimestrales para el caso) para cartografiar cubiertas fenológicamente dinámicas, repercute en una mejor discriminación de las categorías. Se ratifica que la configuración de los hiperparámetros es una tarea crítica para aprovechar el potencial de los clasificadores.

Los recursos manejados facilitan el desarrollo de una metodología perfectible y ajustable para otros contextos temporales. En ulteriores ocasiones y en función de la cobertura nubosa, debe atenderse a la posibilidad de contar con series temporales representativas de intervalos de tiempo más cortos en comparación a los aquí planteados. Ello podría ser de utilidad para incrementar la exactitud general y por clases. La elevada velocidad con la cual se ejecuta el procesamiento informático de los datos podría incidir en el futuro desarrollo de actualizaciones más frecuentes: por

ejemplo, modelar el UCS para períodos más acotados en un año agrícola. Dentro de otras posibles ventajas, ello sería de utilidad para identificar procesos ambientales que puedan vincularse con cubiertas agrícolas como los cultivos de invierno o de verano. Se comprueba que las tecnologías GeoBD conducen a una eficientemente búsqueda y procesamiento de grandes volúmenes de datos para la observación de la tierra. En futuras líneas, se recomienda comparar el respectivo potencial de los datos SAR y ópticos, o valorar el uso de redes neuronales artificiales para la automatización de procesos.

*Palabras clave:* Geo Big Data, Uso y cobertura del suelo, Inteligencia Artificial, Uruguay.

*Agradecimientos:* al Ing. Juan Marco Olivera – División de Información Ambiental, Ministerio de Ambiente.

## A Geo Big Data proposal for land use/land cover mapping. Uruguay, agricultural year 2021-2022

For environmental monitoring is designed a Geo Big Data methodology to map the land use/cover (LULC) referred to the Uruguayan agricultural year 2021-2022. The goal is to create two multitemporal sets that combine Sentinel 1 (S1) and Sentinel 2 (S2) imagery, classify these using the Random Forest algorithms (RF) or Support Vector Machines (SVM), generate the accuracy statistics for each of the four possible solutions and identify the one that brings the most satisfactory results.

To create a brief geographical context, Uruguay has a continental surface of about 176,215 km<sup>2</sup> and is located between 30°-35° S and 53°-58° W. According to Köppen-Geiger, the country has a temperate, humid climate with no dry season. It belongs to the biome called “pampean grasslands”, where in some areas, it coexists with natural evergreen vegetation locally known as “monte nativo”. To the east and into the Santa Lucía Basin are RAMSAR wetlands, whose notoriety lies in the potential to provide ecosystem services and house various animal and plant species. Regarding socioeconomic characteristics, in 2021, the country had about 3,426,260 inhabitants, 4% rural and 96% urban. There is a manifest concentration towards the Metropolitan Area of Montevideo – coastal zone. The agricultural & forestry economy is supported by the cited biophysical conditions and in the implementation of political-legal policies that promote cultivation. Other directives focus on the conservation of environmental interest areas.

Given the context, it is necessary to develop systematic monitoring to identify the spatial distribution of relevant LULC classes: grasslands – grasslands with sparse woody vegetation, native forest, bodies of water, wetlands – flooded areas, afforestation (especially pines and eucalyptus), afforestation harvest, summer crops (soybean and rice are representative), winter crops (for example, wheat or barley), double cropping, bare soil – bare rock, paved urban surfaces, and vegetation in urban areas. Although there

are many phenologically stable classes, there are others (like agricultural) with a more marked dynamic that links to the southern hemisphere seasons' evolution. A supervised classification through S1 and S2 time series is suitable for the corresponding mapping. These are the free access alternatives that provide the most appropriate spatial (up to 10 m for both) and temporal resolution (6 days for S1<sup>5</sup> and 5 for S2). These series contain records from June 2021 to May 2022, coinciding with the agricultural year. It must be stated that the persistent cloud cover is a limitation to taking advantage of some optical records. Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery was also chosen to acquire data without depending on atmospheric conditions.

Based on the abovementioned limitations and to evaluate different options within this multitemporal approach, a two-temporal set database (TDB) is proposed for supervised classification. The first set is quad-seasonal (QS), while the bimonthly (BI) is the other choice. The first provides S2 data grouped according to their take during any of the southern hemisphere's four seasons<sup>6</sup>, while the bimonthly sorts of these optical data into an acquisition within one of the seven periods<sup>7</sup> two into which it was conveniently divided the agricultural year. Both sets have S1 records monthly grouped. The above hypothesis shows that each set has proper but different capabilities to classify cited LULC categories. For the storage and processing of data volumes such as those required, traditional computing technologies could lead to a relatively high investment of time, which is incompatible with fast mapping. GeoBD is taking over those restrictions for Earth Observation because its capacities are adequate for a fast imagery search and processing. These capabilities lie on high-performance computing and Artificial Intelligence. State-of-the-art algorithms like RF and SVM are notorious for their excellent performance in classifying vast amounts of imagery. Regarding access to these technologies, free access options are vital. For this research, the GEEMAP package and Google Collab's "Jupiter" notebooks were used to simultaneously take advantage of the Google Earth Engine (GEE) platform's potential and some "Python" analytical capabilities. GEE offers a vast Analysis Ready Data (ARD) catalogue, and this research study employs S1-GRD and S2-MSI. The first has been previously processed with thermal noise removal, radiometric calibration, and geometric correction, so the pixels reflect decibel (dB) values. The S2-MSI consists of surface-level atmospherically corrected products. This research's methodology included the following:

I. The completion of temporary filters to create a first group of elements that meets the requirements defined for the QS or BI sets. Optical bands B4, B8 and B11 were selected; within those sub-scenes whose cloud cover was less than 15%. Regarding S1-GRD, Vertical Horizontal polarization (VH) and 10m spatial resolution are selected alternatives. As a result, up to 432 S1-GRD scenes and 1,215 S2-MSI scenes were identified for subsequent stages.

---

<sup>5</sup> On December 23, 2021, the European Space Agency announced that due to a failure in the power supply electronic instruments, the Sentinel 1-B platform ceased operations. After the date, only the data provided by Sentinel 1-A was available.

<sup>6</sup> The evolution is: winter (6/21/2021-9/20/2021), spring (9/22/2021-12/20/2021), summer (12/21/2021-2/28/2022), and autumn (20/3/2022-20/5/2022).

<sup>7</sup> The groups were divided according to the following progression or periods: 1) 6/21/2021-8/21/2021; 2) 9/23/2021-11/15/2021; 3) 11/16/2021-1/15/2022; 4) 1/16/2022-01/15/2022; 5) 1/16/2022-3/15/2022; 6) 3/16/2022-5/16/2022; and 7) 5/17/2022-06/05/2022.

II. Applying the median statistic to reduce the first phase picked-up data. As a result, a single image per spectral band was obtained within each group that makes up the QS or BI. This technique could avoid the appearance of pixels with extreme values that, at the same time, correspond to dense cloud covers or the shadows they produce.

III. The computation of the NDVI from the B8 and B4 bands contained in each group. Formula is:  $NDVI = (B8 - B4) / (B8 + B4)$ .

IV. TDB creation from the elements created in phases II and III.

V. The digitization of 3,252 polygons for training samples. The coverage corresponds to a total of 10,845 pixels.

VI. RF and SVM hyperparameters tuning to optimize the classifiers. In this stage, the training samples were processed through the GridSearchCV function of the Scikit-learn Python library. The procedure led to identifying the optimal values of "number of trees", "variables per split", and "min leaf population" for RF. Regarding the SVM, the same was done with the "kernel type", "cost", and "gamma".

VII. Supervised classification to produce LULC maps according to each TDB and classifier. In this way, four maps are produced: quad-seasonal – RF (QSRF), quad-seasonal – SVM (QSVM), bi-monthly – RF (BIRF), and bi-monthly – SVM (BISVM).

VIII. The validation through confusion matrices. It is critical to know about global and class reliability. The first refers to the kappa coefficient and the general agreement. The other is transcendental to identify class accuracy. This validation was completed by contrasting the maps with various independent sources: field data, visual analysis of Planet Dove high spatial resolution imagery (3-5 m), and Dynamic World project records.

The results show that BIRF gave the most accurate classifications: 83% global reliability and a Kappa index of 0.81. The latter implies having an excellent estimate of the degree of agreement. With about 60% of the total study area, the most considerable extension belongs to grasslands & grasslands with sparse woody vegetation. Built-up urban surfaces barely reached close to 0.20% of the total. For this classification, one of the lowest hits was derived from the respective identifications of double cropping (75% user's accuracy) and winter crops (72% producer's accuracy). In general, the errors present a marked location pattern towards the centre-south and west of the country, regions coinciding with some agricultural areas of the Santa Lucía River Basin and the Negro River Basin.

Pertain to some generalities of the other maps, it stands out: BISVM reached an overall reliability of 81% and a Kappa index equal to 0.78; QSRF had an overall reliability of 80% and a Kappa index of 0.77, while CSVM provided an overall reliability of 73% and a Kappa index of 0.69. When comparing the global statistics of the products made with the same temporal set and with a different classifier, it is noted that RF led to better results. The global reliability statistics for BI-based maps do not reveal significant differences. However, these are more pronounced in the case of QS products. From these approaches, the hypothesis is confirmed that a denser temporal set impacts a better discrimination of the categories. Hyperparameter tuning is a critical task to take advantage of the potential of the classifiers. The methodology can be perfectible and adjustable for other temporary contexts. On future occasions and

depending on the cloud cover, the possibility of creating temporal sets representing shorter intervals should be evaluated when compared to QS or BI. That could increase overall and class accuracy. State-of-the-art technologies, like those used in this study, may impact the future development of more frequent updates, such as modelling the UCS for shorter periods in an agricultural year. Among other possible advantages, this would be useful to identify environmental processes linked to agricultural covers such as winter or summer crops. GeoBD technologies efficiently search and process large volumes of data for earth observation. In future lines, it is recommended to compare the respective potential of SAR and optical data or assess the use of artificial neural networks for process automation.

**Keywords:** Geo Big Data, Land use/ Land cover, Artificial Intelligence, Uruguay.



# DETECCIÓN Y RELLENO DE PÍXELES DE NUBES UTILIZANDO REDES NEURONALES RECURRENTES

ALONSO SARRIA, FRANCISCO

Instituto del Agua y del Medio Ambiente. Universidad de Murcia, [alonsarp@um.es](mailto:alonsarp@um.es)

VALDIVIESO ROS, CARMEN

Instituto del Agua y del Medio Ambiente. Universidad de Murcia, [mcarmen.valdivieso@um.es](mailto:mcarmen.valdivieso@um.es)

GOMARIZ CASTILLO, FRANCISCO

Instituto del Agua y del Medio Ambiente. Universidad de Murcia, [fjgomariz@um.es](mailto:fjgomariz@um.es)

La presencia de nubes y sus sombras limita considerablemente la posibilidad de utilizar imágenes de satélite para la clasificación de usos del suelo. El problema afecta a todas las bandas espectrales de los sensores pasivos y es especialmente serio cuando se intenta integrar imágenes de diferentes fechas y, sobre todo, cuando se plantea la clasificación de los píxeles a partir de series temporales de reflectividad (por ejemplo, Campos Taberner *et al.*, 2020). A pesar de que las aplicaciones de búsqueda y descarga de imágenes de NASA o ESA permiten incluir un umbral de nubosidad, es frecuente que las imágenes con nubosidad baja incluyan pequeños cúmulos y sus sombras. Si se va a utilizar una serie temporal de imágenes, la unión de los cúmulos y sombras en cada una de ellas puede representar una proporción sustancial del área de estudio.

La presencia de nubes plantea realmente dos problemas: en primer lugar, la localización de nubes y, en segundo lugar, el relleno de las mismas mediante la estimación de los valores de reflectividad del suelo. Se han propuesto diversas técnicas para la detección de nubes y recientemente se ha llevado a cabo un ejercicio de comparación de los mismos (Skakun *et al.*, 2022). En casi todos los casos se utilizan índices que resaltan las diferencias en la respuesta espectral entre las nubes y las coberturas del suelo, más compleja resulta la detección de sombras. En los modelos empleados, se prefiere que se generen falsos positivos antes que falsos negativos, para ello se utilizan incluso buffers a partir de la nubes o sombras detectadas.

Por otro lado se han propuesto diversas técnicas para estimar la reflectividad del suelo en los píxeles de nubes y completar así la imagen. Wang *et al.* (2022) dividen estas técnicas en tres categorías: espaciales, temporales y mixtas. Las primeras se basan generalmente en interpolaciones espaciales, por ejemplo, de vecino más

próximo o geoestadísticas. Estos métodos requieren que la superficie afectada no sea muy grande, así como una gran regularidad en las coberturas presentes en la imagen y su distribución espacial. Los métodos temporales utilizan imágenes anteriores y posteriores para estimar la reflectividad en los píxeles perdidos asumiendo una cierta constancia en las coberturas. Lógicamente, esta dependerá de la distancia temporal entre la imagen a reconstruir y las utilizadas como predictores. Evidentemente se obtienen mejores resultados si se utilizan imágenes de sensores de alta resolución temporal. Generalmente, la reflectividad de cada banda se predice a partir de reflectividades de la misma banda en otros píxeles de la misma imagen o de imágenes de otras fechas. Wang *et al.* (2022) proponen utilizar todas las bandas como predictores, consiguiendo así introducir también información espectral, utilizando Random Forest como modelo predictivo.

En este trabajo se propone un procedimiento para, al mismo tiempo, detectar y corregir la presencia de nubes en series de imágenes que posteriormente serán objeto de una clasificación de coberturas de suelo utilizando redes neuronales recurrentes. El método propuesto es de tipo temporal, utilizando redes neuronales recurrentes para generar un modelo a partir de los píxeles sin nube o sombra. Este modelo se utiliza después para estimar la reflectividad de los píxeles sospechosos de ser nube o sombra. Después la similitud entre el valor en la imagen y el valor estimado permite determinar en cada caso si el píxel es de nube/sombra o no. En el primer caso se utiliza el valor estimado y en el segundo el valor inicial.

Se parte de una digitalización, a groso modo, de las áreas afectadas por nubes, no se trata de ser preciso sino de rodear todas las nubes y sombras presentes en la imagen dejando fuera de las áreas afectadas suficientes píxeles como para calibrar un modelo. En un segundo paso, se selecciona un conjunto amplio de píxeles de entrenamiento, fuera del área afectada por nubes, para un modelo predictivo. Las variables respuesta de éste serán las reflectividades en la imagen de la que se van a eliminar las nubes y los predictores las mismas reflectividades en imágenes no afectadas. En realidad, se pueden corregir varias imágenes a la vez con tal de que la unión de las áreas afectadas por nubes en cada una de estas imágenes deje un espacio suficientemente amplio y diverso como para obtener una buena muestra. La gran ventaja es que la obtención de puntos de entrenamiento no requiere etiquetado manual. Este procedimiento solo es válido cuando la cobertura nubosa a eliminar no ocupa un gran porcentaje de la imagen en cuestión, aunque creemos que puede dar mejores resultados que los métodos de relleno espacial cuando el porcentaje ocupado es intermedio.

Para determinar la exactitud del modelo, el conjunto de puntos de muestreo obtenidos se dividió en puntos de entrenamiento y test. El conjunto de test se formó a partir de todos los píxeles situados a menos de una distancia dada de un punto aleatorio suficientemente alejado de las áreas afectadas por nubes. De este modo se garantiza la independencia de las áreas test respecto a las de entrenamiento y validación. Como estadísticos de exactitud se utilizaron la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) y el coeficiente de determinación ( $r^2$ ).

Los procedimientos utilizados para estimar las reflectividades en los píxeles sin nube fueron: la media de las reflectividades en las fechas anterior y posterior, una

estimación a partir de los valores de reflectividad anteriores y posteriores, Random Forest utilizando todas las bandas de las fechas anterior y posterior, similar al procedimiento propuesto por Wang *et al.* (2022), y una red neuronal recurrente (LSTM) utilizando como predictores todas las reflectividades en cinco fechas anteriores y cinco posteriores. En el caso de la red neuronal, el conjunto de píxeles de entrenamiento se dividió en entrenamiento y validación como suele hacerse en el entrenamiento de modelos de redes neuronales. Todo el procedimiento se desarrolló en Python utilizando las librerías numpy, scikit-learn y tensorflow.

Una vez que se ha calibrado un modelo a partir de los píxeles externos a las áreas potencialmente nubosas, se evalúa la diferencia entre las reflectividades originales y las estimadas por el modelo en las áreas potencialmente nubosas. Solo si la diferencia supera un número de desviaciones típicas respecto a la media (umbral que debe fijarse *a priori*) se considera que el pixel es nube o sombra y se sustituye el valor original por el estimado. Un umbral alto puede dejar sin detectar algunos píxeles de sombra, pero un umbral bajo puede modificar píxeles que no lo necesitan. En todo caso la exactitud de los modelos es tan alta que esto no sería un problema grave.

El procedimiento se probó con una serie de imágenes Sentinel-2 correspondientes al Campo de Cartagena o cuenca vertiente al Mar Menor (1275 km<sup>2</sup>) en el sureste de España. El clima es mediterráneo semiárido (precipitación media anual de 300-350 mm), con gran irregularidad pluviométrica, pero la elevada variabilidad temporal da lugar a una alternancia habitual de sequías extremas e inundaciones. Las temperaturas son cálidas durante todo el año. A pesar de la escasa precipitación, las características del suelo, la temperatura y orografía hacen que la zona sea muy apta para fines agrícolas. Cultivada desde la antigüedad, ha ido cambiando progresivamente, en los últimos cincuenta años, de la agricultura de secano a la de regadío, utilizando agua trasvasada del río Tajo, agua de las desaladoras y también aguas subterráneas. En cuanto a la vegetación natural, existe una gran biodiversidad y heterogeneidad de vegetación, principalmente matorral mediterráneo, aunque también hay manchas de bosque mediterráneo. El otro uso principal en este territorio es el urbano; muchas grandes superficies urbanizadas, cuyo incremento de población estival es difícil de cuantificar, se encuentran a lo largo del litoral que delimita la laguna.

Se utilizó una serie de 12 imágenes (20/06/2018, 25/06/2018, 05/07/2018, 10/07/2018, 15/07/2018, 24/08/2018, 29/08/2018, 03/09/2018, 08/09/2018, 13/09/2018, 18/09/2018, 23/09/2018). Las imágenes de 30/07/2018 y 29/08/2018 presentaban algunos cúmulos. Ambas se corrigen con las cinco anteriores y las cinco posteriores. Los puntos de entrenamiento, validación y test se obtienen fuera de unión de las áreas nubosas de ambas imágenes, de manera que las dos pueden corregirse con el mismo modelo.

Los mejores resultados se obtienen con la red LSTM, los siguientes son los de Random Forest los de las medias o la interpolación son algo peores. En todo caso, todos los modelos obtienen estadísticos de exactitud muy altos. La exactitud del modelo basado en la media de las reflectividades en la imagen anterior y posterior obtiene valores de RMSE entre 0.007 y 0.02 y de  $r^2$  entre 0.942 y 0.987. En el caso del modelo basado en Random Forest, los valores están entre 0.005 y 0.019 en RMSE y 0.953 y 0.992 para  $r^2$ . Finalmente el modelo basado en la red LSTM obtiene valores

de RMSE entre 0.005 y 0.011 y de  $r^2$  entre 0.986 y 0.991. Es evidente que se trata en todos los casos de valores muy altos, pero, en todo caso, los resultados de la red LSTM consiguen una mejora porcentualmente importante en relación al margen de mejora que permiten los otros modelos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Campos-Taberner, M., García-Haro, F.J., Martínez, B., Izquierdo-Verdiguier, E., Atzberger, C., Camps-Valls, G. & Gilabert, M.A. (2020). Understanding deep learning in land use classification based on Sentinel-2 time series. *Sci Rep.* 2020 Oct 14; 10(1): 17188.
- Skakun, S. *et al.* (2022). Cloud Mask Intercomparison eXercise (CMIX): An evaluation of cloud masking algorithms for Landsat 8 and Sentinel-2. *Remote Sensing of Environment*, 274, 1, 112990.
- Wang, Q., Wang, L., Zhu, X., Ge, Y., Tong, X. & Atkinson, P.M. (2022). Remote sensing image gap filling based on spatial-spectral random forests. *Science of Remote Sensing*, 5, 100048.

**Palabras clave:** Detección de nubes, Redes LSTM, Random Forest, Sentinel-2.

**Financiación:** Proyecto TED2021-131131B-100 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea Next GenerationEU/PRTR.

## Cloud pixel detection and filling using recurrent neural networks

The presence of clouds and their shadows considerably limits the possibility of using satellite images for land use classification. The problem affects all spectral bands of passive sensors and is particularly serious when trying to integrate images from different dates and, above all, when considering pixel classification using reflectivity time series as predictors (e.g. Campos Taberner *et al.*, 2020). Although NASA or ESA image search and download applications allow the inclusion of a cloud threshold, it is common for images with low cloud cover to include small cumulus clouds and their shadows. If a time series of images is to be used, the union of the cumulus clouds and shadows in each image may represent a substantial proportion of the study area.

The presence of clouds actually poses two problems: firstly the location of clouds, and secondly, the filling of clouds by estimating ground reflectivity values. Several techniques have been proposed for cloud detection and a comparison exercise has recently been carried out (Skakun *et al.*, 2022). In almost all cases, indices are used that highlight differences in spectral response between clouds and ground covers, more complex is the detection of clouds. In the models used, it is preferred that false positives are generated rather than false negatives, and even buffers are used from the detected clouds or shadows.

On the other hand, several techniques have been proposed to estimate the ground reflectivity in cloud pixels to complete the image. Wang *et al.* (2022) divide

these techniques into three categories: spatial, temporal and mixed. The former are generally based on spatial interpolations, e.g. nearest neighbour or geostatistical. These methods require that the area affected is not very large, as well as a high degree of regularity in the coverages present in the image and their spatial distribution. Temporal methods use before and after images to estimate the reflectivity in the missing pixels assuming a certain constancy in the coverages. Logically, this will depend on the temporal distance between the image to be reconstructed and those used as predictors. Obviously, better results are obtained if images from high temporal resolution sensors are used. Generally, the reflectivity of each band is predicted from reflectivities of the same band in other pixels of the same image or from images of other dates. Wang *et al.* (2022) propose to use all bands as predictors, thus also introducing spectral information. In their work, Random Forest is used as a predictive model.

In this work, a procedure is proposed to simultaneously detect and correct the presence of clouds in series of images that will later be subject to land cover classification using recurrent neural networks. The proposed method is a temporal one, using recurrent neural networks to obtain a model from pixels without clouds or shadows. This model is then used to estimate reflectivity in pixels suspected of being cloud or shadow. Then the similarity between the value in the image and the estimated value allows determining in each case whether the pixel is cloud/shadow or not. In the first case the estimated value is used and in the second case the initial value.

The starting point is a rough digitisation of the cloud-affected areas, not to be precise but to surround all clouds and shadows present in the image, leaving enough pixels outside the affected areas to calibrate a model. In a second step, a large set of training pixels, outside the cloud-affected area, is selected for a predictive model. The response variables of this model will be the reflectivities in the image from which the clouds are to be removed and the predictors will be the same reflectivities in unaffected images. In reality, several images can be corrected at the same time as long as the union of the areas affected by clouds in each of these images leaves a sufficiently wide and diverse space to obtain a good sample. The great advantage is that obtaining training points does not require manual labelling. This procedure is only valid when the cloud cover to be removed does not occupy a large percentage of the image in question, although we believe that it can give better results than spatial filling methods when the percentage occupied is intermediate.

To determine the accuracy of the model, the set of sampling points obtained was divided into training and test points. The test set was formed from all pixels located within a given distance from a random point sufficiently far away from the cloud-affected areas. This guarantees the independence of the test areas from the training and validation areas. The square root of the root mean square error (RMSE) and the coefficient of determination ( $r^2$ ) were used as accuracy statistics.

The procedures used to estimate the reflectivities in the pixels without cloud were: the mean of the reflectivities on the before and after dates, an estimation from the before and after reflectivity values. Random Forest using all the bands from the before and after dates, similar to the procedure proposed by Wang *et al.* (2022), and a recurrent neural network (LSTM) using all the reflectivities on five before and five after dates as predictors. In the case of the neural network, the training set of pixels was divided into training and validation as it is usually done in the training of neural

network models. The whole procedure was developed in Python using the numpy, scikit-learn and tensorflow libraries.

Once a model has been calibrated from the pixels outside the potentially cloudy areas, the difference between the original reflectivities and those estimated by the model in the potentially cloudy areas is evaluated. Only if the difference exceeds a number of standard deviations from the mean (a threshold to be set *a priori*) is the pixel considered to be cloud or shadow and the original value is replaced by the estimated value. A high threshold may leave some shadow pixels undetected, but a low threshold may modify pixels that do not need it. In any case the accuracy of the models is so high that this would not be a serious problem.

The procedure was tested with a series of Sentinel-2 images corresponding to the Campo de Cartagena or watershed to the Mar Menor (1275 km<sup>2</sup>) in southeastern Spain. The climate is semi-arid Mediterranean (mean annual rainfall 300-350 mm), with high rainfall irregularity, but the high temporal variability results in a regular alternation of extreme droughts and floods. Temperatures are warm throughout the year. Despite the low rainfall, the characteristics of the soil, temperature and orography make the area very suitable for agricultural purposes. Cultivated since ancient times, it has gradually changed over the last fifty years from dry farming to irrigated farming, using water transferred from the Tagus River, water from desalination plants and also groundwater. In terms of natural vegetation, there is a great biodiversity and heterogeneity of vegetation, mainly Mediterranean scrubland, although there are also patches of Mediterranean woodland. The other main use in this territory is urban; many large urbanised areas, whose summer population increase is difficult to quantify, are located along the coastline that delimits the lagoon.

A series of 12 images were used (20/06/2018, 25/06/2018, 05/07/2018, 10/07/2018, 15/07/2018, 24/08/2018, 29/08/2018, 03/09/2018, 08/09/2018, 13/09/2018, 18/09/2018, 23/09/2018). The images of 30/07/2018 and 29/08/2018 showed some cumulus clouds. Both are corrected with the five before and five after. The training, validation and test points are obtained outside the junction of the cloudy areas of both images, so that both can be corrected with the same model.

The best results are obtained with the LSTM network, the next best results are those of Random Forest, those of the averages or the interpolation are somewhat worse. In any case, all models obtain very high accuracy statistics. The accuracy of the model based on the mean of the reflectivities in the before and after image obtains RMSE values between 0.007 and 0.02 and  $r^2$  between 0.942 and 0.987. In the case of the Random Forest based model, the values are between 0.005 and 0.019 for RMSE and 0.953 and 0.992 for  $r^2$ . Finally, the model based on the LSTM network obtains RMSE values between 0.005 and 0.011 and  $r^2$  between 0.986 and 0.991. It is clear that these are in all cases very high values, but, in any case, the results of the LSTM network achieve a significant percentage improvement in relation to the margin of improvement allowed by the other models.

**Keywords:** Cloud detection, LSTM neural networks, Random Forest, Sentinel-2.

# ANÁLISIS DE LA CUBIERTA NIVAL A PARTIR DE LOS SENSORES RAPIDEYE Y SENTINEL-2: GLACIARES PIRENAICOS

ARANSAY GONZÁLEZ, RAQUEL

Departamento de Transporte Público, iPlan Movilidad, Calle del Hierro 33, 28045 Madrid, España,  
[raquel\\_aran@hotmail.es](mailto:raquel_aran@hotmail.es)

CONDE ORIA, FRANCISCO

Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio, Universidad de Cantabria,  
Av. de los Castros, 44, 39005 Santander, España, [francisco.conde@unican.es](mailto:francisco.conde@unican.es),  
<https://orcid.org/0000-0002-9706-6369>

La acumulación de nieve es un factor de suma importancia en la cordillera de los Pirineos, especialmente en la vertiente sur. Muchas características de los regímenes fluviales están relacionadas con la retención de nieve invernal y el deshielo primaveral. La nieve invernal es una reserva de agua dulce que se acumula durante los meses fríos y se derrite gradualmente durante la primavera, contribuyendo a los caudales de los ríos. La cantidad de nieve acumulada y la velocidad de deshielo también pueden afectar la disponibilidad de agua durante el verano y el otoño; y a la calidad del agua de los ríos. Además, la nieve controla diversos procesos como la erosión y los ciclos fenológicos; y se asocia a la ocurrencia de riesgos naturales, como los aludes o fuertes eventos de fusión relacionados con crecidas destacables de los caudales de los ríos.

En la última década se ha constatado que el ritmo de retroceso de estos glaciares es muy elevado, por lo que ahondar en la comprensión de los procesos que controlan su evolución es muy importante. De todos estos procesos, destaca el aumento de la temperatura del aire durante el periodo de fusión, ya que es la principal causa del reciente declive de los glaciares en el Pirineo español (vertiente sur). La fusión de la nieve provoca que el hielo de los glaciares quede descubierto y expuesto a la radiación solar directa y a los efectos por las altas temperaturas de los meses de verano, produciéndose un mayor deshielo.

En el periodo 1983-2013 se observaron aumentos de temperatura estadísticamente significativos en mayo y junio, y disminuciones estadísticamente significativas en noviembre y diciembre, lo cual afecta a la acumulación y ablación de hielo. Los valores de tasa anual de pérdida de área glaciada desde la década de 1980 indican una contracción de los glaciares en los Pirineos. Sin embargo, los valores individuales de

la reducción del área varían significativamente entre los glaciares, ya que la evolución de cada uno depende principalmente de las condiciones climáticas regionales, y la topografía local.

El objetivo principal de este estudio es conocer las potencialidades del uso de la teledetección para determinar la evolución de la cobertura nival observada en distintos glaciares del Pirineo. La capacidad de obtener información sobre la cubierta de nieve de grandes áreas geográficas de manera rápida y precisa, hace que la teledetección sea fundamental para la gestión de recursos hídricos, la predicción de inundaciones o el análisis del cambio climático, entre otras aplicaciones. En este caso nos ha permitido analizar la evolución de la nieve en diferentes glaciares de los Pirineos, con el objetivo de aumentar la comprensión de los procesos que rigen la evolución de los glaciares pirenaicos.

Los satélites de observación de la Tierra han revolucionado el estudio de la nieve en zonas de montaña. Estos satélites pueden proporcionar mediciones de la extensión y la profundidad de la nieve en tiempo casi real, y nos permiten analizar la variabilidad espacial y temporal de la nieve. Las imágenes de satélite pueden proporcionar información sobre la distribución y la densidad de la nieve, así como sobre su fusión y acumulación a lo largo del tiempo, lo que nos ayuda a identificar las áreas más propensas a sufrir avalanchas, o detectar si un glaciar va a quedar más expuesto a la radiación solar y las altas temperaturas.

Para este estudio la monitorización de la duración y la extensión de la capa de nieve que alimenta y protege los glaciares tiene gran relevancia. Sin embargo, la monitorización de la misma debe realizarse con una resolución temporal y espacial suficiente que permita observar las fluctuaciones de la superficie cubierta por nieve.

Partiendo de la hipótesis de que es necesario aumentar la comprensión de los procesos que rigen la evolución de los glaciares pirenaicos, se establece como objetivo determinar la fuente de información (sensor satélite) más apropiada para caracterizar la evolución de la cobertura de nieve de alta resolución. Para ello, se ha procedido a analizar la manera de obtener información fiable de la cobertura de nieve en distintos glaciares del Pirineo mediante plataformas satelitales. Los seleccionados para el análisis son: Infiernos, Ossoue, Monte Perdido, Llardana, La Paul, Maladeta y Aneto. Esta elección permite obtener una visión global de la cordillera, ya que se encuentran en áreas diferentes del Pirineo y sus características varían entre ellos: los glaciares más pequeños, como Llardana (7,55 ha), La Paul (4,9 ha) e Infiernos (4,35 ha), se ubican en circos cerrados; mientras que los glaciares de Aneto (47,35 ha), Monte Perdido (30 ha), Ossoue (26,6 ha) y Maladeta (25,1 ha) tienen una mayor extensión.

Se han comparado las observaciones y la información obtenida por los satélites ópticos de alta resolución espacial (Sentinel-2 y RapidEye) en algunos de los glaciares durante el periodo con observaciones comunes (2017-2022), para así reconstruir la evolución temporal sobre los glaciares.

Las propiedades ópticas de la nieve son únicas en comparación con las de otros elementos del paisaje de montaña (rocas, suelo, masas forestales...), principalmente debido a la alta reflectancia de la nieve en el espectro visible (VIS; 400-800 nm) y a



la disminución de la reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR; 800-1000 nm) y en el infrarrojo de onda corta (SWIR; 1000-2500 nm). La monitorización de la capa de nieve en regiones montañosas depende de dichas resoluciones, ya que en este tipo de espacios nos encontramos con limitaciones debido a la cobertura de nubes y a los rápidos cambios en la extensión de la nieve.

Las características espaciales del sensor RapidEye son las que más se ajustan a este análisis debido a que este se ha llevado a cabo durante un breve espacio temporal, en una zona montañosa. Las imágenes RapidEye tienen una resolución espacial de 5m y una frecuencia de toma diaria, lo que nos ha servido para observar con mayor detalle la evolución del manto de nieve. Sin embargo, este satélite tan solo proporciona observaciones en el rango visible y no permite calcular índices de presencia de nieve o analizar bandas con información que permita determinar la presencia/ausencia de nieve. Esto hace necesaria una clasificación supervisada para cada día con imagen disponible.

Para ello, se ha seleccionado la banda 5, que muestra los valores del azul (440-510 nm), y se ha realizado una clasificación de acuerdo con los valores de nieve presentes en cada imagen. Se ha llevado a cabo un ajuste personalizado de la clasificación para cada día con imagen disponible para obtener una binarización coherente con la realidad.

Para complementar la información obtenida, la plataforma Google Earth Engine presenta muchas posibilidades de procesado de imágenes (una mayor diversidad de bandas espectrales). Gracias a estas imágenes se ha podido elaborar una máscara (Ice mask) para clasificar las imágenes procedentes de Sentinel-2 de todos los glaciares seleccionados para este análisis. Dicho procesado de imágenes se ha llevado a cabo a través de una clasificación de los valores de umbral en el NDSI y en el NIR, estableciendo la siguiente clasificación para la nieve: píxeles con valores de NIR y NDSI superiores a 0.4 son clasificados como nieve; y el resto es clasificado como NO nieve, incluyendo hielo y detritos de roca en zonas interiores a los límites de los glaciares.

Los resultados muestran que los glaciares están cubiertos de nieve en primavera y pierden la cubierta durante el verano, para volver a cubrirse en otoño. Los valores individuales de la reducción del área varían entre los glaciares, dependiendo de las condiciones locales. En este caso, los glaciares más grandes (Aneto, Monte Perdido, Maladeta y Ossue), han presentado fuertes pérdidas de superficie y espesor de hielo, mientras que los glaciares más pequeños (Llardana, La Paul e Infernos) están perdiendo menos área y espesor. Sin embargo, la evolución temporal de la fracción cubierta por nieve no siempre es fiable, ya que el aumento de la cubierta de nieve es progresivo en otoño e invierno, lo que puede afectar a la selección de imágenes.

Al realizar la selección y procesado de imágenes nos hemos encontrado con limitaciones como la presencia de nubes y la dificultad para clasificar píxeles, y las limitaciones de los sensores utilizados para analizar zonas muy específicas del Pirineo. Es necesario recopilar datos durante períodos más largos y mejorar la resolución espacial y temporal para detectar la presencia de nieve en áreas muy pequeñas con una frecuencia temporal corta. Esto nos permitiría obtener conclusiones más sólidas

sobre la evolución de la extensión de cobertura de nieve de los glaciares, así como para generar una climatología en los glaciares del Pirineo.

*Palabras clave:* Manto nival, glaciar, Pirineos, imágenes de satélite, Sentinel-2 y RapidEye.

## Snow cover analysis from RapidEye and Sentinel-2 sensors: Pyrenean glaciers

The snow accumulation is an important factor in the Pyrenees, especially on the south. Many characteristics of river regimes are related to the retention of snow in winter and its spring thaw. Winter snow is a reserve of fresh water that accumulates during the cold months and melts gradually during spring, contributing to river flow. The amount of accumulated snow and the speed of thaw can also affect water availability during summer and autumn and the quality of river water. In addition, snow controls some processes such as erosion and phenological cycles and is associated with the occurrence of natural hazards such as avalanches or strong melting events related to notable increases in river flow.

Over the past decade, it has been observed that the rate of retreat of these glaciers is very high, so is very important to understand the processes that control their evolution. Of all these processes, the increase in air temperature during the melting period stands out, as it is the main cause of the recent decline of glaciers in the Spanish Pyrenees (southern slope). Snowmelt causes glacier ice to be exposed to direct solar radiation and the effects of hot temperatures during the summer, resulting in greater thawing.

Statistically significant increases in temperature were observed in May and June during the period from 1983 to 2013, and statistically significant decreases were observed in November and December, which affect the accumulation and ablation of ice. Annual rates of glacier area loss since the 1980s indicate a contraction of glaciers in the Pyrenees. However, individual values for the reduction of the area vary significantly among glaciers, as the evolution of each one depends mainly on regional climatic conditions and local topography.

The main objective of this study is to understand the potential of remote sensing to determine the evolution of observed snow cover on different Pyrenean glaciers. The ability to obtain information about snow cover over large geographic areas quickly and accurately makes remote sensing essential for water resource management, flood prediction, or climate change analysis, among other applications. In this case, it has allowed us to analyse the evolution of snow on different glaciers in the Pyrenees, with the aim of increasing our understanding of the processes that govern the evolution of Pyrenean glaciers.

Earth observation satellites have revolutionized the study of snow in mountainous areas. These satellites can provide measurements of the extent and depth of snow

in near real-time, allowing us to analyse the spatial and temporal variability of snow. Satellite images can provide information on the distribution and density of snow, as well as its melting and accumulation over time, helping us to identify areas most prone to avalanches or detect if a glacier will be more exposed to solar radiation and high temperatures.

For this study, monitoring the duration and extent of the snow cover that feeds and protects the glaciers is highly relevant. However, monitoring should be done with sufficient temporal and spatial resolution to observe fluctuations in the snow-covered surface.

Starting from the hypothesis that it is necessary to increase the understanding of the processes governing the evolution of Pyrenean glaciers, the objective is to determine the most appropriate source of information (satellite sensor) to characterize the evolution of high-resolution snow cover. To do this, the reliable snow cover information has been analysed on different glaciers in the Pyrenees through satellite platforms. The selected ones for analysis are: Infiernos, Ossoue, Monte Perdido, Llardana, La Paul, Maladeta and Aneto. This choice allows for a global vision of the mountain range since they are located in different areas of the Pyrenees, and their characteristics vary between them. The smaller glaciers like Llardana (7.55 ha), La Paul (4.9 ha), and Infiernos (4.35 ha) are located in closed cirques, while Aneto (47.35 ha), Monte Perdido (30 ha), Ossoue (26.6 ha), and Maladeta (25.1 ha) have a larger extent.

Observations and information obtained by high-resolution optical satellites (Sentinel-2 and RapidEye) have been compared in some glaciers during the period with common observations (2017-2022) to reconstruct the temporal evolution over the glaciers.

The optical properties of snow are unique compared to other elements of the mountain landscape (rocks, soil, forest masses...) mainly due to the high reflectance of snow in the visible spectrum (VIS; 400-800 nm) and the decrease in reflectance in the near-infrared (NIR; 800-1000 nm) and shortwave infrared (SWIR; 1000-2500 nm). The monitoring of the snowpack in mountain regions depends on these resolutions, as these areas have limitations due to cloud coverage and rapid changes in snow extent.

The spatial characteristics of the RapidEye sensor are the most suitable for this analysis because it has been carried out over a short period in a mountainous area. RapidEye images have a spatial resolution of 5m and a daily capture frequency, which has helped to observe the evolution of the snow cover in greater detail. However, this satellite only provides observations in the visible range and does not allow for the calculation of snow presence indices or the analysis of bands with information that can determine the presence/absence of snow. This necessitates supervised classification for each day with an available image.

To do this, band 5, which shows blue values (440-510 nm), has been selected, and classification has been carried out according to the values of snow present in each image. A custom adjustment of the classification has been carried out for each day with an available image to obtain coherent binarization with reality.

To complement the obtained information, the Google Earth Engine platform presents many image processing possibilities (a greater diversity of spectral bands). Thanks to these images, an Ice mask has been elaborated to classify the images from Sentinel-2 of all the glaciers selected for this analysis. This image processing has been

carried out through a classification of threshold values in the NDSI and NIR, establishing the following classification for snow: pixels with NIR and NDSI values higher than 0.4 are classified as snow, and the rest are classified as non-snow, including ice and rock debris in areas within the glacier limits.

The results show that glaciers are covered in snow during spring and lose their cover during summer, only to be covered again in autumn. Individual values of area reduction vary between glaciers, depending on local conditions. In this case, the biggest glaciers (Aneto, Monte Perdido, Maladeta, and Ossue) have experienced more loss of ice area and thickness, while smaller glaciers (Llardana, La Paul, and Infiernos) are losing less ice. However, the temporal evolution of the snow-covered fraction is not always reliable, as snow cover increases progressively in autumn and winter, which can affect to the image selection.

In the images selection and processing, we have found limitations such as the presence of clouds and difficulty in pixel classification, as well as limitations of the sensors used to analyse very specific areas of the Pyrenees. It is necessary to collect data over longer periods and improve spatial and temporal resolution to detect the presence of snow in very small areas with short temporal frequency. This would allow us to obtain more solid conclusions about the evolution of snow coverage extension of glaciers, as well as to generate a climatology of Pyrenees glaciers.

**Keywords:** Snowpack, glacier, Pyrenees, satellite images, Sentinel-2, RapidEye.

# ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA DE CHARCAS EN FINCAS DE GANADERÍA EXTENSIVA DE EXTREMADURA (ESPAÑA) MEDIANTE TÉCNICAS MEJORADAS BASADAS EN TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (TIG)

CASTAÑO MARTÍN, FRANCISCO MANUEL<sup>1</sup>  
[franmcmartin@unex.es](mailto:franmcmartin@unex.es)

GÓMEZ GUTIÉRREZ, ÁLVARO<sup>1</sup>  
[alvgo@unex.es](mailto:alvgo@unex.es)

MARÍN COMITRE, UBALDO  
[umarin@unex.es](mailto:umarin@unex.es)

PULIDO FERNÁNDEZ, MANUEL<sup>1</sup>  
[mapulidof@unex.es](mailto:mapulidof@unex.es)

<sup>1</sup> Instituto Universitario de Investigación para el Desarrollo Territorial Sostenible,  
Facultad de Filosofía y Letras, Av. de la Universidad s/n, Cáceres, 10003, España

**E**l cambio climático está afectando significativamente a los recursos hídricos disponibles en los ecosistemas mediterráneos representativos de la Península Ibérica como, por ejemplo, las dehesas y los pastizales de Extremadura. Las dehesas son ecosistemas silvopastorales con arbolado disperso cuya densidad oscila entre los 15 y 80 árboles/ha (Pulido and Picardo, 2010). Concretamente, la subida de las temperaturas y el descenso de las precipitaciones presumiblemente reducirán la disponibilidad de agua superficial para abastecimiento de ganado, almacenada en charcas, en fincas de ganadería extensiva. Por ello, es necesario mejorar el conocimiento sobre la disponibilidad de agua en las charcas para ayudar a los propietarios a tomar las mejores decisiones al respecto.

Este trabajo, por tanto, pretende desarrollar modelos matemáticos de estimación del volumen de agua de las charcas y su relación con la superficie que ocupa la lámina de agua mediante técnicas que usan Tecnologías de Información Geográfica (TIG). Esta información, se va a complementar con datos, cálculos y análisis de informa-

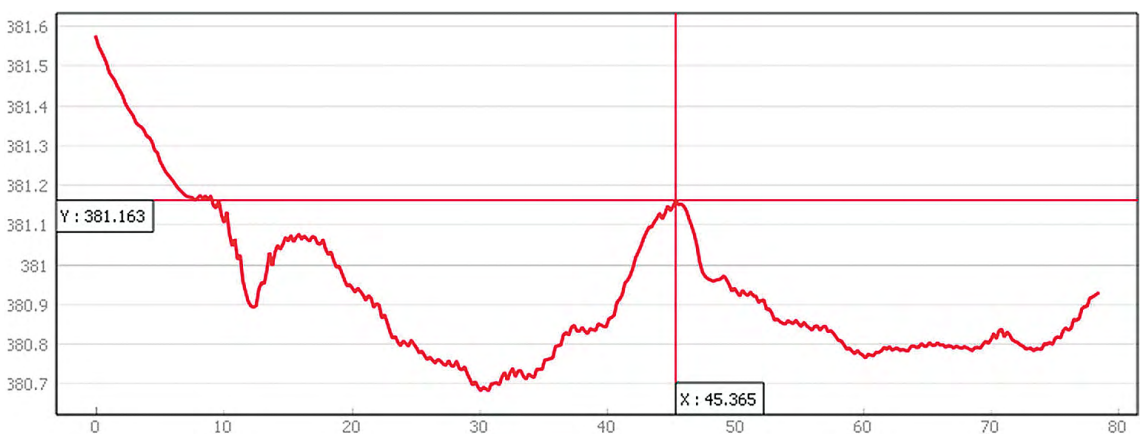
ción importante como es la cantidad de agua que consumen los diferentes animales pertenecientes a las explotaciones de las tres fincas piloto del proyecto GANAWA. Se ha realizado contacto con los propietarios de estas para la obtención de la cantidad exacta de vacas, ovejas, cerdos y cabras que tienen. Se ha estimado el consumo de agua mediante una función, propuesta por Luke (1978), que tiene en cuenta la temperatura máxima media diaria, con la que a través de dos constantes y el valor de la temperatura se calcula el consumo diario de agua de una oveja. Los datos de consumo del resto de animales se calculan mediante equivalencias descritas en el mismo estudio. Estas equivalencias estiman que el consumo de una vaca es 10 veces mayor que el de la oveja, el consumo de un cerdo es 2 veces más, y el de una cabra ligeramente inferior. Los datos de temperatura han sido extraídos de las estaciones meteorológicas más próximas a las fincas piloto. Para Parapuños, finca situada en la localidad de Monroy, se han utilizado los datos de la estación de Valdesalor. Para La Brava, situada en la localidad de Brozas, se han utilizado los datos de la estación de Aliseda. Para La Barrosa, situada en la localidad de Albuquerque, se han utilizado los datos de la estación de Rueda Chica. Además, se ha realizado el cálculo de las pérdidas por evaporación de la lámina de agua, datos extraídos de las mismas estaciones que para el cálculo del consumo. Todo ello, se analizó de manera conjunta para realizar una estimación del balance hídrico de las fincas. Resultado de esto, se realizarán entrevistas personalizadas a los propietarios de las fincas, con datos concretos para que puedan tomar las decisiones futuras que mejor les convenga. También, se recabará información sobre la calidad del agua de las charcas mediante la recogida de muestras. En esta última tarea, ya se han realizado dos campañas, Mayo y Septiembre 2022, momentos en los que las charcas tienen más y menos agua, respectivamente. Aparte de las muestras recogidas en diferentes puntos de las charcas, que se envían a laboratorio para estimar una serie de parámetros, se ha hecho un análisis *in situ* con una herramienta multisensor para la estimación del pH, potencial REDOX, turbidez, etc. Añadido a esto, se va a realizar un análisis hidrológico y un análisis de escenarios futuros en función de los escenarios optimista (RCP 2.6) y pesimista (RCP 8.0) estimado por el IPCC (Instituto para el Cambio Climático).

A nivel metodológico, en primer lugar, se realizó una caracterización cartográfica de las fincas (y de sus charcas concretamente) usando las ortofotos del PNOA (CNIG). En varias campañas realizadas durante los meses de septiembre en años anteriores, cuando las charcas están vacías o con los niveles más bajos, se cubieron varias charcas a partir de información obtenida por vehículos aéreos no tripulados (drones, UAV) equipados con sensores LIDAR y por sistemas de navegación por satélite (GNSS) precisos. Este año está planificado terminar la cubrición de las charcas restantes, previo a la finalización del proyecto. Con todo esto, se generaron modelos 3D de alta resolución espacial y precisión geométrica, con los que se estimaron los volúmenes usando software SIG convencionales. En concreto, se utilizó el programa ArcGis Pro v.3 en el que se trataron las imágenes

con las herramientas *SLOPE*, *CONTOUR* y *HILLSHADE* para la visualización de las charcas y estimación aproximada de la cota máxima de la misma (aliviadero), la herramienta *RASTER CALCULATOR* para el cálculo del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) con la cota máxima, así como para el cálculo de los diferentes MDE cada 10 cm con el fin de representar la charca y modelizar su capacidad. Además, se usó la herramienta *CUT FILL* para el cálculo del volumen y área, tanto para la capacidad y área máxima como para la serie de 10 cm hasta la mayor profundidad. También, se utilizó en QGis v.2.48 la herramienta *PROFILE*, mediante la cual se realizó un perfil longitudinal del suelo para la determinación exacta de la cota del aliviadero. Por último, con los datos de volumen y área, tanto máximos como para la serie de 10 cm, en *MO EXCEL* se realizó un análisis mediante rectas de regresión para la determinación de las funciones y los diferentes parámetros estadísticos.

Los resultados obtenidos hasta el momento muestran modelos matemáticos muy precisos ( $r^2 > 0,80$ ) con funciones polinomiales y potenciales que permiten estimar el volumen de una charca a partir de la superficie ocupada por la lámina de agua, fácilmente observable y cuantificable en una imagen aérea. Para la charca N° 6 de la finca Parapuños, estimada la cota máxima en 381,16 m (Figura 1), los resultados obtenidos en la serie de 10 cm (Tabla 1) muestran una función polinomial:  $y = 0,0009x^2 + 0,1219x - 13,186$  con un  $r^2 = 0,9985$  y una función potencial:  $y = 0,0011x^{1,9968}$  con un  $r^2 = 0,9974$ . Se ha decidido realizar los cálculos y análisis con una cota de 381,15 para facilitar el proceso en el SIG utilizado, haciéndolo coincidir con los datos de elevación reflejados en el DEM. Se van a realizar más vuelos a lo largo de la duración del proyecto.

Figura 1. Perfil longitudinal con la herramienta *PROFILE* en QGis de la charca.



**Tabla 1.** Valores de área, volumen y altura de la charca n° 6 de la finca Parapuños

Cota	<i>h</i> (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
379,25	0	0	0
379,35	0,1	22,88	0,56
379,45	0,2	66,56	5,15
379,55	0,3	111,2	13,95
379,65	0,4	155,12	27,31
379,75	0,5	200,72	45,05
379,85	0,6	252,68	67,58
379,95	0,7	300,36	95,25
380,05	0,8	344,4	127,51
380,15	0,9	385,28	164,03
380,25	1	427,08	204,61
380,35	1,1	467,88	249,35
380,45	1,2	509,56	298,26
380,55	1,3	550,08	351,21
380,65	1,4	595,16	408,38
380,75	1,5	644,96	470,37
380,85	1,6	700,04	537,7
380,95	1,7	752,56	610,25
381,05	1,8	805,68	688,09
381,15	1,9	860,76	771,41

Para las charcas de la finca La Barrosa, existen algunos vuelos realizados en años anteriores, de dos charcas, pero para el resto ya no se pueden, ya que hoy en día es zona aérea restringida. Para las charcas de la finca La Brava se tienen datos de tres charcas, cálculos realizados por Marín *et al.*, 2020, y se realizarán más vuelos para el cálculo del resto. Hasta el momento, se ha calculado la capacidad de las charcas con la función mejorada de lo estimado (Tabla 2) por Marín *et al.*, 2020, que viene definida por la siguiente función:  $Vol=0,005713*Area^{1,675798}$ . Una vez realizados los análisis del resto de imágenes de los diferentes vuelos, hechos y por hacer, las estimaciones de la capacidad de las charcas tendrán su función propia, tal y como se muestra en la siguiente tabla.



**Tabla 2.** Relación de la capacidad de almacenamiento de las diferentes charcas y su metodología hasta la fecha

<i>Finca</i>	<i>Charca (n)</i>	<i>Amax (m<sup>2</sup>)</i>	<i>Vmax (m<sup>3</sup>)</i>	<i>Vmax (L)</i>	<i>Autor</i>	<i>Método cálculo</i>
Brava	1	665	307,14	307145	FRAN	estimación
Brava	2	2848	5151	5151000	UBALDO	función propia
Brava	3	1924	1821,92	1821917	FRAN	estimación
Brava	4	1711	2282	2282000	UBALDO	función propia
Brava	5	986	594,29	594288	FRAN	estimación
Brava	6	2123	2148,62	2148624	FRAN	estimación
Brava	7	3565	5121,52	5121515	FRAN	estimación
Brava	8	2006	3351	3351000	UBALDO	función propia
Brava	9	4462	7460,00	7459996	FRAN	estimación
Brava	10	7947	19625,33	19625330	FRAN	estimación
Barrosa	1	1717	1505,52	1505518	FRAN	estimación
Barrosa	2	1275	914,26	914265	FRAN	estimación
Barrosa	3	6282	13234,55	13234549	FRAN	estimación
Barrosa	4	4864	8620,27	8620266	FRAN	estimación
Barrosa	5	3784	5659,62	5659624	FRAN	estimación
Barrosa	6	3738	5544,80	5544802	FRAN	estimación
Barrosa	7	3770	5624,58	5624578	FRAN	estimación
Barrosa	8	2235	2341,95	2341946	FRAN	estimación
Barrosa	9	337	98,32	98324	FRAN	estimación
Barrosa	10	237	54,51	54508	FRAN	estimación
Barrosa	11	337	98,32	98324	FRAN	estimación
Parapuños	1	1764	1680	1680000	UBALDO	función propia
Parapuños	2	3393	3635	3635000	UBALDO	función propia
Parapuños	3	1958	2158	2158000	UBALDO	función propia
Parapuños	4	4916	4978	4978000	UBALDO	función propia
Parapuños	5	1271	909,46	909463	FRAN	estimación
Parapuños	6	860,76	771,41	771410	FRAN	función propia

Como conclusión, indicar que estos hallazgos mejoran los resultados encontrados en trabajos previos y sirven para avanzar en las tareas de investigación del proyecto IB20036, que contemplan mediciones de calidad del agua (muy relacionadas con el volumen) así como entrevistas y encuestas a propietarios para saber cómo afrontarán ellos este probable escenario de escasez hídrica. Los análisis realizados mejoran las estimaciones ya calculadas y reflejan una precisión en la metodología apta para ser exportada a otras charcas o cuerpos de agua en otras fincas. Esta metodología tiene

la capacidad de ser replicable siempre y cuando se tengan las herramientas necesarias para ello.

## BIBLIOGRAFÍA

- AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. The Synthesis Report (SYR) of the IPCC Fifth Assessment Report (AR5) provides an overview of the state of knowledge concerning the science of climate change, emphasizing new results since the publication of the IPCC Fourth Assessment Report (AR4) in 2007. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Pulido, F. & Picardo, A. (2010). Libro verde de la dehesa. Available online: [https://www.researchgate.net/publication/229812274\\_Libro\\_Verde\\_de\\_la\\_Dehesa/link/551333600cf283ee0833738e/download](https://www.researchgate.net/publication/229812274_Libro_Verde_de_la_Dehesa/link/551333600cf283ee0833738e/download)
- CNIG. Centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), Ministerio de Fomento, Government of Spain. Available online: <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>
- Luke, G.J. (1987). Consumption of water by livestock; Resource Management Technical Report No. 60; Perth (Australia): Department of Agriculture and Food, Government of Western Australia.
- Marín-Comitre, U., Gómez-Gutiérrez, Á., Lavado-Contador, F., Sánchez-Fernández, M. & Alfonso-Torreño, A. (2021). Using Geomatic Techniques to Estimate Volume – Area Relationships of Watering Ponds. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 10, 502. <https://doi.org/10.3390/ijgi10080502>

*Palabras clave:* Cambio climático, recursos hídricos, UAV, modelización, SIG.

*Financiación:* Este trabajo forma parte del proyecto “Los recursos hídricos en fincas de ganadería extensiva: estado actual, riesgos emergentes y propuestas de gestión (GANAWA)” con el código IB20036. Proyecto cofinanciado por la Junta de Extremadura y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

*Agradecimientos:* Ubaldo Marín Comitre, autor de trabajos anteriores. Álvaro Gómez Gutiérrez, piloto de drones y autor de la metodología y Manuel Pulido Fernández, IP del proyecto. Se agradece la colaboración desinteresada de los propietarios de las fincas piloto en las que se están desarrollando las tareas del proyecto.

## Estimation of the volume of water in ponds on extensive livestock farms in Extremadura (Spain) using improved techniques based on Geographic Information Technologies (TIG)

Climate change is significantly affecting the water resources available in representative Mediterranean ecosystems of the Iberian Peninsula, such as the dehesas and grasslands of Extremadura. Dehesas are silvopastoral ecosystems with sparse woodlands whose density ranges from 15 to 80 trees/ha. Specifically, the rise in temperatures and the decrease in precipitation will presumably reduce the availability of surface water for livestock supply, stored in ponds, in extensive livestock farms. Therefore, it is necessary to improve the knowledge about water availability in ponds to help owners make the best decisions in this regard.

This work, therefore, aims to develop mathematical models for estimating the volume of water in ponds and its relationship with the surface area occupied by the water surface by means of techniques using Geographic Information Technologies (GIT). This information will be complemented with data, calculations and analysis of important information such as the amount of water consumed by the different animals belonging to the farms of the three pilot farms of the GANAWA project.

The owners of these farms were contacted to obtain the exact number of cows, sheep, pigs and goats they have. Water consumption was estimated using a function proposed by Luke (1978), which takes into account the average daily maximum temperature, with which, by means of two constants and the temperature value, the daily water consumption of a sheep is calculated. The consumption data for the rest of the animals are calculated by means of equivalences described in the same study. These equivalences estimate that the consumption of a cow is 10 times higher than that of a sheep, the consumption of a pig is 2 times more, and that of a goat slightly lower. The temperature data were taken from the weather stations closest to the pilot farms. For Parapuños, a farm located in the town of Monroy, data from the Valdesalor station were used. For La Brava, located in the town of Brozas, data from the Aliseda station were used. For La Barrosa, located in the town of Albuquerque, data from the Rueda Chica station were used. In addition, the calculation of losses due to evaporation of the water sheet has been carried out, data extracted from the same stations as for the calculation of consumption. All this was analyzed together to estimate the water balance of the farms. As a result of this, personalized interviews will be carried out with the owners of the farms, with specific data so that they can make the future decisions that best suit them. Also, information will be gathered on the quality of the water in the ponds by collecting samples. In this last task, two campaigns have already been carried out, May and September 2022, times when the ponds have more and less water, respectively. Apart from the samples collected at different points of the ponds, which are sent to the laboratory to estimate a series of parameters, an *in situ* analysis has been carried out with a multisensor tool for the estimation of pH, REDOX potential, turbidity, etc. In addition to this, a hydrological analysis and an analysis of future scenarios based on the optimistic (RCP 2.6) and pessimistic (RCP 8.0) scenarios estimated by the IPCC (Institute for Climate Change) will be carried out.

At the methodological level, first, a cartographic characterization of the farms (and their ponds in particular) was carried out using the PNOA orthophotos (CNIG). In several campaigns carried out during the months of September, when the ponds are empty or with the lowest levels, several ponds were cubed from information obtained by unmanned aerial vehicles (drones, UAVs) equipped with LIDAR sensors and accurate satellite navigation systems (GNSS). With all this, 3D models of high spatial resolution and geometric accuracy were generated, with which the volumes were estimated using conventional GIS software. Specifically, the ArcGis Pro v.3 program was used to process the images with the SLOPE, CONTOUR and HILLSHADE tools for the visualization of the ponds and approximate estimation of the maximum elevation of the same (spillway), the RASTER CALCULATOR tool for the calculation of the Digital Elevation Model (DEM) with the maximum elevation, as well as for the calculation of the different DEMs every 10 cm in order to represent the pond and model its capacity. In addition, the CUT FILL tool was used to calculate the volume and area, both for the maximum capacity and area and for the series from 10 cm to the greatest depth. Also, the PROFILE tool was used in QGis v.2.48, by means of which a longitudinal profile of the soil was made for the exact determination of the spillway elevation. Finally, with the volume and area data, both maximum and for the 10 cm series, an analysis was performed in MO EXCEL using regression lines to determine the functions and the different statistical parameters.

The results obtained so far show very accurate mathematical models ( $r^2 > 0.90$ ,  $p < 0.001$ ) with polynomial and potential functions that allow estimating the volume of a pond from the surface occupied by the water surface, easily observable and quantifiable in an aerial image. For pond No. 6 of the Parapuños farm, with the maximum elevation estimated at 381.15 m, the results obtained in the 10 cm series show a polynomial function:  $y = 0.0009x^2 + 0.1219x - 13.186$  with an  $r^2 = 0.9985$  and a potential function:  $y = 0.0011 \times 1.9968$  with an  $r^2 = 0.9974$ . It has been decided to perform the calculations and analysis with an elevation of 381.15 to facilitate the process in the GIS used, making it coincide with the elevation data reflected in the DEM. More drone flights are to be performed throughout the duration of the project.

Figure 1. Longitudinal profile with PROFILE tool of QGis software.

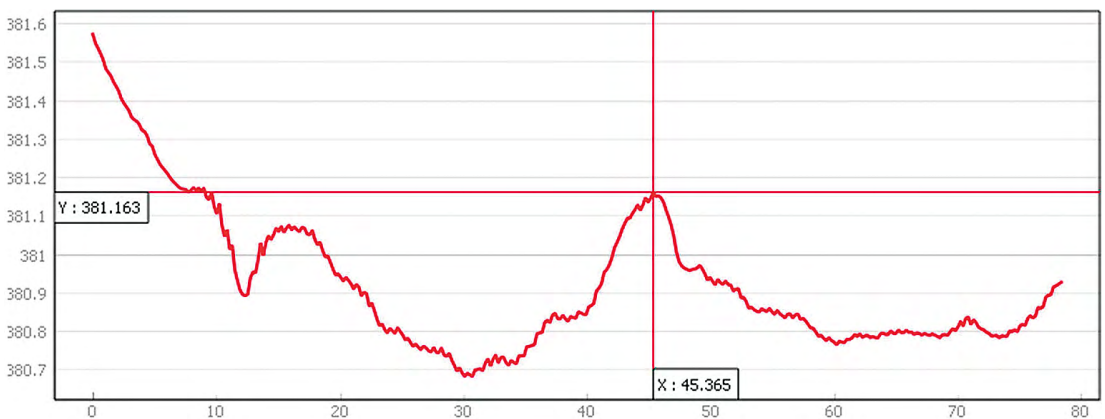


Tabla 1. Area, volume and high values for pond n° 6 of Parapuños farm

Cota	h (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
379,25	0	0	0
379,35	0,1	22,88	0,56
379,45	0,2	66,56	5,15
379,55	0,3	111,2	13,95
379,65	0,4	155,12	27,31
379,75	0,5	200,72	45,05
379,85	0,6	252,68	67,58
379,95	0,7	300,36	95,25
380,05	0,8	344,4	127,51
380,15	0,9	385,28	164,03
380,25	1	427,08	204,61
380,35	1,1	467,88	249,35
380,45	1,2	509,56	298,26
380,55	1,3	550,08	351,21
380,65	1,4	595,16	408,38
380,75	1,5	644,96	470,37
380,85	1,6	700,04	537,7
380,95	1,7	752,56	610,25
381,05	1,8	805,68	688,09
381,15	1,9	860,76	771,41

For the ponds of the La Barrosa farm, there are some flights made in previous years, for two ponds, but for the rest it is no longer possible, since nowadays it is a restricted aerial zone. For the ponds of the La Brava farm, data are available for three ponds, calculated by Marín *et al.*, 2020, and more flights will be made for the calculation of the rest. So far, the capacity of the ponds has been calculated with the improved function of the estimate (Table 2) by Marín *et al.*, 2020, which is defined by the following function:  $Vol=0.005713*Area^{1.675798}$ . Once the analyses of the rest of the images of the different flights, done and to be done, the estimates of the capacity of the ponds will have their own function, as shown in the following table.

**Table 2.** List of the storage capacity of the different ponds and their methodology to date

<i>Farm</i>	<i>Pond (n)</i>	<i>Amax (m<sup>2</sup>)</i>	<i>Vmax (m<sup>3</sup>)</i>	<i>Vmax (L)</i>	<i>Autor</i>	<i>Methodology</i>
Brava	1	665	307,14	307145	FRAN	Valued
Brava	2	2848	5151	5151000	UBALDO	Own function
Brava	3	1924	1821,92	1821917	FRAN	Valued
Brava	4	1711	2282	2282000	UBALDO	Own function
Brava	5	986	594,29	594288	FRAN	Valued
Brava	6	2123	2148,62	2148624	FRAN	Valued
Brava	7	3565	5121,52	5121515	FRAN	Valued
Brava	8	2006	3351	3351000	UBALDO	Own function
Brava	9	4462	7460,00	7459996	FRAN	Valued
Brava	10	7947	19625,33	19625330	FRAN	Valued
Barrosa	1	1717	1505,52	1505518	FRAN	Valued
Barrosa	2	1275	914,26	914265	FRAN	Valued
Barrosa	3	6282	13234,55	13234549	FRAN	Valued
Barrosa	4	4864	8620,27	8620266	FRAN	Valued
Barrosa	5	3784	5659,62	5659624	FRAN	Valued
Barrosa	6	3738	5544,80	5544802	FRAN	Valued
Barrosa	7	3770	5624,58	5624578	FRAN	Valued
Barrosa	8	2235	2341,95	2341946	FRAN	Valued
Barrosa	9	337	98,32	98324	FRAN	Valued
Barrosa	10	237	54,51	54508	FRAN	Valued
Barrosa	11	337	98,32	98324	FRAN	Valued
Parapuños	1	1764	1680	1680000	UBALDO	Own function
Parapuños	2	3393	3635	3635000	UBALDO	Own function
Parapuños	3	1958	2158	2158000	UBALDO	Own function
Parapuños	4	4916	4978	4978000	UBALDO	Own function
Parapuños	5	1271	909,46	909463	FRAN	Valued
Parapuños	6	860,76	771,41	771410	FRAN	Own function

In conclusion, these findings improve the results found in previous works and serve to advance in the research tasks of the IB20036 project, which include water quality measurements (closely related to volume) as well as interviews and surveys with landowners to find out how they will face this probable scenario of water scarcity. The analyses carried out improve the estimates already calculated and reflect an accuracy in the methodology that can be exported to other ponds or bodies of water in other farms. This methodology has the capacity to be replicable as long as the necessary tools are available.

**Keywords:** Climatic change, Water resources, UAV, modeling, GIS.

# INFORMACIÓN DE SENSORES AÉREOS Y ESPACIALES PARA EL ESTUDIO DE LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA TERRESTRE EN EL ECUADOR

DELGADO INGA, VÍCTOR OMAR

Universidad del Azuay, Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador – IERSE,  
Av. 24 de Mayo 7-77, Cuenca – Ecuador, [odelgado@uazuay.edu.ec](mailto:odelgado@uazuay.edu.ec)

TOLEDO LÓPEZ, EDGAR

Universidad del Azuay, Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador – IERSE,  
Av. 24 de Mayo 7-77, Cuenca – Ecuador, [etoledo@uazuay.edu.ec](mailto:etoledo@uazuay.edu.ec)

**E**l estudio de los cambios en la cubierta terrestre es importante para entender las dinámicas que se dan a través del tiempo en un espacio territorial, lo cual permite identificar la problemática que se genera a nivel productivo y gestión de los recursos naturales. Existen diferentes herramientas que permiten realizar el análisis de dinámicas de cambio; siendo la teledetección, el procesamiento digital de imágenes y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramientas que facilitan la identificación de los cambios generados a través del tiempo.

En este estudio, se analiza la información generada de cobertura terrestre a partir de sensores aéreos y espaciales para lo cual se ha considerado al Ecuador continental como unidad geográfica de análisis, con una extensión de 248.710 km<sup>2</sup> y según proyecciones del Instituto Nacional de Estadística y Censos – INEC, al año 2022 tendría una población alrededor de los 18 millones de habitantes, de los cuales el 64 % vive en zonas urbanas y un 36 % es población rural. Tiene cuatro regiones biogeográficas: la Sierra, ubicada en la Cordillera de los Andes, la Costa Pacífica, la Amazonía y las Islas Galápagos. Su geografía contribuye en gran parte a su patrimonio natural, base del desarrollo económico, social, cultural y productivo; sin embargo, existe una clara reducción de la superficie natural debido principalmente al cambio en el uso del suelo, por lo que se hace necesario considerar los cambios que se generan en la cobertura terrestre.

El análisis, parte de la recopilación y procesamiento de información de tres fuentes diferentes que corresponden a: (1) Cobertura terrestre de Ecuador a partir de datos globales en escala 1:1'000.000 generados por la Agencia Espacial Europea ESA; (2) Cobertura y uso de la tierra (CUT) de Ecuador a escala 1:100.000 de diferentes años, elaborada por el Ministerio del Ambiente y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAE-MAGAP, 2015), y (3) Cobertura y uso de la tierra del Ecuador en escala

1:25.000 – año 2018, del proyecto SIGTierras del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2018).

Para cada fuente de información, se procedió a estandarizar los tipos de cobertura y uso, siendo necesario unificar leyendas para el caso de la información de Cobertura y uso de la tierra en escala 1:100.00, con la finalidad de construir tablas comparativas con los valores de superficie por cobertura y obtener datos sistematizados.

Como producto de este análisis, se han obtenido los siguientes resultados:

La cobertura terrestre de Ecuador a partir de datos globales (Figura 1), proviene de la iniciativa de cambio climático (CCI-LC Climate Change Initiative Land Cover) publicada por la Agencia Espacial Europea (European Space Agency – ESA) <https://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/> con datos disponibles para el periodo 1992-2020, en escala 1:1'000.000, con resolución espacial de 300 m. La leyenda ha sido definida utilizando el Sistema de Clasificación de Cobertura Terrestre (LCCS) desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y está determinada por un nivel de información que tiene sentido a escala mundial. [https://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2\\_2.0.pdf](https://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf)

La leyenda presenta dos niveles. El “nivel 1”, también llamada leyenda “global”, cuenta con 22 clases y cada clase está asociada con un código en decenas (es decir, códigos de clase de 10, 20, 30, etc.). El “nivel 2” denominada de escala regional contiene información más precisa, por tanto, la leyenda regional tiene más clases y están asociadas con valores adicionales a las decenas (es decir, códigos de clase como 11, 12, etc.).

Con base en el análisis de la información recopilada de datos globales para Ecuador, se destaca los siguientes aspectos:

La información tiene carácter Regional (Sudamérica), la escala de la información analizada es 1:1'000.000; es decir es poco detallada; sin embargo, debido a la disponibilidad anual de información, permite realizar un análisis temporal de la dinámica de las coberturas.

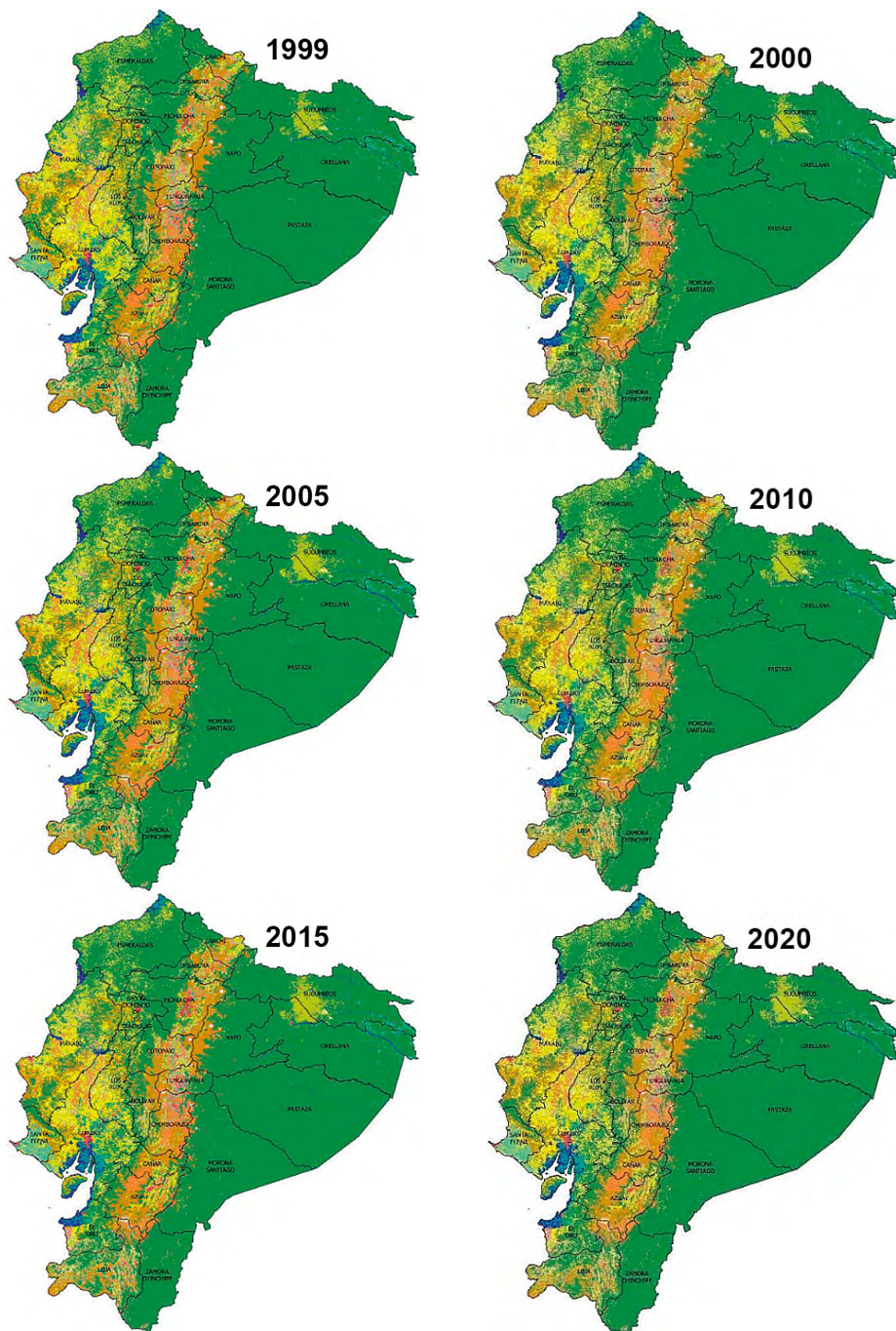
La información recopilada contiene 22 capas de información sobre la que se realizó un análisis temporal con énfasis en las tierras de cultivo, en intervalos de 5 años, correspondiente a 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020.

Las tierras de cultivo se encuentran en 6 capas, lo que facilita identificar la dinámica de las actividades agrícolas, bajo tres condiciones: a) lugares que permanecen con actividades agrícolas, b) lugares que cambiaron a actividades agrícolas y c) lugares que dejaron de ser agrícolas.

Los resultados obtenidos de la información proveniente de datos abiertos globales, tienen ciertas inconsistencias, como la información en tierra de cultivos en el año 1995 que representa el 15,2% del territorio analizado y al 2020 es del 13,9%; lo que evidencia una tendencia a la baja, lo cual no se ajusta a la realidad debido al incremento de zonas de pastizales y mosaico de cultivos, asociado con la apertura de vías sobre todo en la región oriental ecuatoriana, por lo que es necesario acudir a otras fuentes de información que proporcionen mayor certeza.



Figura 1. Cobertura de tierra de la iniciativa de cambio climático. Ecuador: 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020.



Fuente: <https://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/>.

La segunda fuente de información analizada sobre Cobertura y uso de la tierra (CUT) del Ecuador, corresponde a cartografía temática a escala 1:100.000, generada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador, a partir del tratamiento digital de imágenes de satélite Landsat y RapidEye. La información se encuentra disponible a nivel nacional para los años 1990, 2000, 2008, 2014, 2016 y 2018, con la limitación que no existe de forma anual. <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>.

La información temática se encuentra organizada en dos niveles. El primer nivel de la leyenda corresponde a las 6 clases definidas por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático); el segundo nivel corresponde a 16 clases que fueron acordadas entre las entidades encargadas de la generación de información de cobertura de la tierra: Ministerio del Ambiente (MAE), Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE).

En esta segunda fuente de información se han encontrado ciertas irregularidades como es la sobredimensión de bosque nativo en el año 2000; leyendas no unificadas, es decir la leyenda o categoría cambia con los años, detallada en los primeros años y generalizada en los posteriores. A pesar de que existen varios tipos de cobertura en los diferentes años; se ha realizado una representación espacial de la dinámica de la cobertura y uso de la tierra que se muestra en la Figura 2, así como una tabulación de la superficie por cobertura para el periodo 1990-2018.

En cuanto a resultados sobresalientes se tiene lo siguiente:

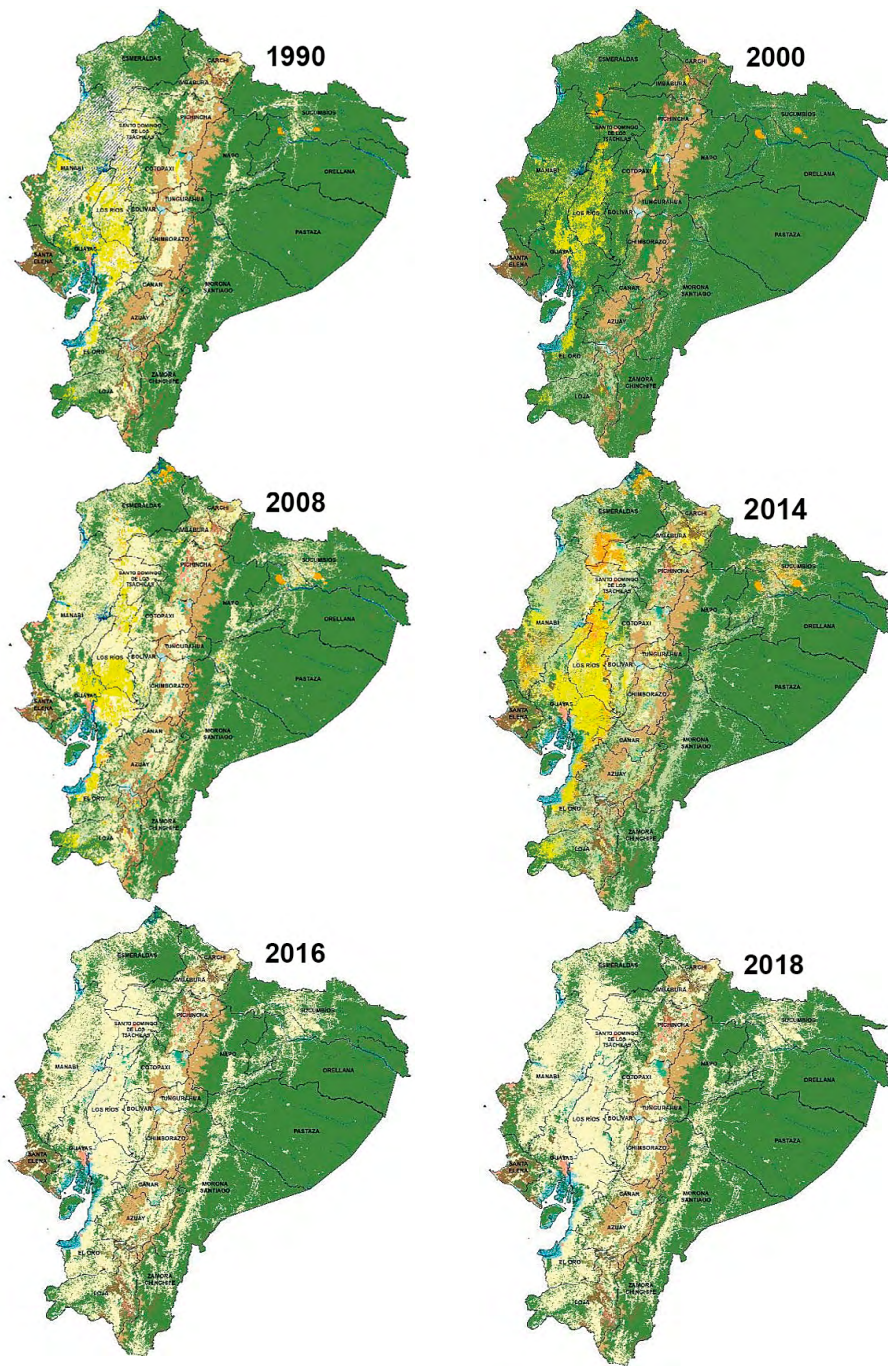
La tierra agropecuaria ha ido en aumento permanente desde el año 1990 de 6'395.108 ha a 8'994.769 ha en el año 2018, lo que significa un incremento neto de 2'599.661 ha.

Respecto al bosque nativo, en el periodo 1990-2018, existe un descenso continuo desde 14'546.737 ha a 12'475.762 ha; es decir en este lapso de tiempo se han perdido 2'070.975 ha.

Además, cabe mencionar que la vegetación arbustiva presenta un ligero incremento en 36.915 ha; en tanto que la vegetación herbácea disminuye desde 107.913 ha a 85.711 ha, lo que representan 22.202 ha; así mismo al páramo disminuye en 45.102 ha.

La tercera fuente de información analizada es el mapa de Cobertura y uso de la tierra (Figura 3), a escala 1:25.000 elaborada a partir de ortofotografía registrada entre 2010 y 2013 en el marco del proyecto SIGTierras del Ministerio de Agricultura y Ganadería, con la finalidad de "mejorar el nivel de productividad del sector agropecuario y sustentar procesos de planificación y ordenamiento territorial a nivel parroquial, cantonal y provincial".

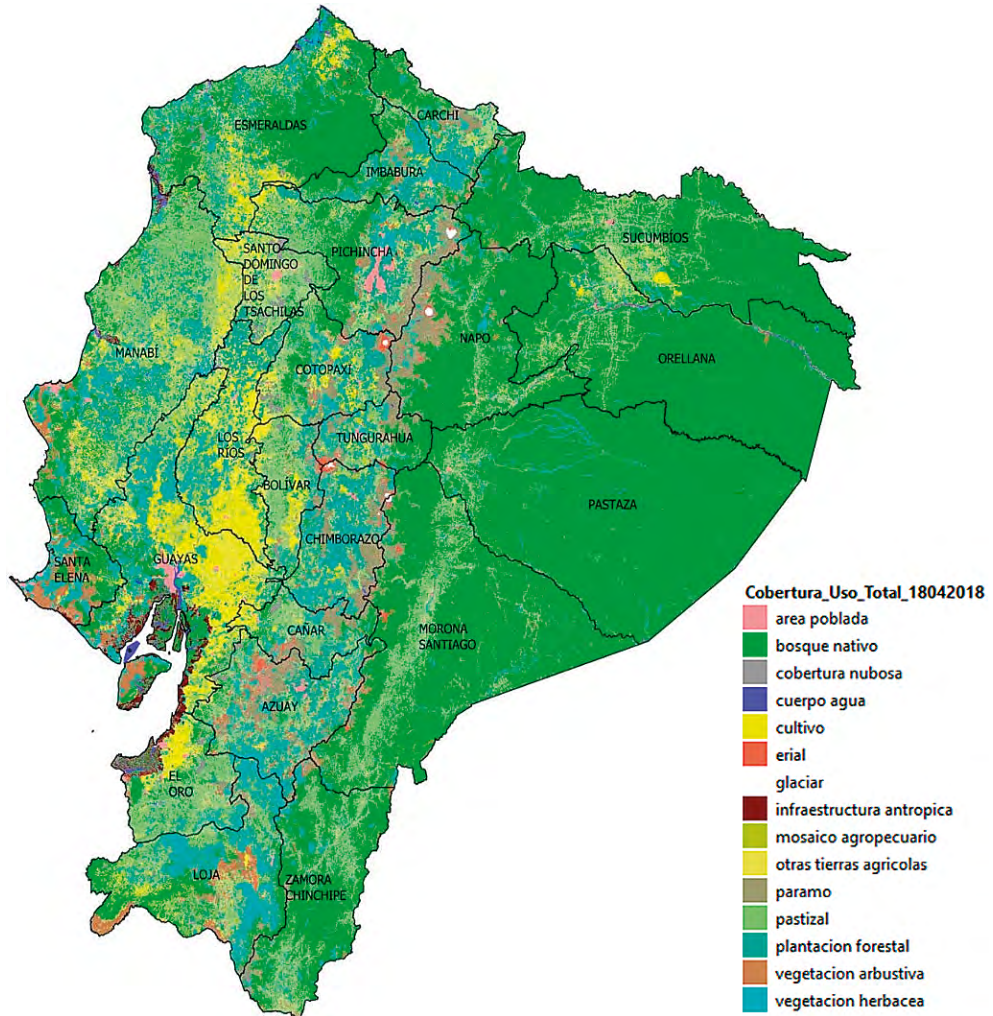
Figura 2. Cobertura y uso de tierra. Ecuador: 1990, 2000, 2008, 2014, 2016, 2018.



Fuente: Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica MAATE, 2022.



Figura 3. Cobertura y uso de tierra del Ecuador. Escala 25k, 2018.



Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería. Proyecto SIGTIERRAS, 2018.

La información cartográfica del mapa de cobertura y uso del suelo, contiene quince tipos de cobertura con atributos de riego, tamaño de parcela, piso climático, sistemas productivos y zonas homogéneas de cultivo (SIGTIERRAS, 2015). La información de cobertura, en el Ecuador continental, predominan los ecosistemas frágiles con un 58% (conformado por bosques nativos 53% y páramo 5%); adicionalmente existe vegetación arbustiva 7%, vegetación herbácea 3% y cuerpos de agua (lagunas y ríos) que ocupan el 1%; dando un total de 69% que en conjunto constituyen áreas de protección y conservación. Adicionalmente, el suelo rural de producción cubre el 27% del territorio y está representado por las coberturas: cultivos 11%, pastizales 15%, plantaciones forestales 1%, mosaico agropecuario y otras tierras agrícolas con

menos del 1%. Finalmente, el área poblada ocupa menos del 2%, glaciares menos del 1% y el suelo sin ningún tipo de vegetación 1%. Por otro lado, considerando las regiones naturales del Ecuador continental se evidencia que la mayor parte del suelo productivo se encuentra en la costa con el 53,7%, luego está la sierra con el 32,4% y en la amazonia con el 11,4%.

Desde el punto de vista económico, el sector agroproductivo se desarrolla en cuatro "sistemas productivos": el empresarial cuyos productos están destinados a la exportación, caracterizados principalmente por monocultivos que ocupan el 2% del territorio nacional; el mercantil en el que los productos están destinados al mercado local y autosubsistencia con el 19%, el sistema combinado que es un sistema resultado de la combinación entre empresarial y mercantil, que está en el 2% cuya producción está orientada al mercado nacional y el sistema marginal con un 3% en el que la producción se destinada para el autoconsumo. Todos los sistemas mencionados tienen como finalidad la producción de alimentos por tanto contribuyen a la seguridad alimentaria, pero tan solo en los sistemas de producción marginal y en parte el mercantil la producción de alimentos es para el autoconsumo que garantizan la soberanía alimentaria.

A partir de la variable "zona homogénea de cultivo", se deduce importante información del sector agroproductivo, como es el tema de riego que dispone tan solo el 19% del suelo de producción. Al mismo tiempo se destaca que la mayor parte del suelo productivo se desarrolla en parcelas pequeñas de menos de cinco hectáreas (46%), el 25% se desarrolla en parcelas medianas con tamaños entre 5 y 25 hectáreas y el 27% en parcelas grandes que corresponden a más de 25 hectáreas. A su vez en las parcelas pequeñas, en la región costa se producen 91 tipos de cultivo, en la sierra 199 cultivos y en la Amazonía 36. Desde el año 2018 no se ha generado nueva información a escala 1:25.000, por lo que no ha sido posible realizar comparaciones temporales y determinar cambios.

Como conclusiones se puede mencionar que:

El análisis de los cambios en la cubierta de la tierra es muy importante para entender las dinámicas que se dan a través del tiempo y proyectar sus tendencias.

El uso de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas que facilitan la identificación de los cambios generados en la cobertura del suelo a través del tiempo.

Existen varias fuentes de información que permiten realizar un análisis temporal a escala regional y nacional, siendo a nivel nacional la escala 1:25.000 la más completa no sólo por la escala cartográfica sino por la información de riego, tamaño de parcela, sistemas de producción, zonas homogéneas de cultivo, entre otras, la misma que es de vital importancia para la planificación y el ordenamiento territorial.

**Palabras clave:** cobertura terrestre, teledetección, sensores remotos, geoinformación, sistemas de información geográfica.

## Airborne and space-based sensor data for the study of land cover change in Ecuador

The study of changes in land cover is important to understand the dynamics that occur over time in a territorial space, which allows the identification of the problems generated at the productive and natural resource management levels. There are different tools that allow the analysis of change dynamics; such as remote sensing, digital image processing and Geographic Information Systems (GIS), tools that facilitate the identification of the changes generated over time.

In this study, the information generated on land cover is analyzed from aerial and space sensors, for which continental Ecuador has been considered as the geographical unit of analysis, with an extension of 248,710 km<sup>2</sup> and according to projections of the National Institute of Statistics and Census – INEC, by the year 2022 it would reach a population of around 18 million inhabitants, of which 64% live in urban areas and 36% are rural population. It has four biogeographic regions: the Sierra, located in the Andes Mountains, the Pacific Coast, the Amazon and the Galapagos Islands. Its geography contributes greatly to its natural heritage, which is the basis for economic, social, cultural and productive development; however, there is a clear reduction in the natural surface mainly due to the change in land use, so it is necessary to consider the changes that are generated in land cover.

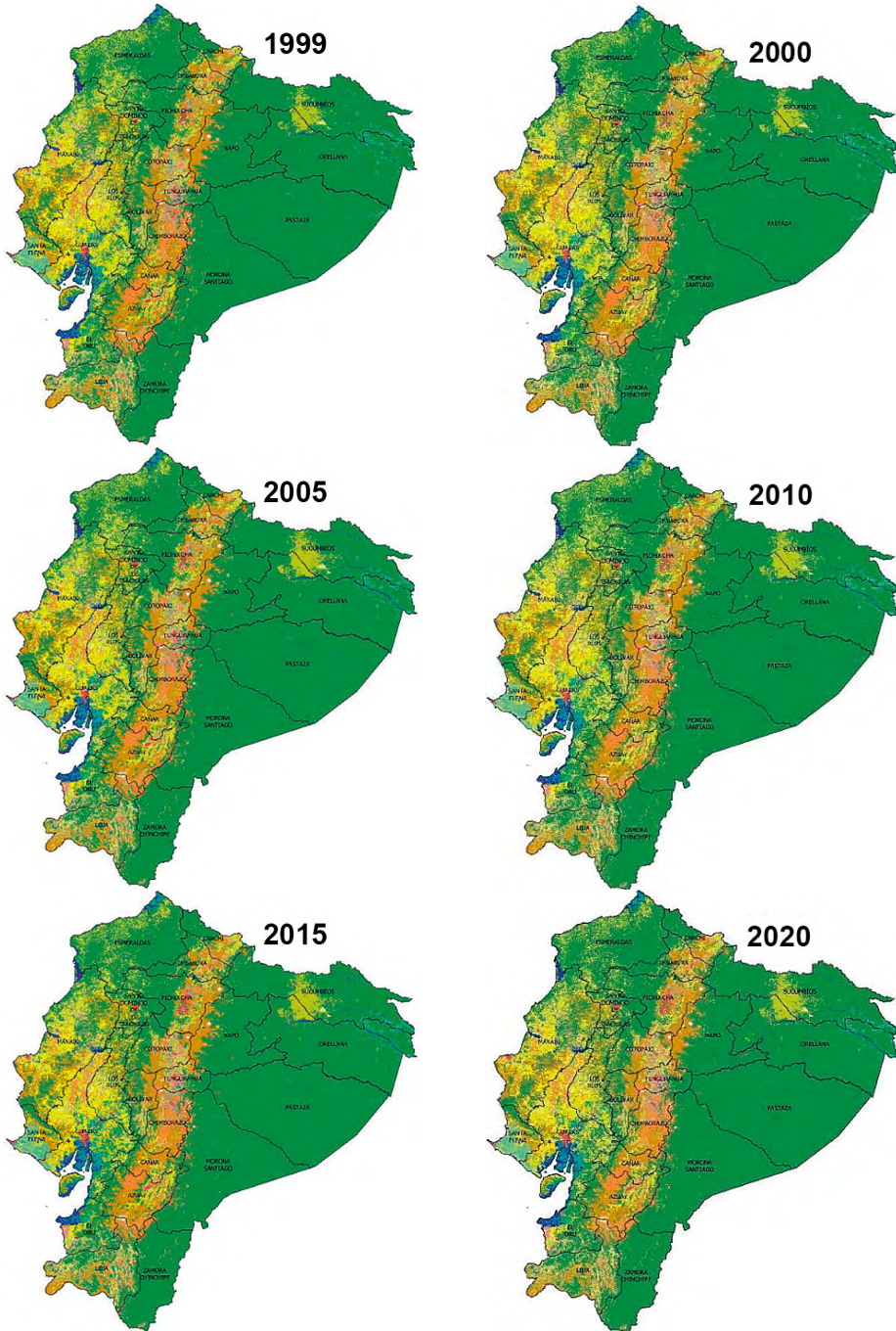
The analysis is based on the compilation and processing of information from three different sources: (1) Land cover of Ecuador from global data at a scale of 1:1'000,000 generated by the European Space Agency ESA; (2) Coverage and land use (CUT) of Ecuador at a scale of 1:100,000 for different years, prepared by the Ministry of the Environment and the Ministry of Agriculture, Livestock and Fisheries (MAE-MAGAP, 2015), and (3) Coverage and land use in Ecuador at a scale of 1:25,000 – year 2018, from the SIGTierras project of the Ministry of Agriculture and Livestock (MAG, 2018).

For each source of information, the types of coverage and use were standardized, making it necessary to unify legends for the case of information on Coverage and land use at a scale of 1:100.00, in order to build comparative tables with the values of surface by coverage and obtain systematized data.

As a result of this analysis, the following results have been obtained:

Ecuador's land cover from global data (Figure 1), comes from the climate change initiative (CCI-LC Climate Change Initiative Land Cover) published by the European Space Agency (ESA) <https://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/> with data available for the period 1992-2020, at a scale of 1:1,000,000, with a spatial resolution of 300 m. The legend has been defined using the Land Cover Classification System (LCCS) developed by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and is determined by a level of information that makes sense on a global scale. [https://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2\\_2.0.pdf](https://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf)

Figure 1. Land cover from the climate change initiative. Ecuador: 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 and 2020.



Source: <https://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/>.



The legend has two levels. "Level 1", also called the "global" legend, has 22 classes and each class is associated with a code in the tens (i.e. class codes of 10, 20, 30, etc.). The so-called regional scale "level 2" contains more precise information, therefore the regional legend has more classes and they are associated with values in addition to the tens (i.e., class codes such as 11, 12, etc.).

Based on the analysis of the information collected from global data for Ecuador, the following aspects stand out:

The information is Regional (South America), the scale of the information analyzed is 1:1,000,000; that is to say, it is not very detailed; however, due to the annual availability of information, it allows for a temporary analysis of the coverage dynamics.

The information collected contains 22 layers of information, on which a temporal analysis was carried out with emphasis on farmland, at 5-year intervals, corresponding to the years 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 and 2020.

Croplands are found in 6 layers, which makes it easier to identify the dynamics of agricultural activities, under three conditions: a) places that remain with agricultural activities, b) places that changed to agricultural activities, and c) places that ceased to be agricultural activities.

The results obtained from the information coming from global open data have certain inconsistencies, such as the information on farmland in 1995, which represents 15.2% of the territory analyzed and by 2020 it is 13.9%; which shows a downward trend, which does not conform to reality due to the increase in grassland areas and mosaic of crops, associated with the opening of roads, especially in the eastern Ecuadorian region, for which it is necessary to go to other sources of information that provide greater certainty.

The second source of information analyzed on Coverage and land use (CUT) of Ecuador, corresponds to thematic cartography at a scale of 1:100,000, generated by the Ministry of the Environment, Water and Ecological Transition of Ecuador, from the digital treatment of images. Landsat and RapidEye satellite. The information is available at the national level for the years 1990, 2000, 2008, 2014, 2016 and 2018, with the limitation that it does not exist on an annual basis. <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>.

The thematic information is organized in two levels. The first level of the legend corresponds to the 6 classes defined by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change); the second level corresponds to 16 classes that were agreed between the entities in charge of generating land cover information: Ministry of the Environment (MAE), Ministry of Agriculture, Livestock, Aquaculture and Fisheries (MAGAP), Ecuadorian Space Institute (IEE).

In this second source of information, certain irregularities have been found, such as the oversizing of native forest in the year 2000; non-unified legends, that is, the legend or category changes over the years, detailed in the first years and generalized in the later ones. Although there are several types of coverage in different years; a spatial representation of the dynamics of land cover and land use has been made, which is shown in Figure 2, as well as a tabulation of the area by cover for the period 1990-2018.





As for outstanding results, we have the following:

Agricultural land has been on a permanent increase since 1990 from 6'395,108 ha to 8'994,769 ha in 2018, which means a net increase of 2'599,661 ha.

Regarding the native forest, in the period 1990-2018, there is a continuous decrease from 14'546,737 ha to 12'475,762 ha; that is, in this period of time, 2'070,975 ha have been lost.

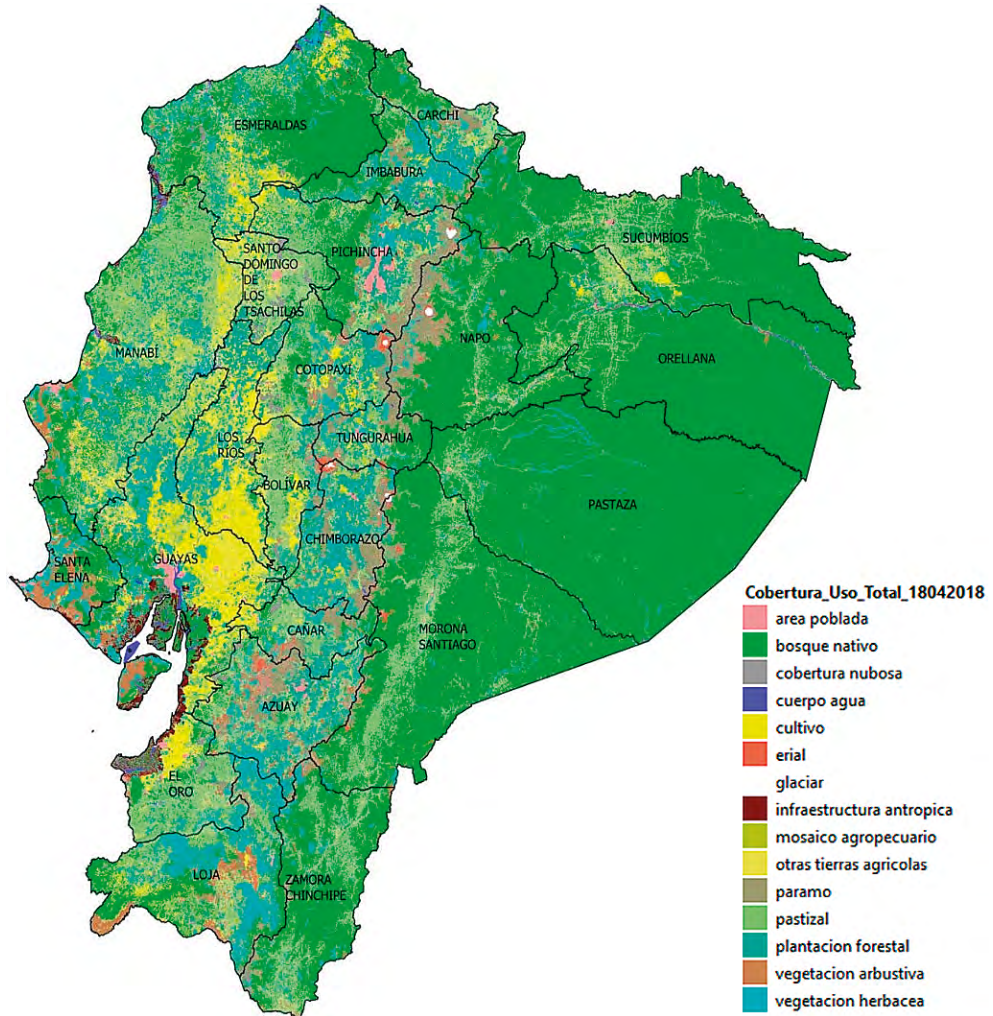
In addition, it is worth mentioning that the shrubby vegetation presents a slight increase in 36,915 ha; while the herbaceous vegetation decreases from 107,913 ha to 85,711 ha, which represents 22,202 ha; Likewise, the paramo decreases by 45,102 ha.

The third source of information analyzed is the land cover and use map (Figure 3), at a scale of 1:25,000 prepared from orthophotography, recorded between 2010 and 2013 within the framework of the GISTierras project of the Ministry of Agriculture and Livestock, with the purpose of "improving the level of productivity of the agricultural sector and supporting planning processes and territorial ordering at the parish, cantonal and provincial level".

The cartographic information of the land cover and use map contains fifteen types of coverage with irrigation attributes, plot size, climatic floor, productive systems and homogeneous cultivation areas (SIGTIERRAS, 2015). The coverage information, in continental Ecuador, fragile ecosystems predominate with 58% (made up of native forests 53% and paramo 5%); Additionally, there is 7% shrub vegetation, 3% herbaceous vegetation and bodies of water (lagoons and rivers) that occupy 1%; giving a total of 69% that together constitute areas of protection and conservation. Additionally, rural production land covers 27% of the territory and is represented by the coverages: crops 11%, pastures 15%, forest plantations 1%, agricultural mosaic and other agricultural lands with less than 1%. Finally, the populated area occupies less than 2%, glaciers less than 1% and the ground without any type of vegetation 1%. On the other hand, considering the natural regions of continental Ecuador, it is evident that most of the productive land is found on the coast with 53.7%, then in the Sierra with 32.4% and in the Amazon region with a 11.4%.

From an economic point of view, the agro-productive sector is developed in four "productive systems": the business system whose products are destined for export, characterized mainly by monocultures that occupy 2% of the national territory; the commercial one in which the products are destined for the local market and self-subsistence with 19%, the combined system that is a system resulting from the combination between business and commercial, which is in the 2% whose production is oriented to the national market and the marginal system with 3% in which the production is destined for self-consumption. All the mentioned systems have the purpose of food production, therefore they contribute to food security, but only in marginal production systems and partly the commercial one, food production is for self-consumption that guarantees food sovereignty.

Figure 3. Coverage and land use in Ecuador. 25k scale, 2018.



Source: Ministry of Agriculture and Livestock. SIGTIERRAS project, 2018.

From the variable “homogeneous cultivation area”, important information on the agro-productive sector is deduced, such as irrigation, which has only 19% of the production land. At the same time, it is highlighted that most of the productive land is developed in small plots of less than five hectares (46%), 25% is developed in medium-sized plots with sizes between 5 and 25 hectares and 27% in large plots that correspond to more than 25 hectares. In turn, in small plots, 91 types of crops are produced in the coastal region, 199 crops in the mountains, and 36 in the Amazon. Since 2018, no new information has been generated at a scale of 1:25,000, so it has not been possible to make temporary comparisons and determine changes.

As conclusions, it can be mentioned that:

The analysis of changes in land cover is very important to understand the dynamics that occur over time and project their trends.

The use of Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) are tools that facilitate the identification of changes generated in land cover over time.

There are several sources of information that allow a temporal analysis to be carried out at a regional and national scale, with the 1:25,000 scale being the most complete at the national level, not only because of the cartographic scale but also because of the information on irrigation, plot size, production systems. omogeneous areas of cultivation, among others, the same that is of vital importance for planning and territorial ordering.

**Keywords:** Land cover, remote sensing, remote sensing, geoinformation, geographic information systems.

# SISTEMAS SILVOPASTORILES EN LA REGIÓN MEDITERRÁNEA

RUBIO DELGADO, JUDIT

SCHNABEL, SUSANNE

Universidad de Extremadura, Avda. de la Universidad, 10071, España, [schnabel@unex.es](mailto:schnabel@unex.es)

Los sistemas silvopastoriles son sistemas agroforestales compuestos por pastizales y vegetación leñosa, tanto árboles como matorrales, donde se llevan a cabo actividades ganaderas. Se estima que en la Unión Europea este tipo de sistemas alcanza una extensión de unos cien mil kilómetros cuadrados (Schnabel *et al.*, 2022).

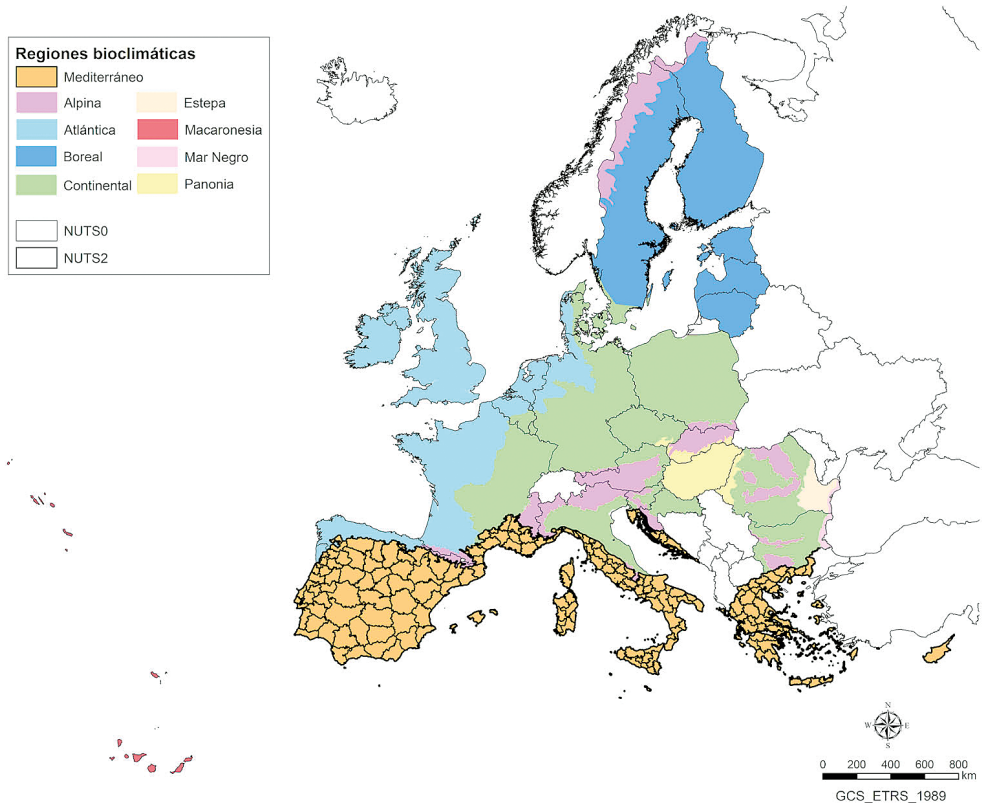
En la región Mediterránea los sistemas silvopastoriles más extendidos son las Dehesas y Montados, donde predominan los bosques de frondosas de hojas perennes, como la encina (*Quercus ilex*) o el alcornoque (*Quercus suber*). Estos sistemas se caracterizan por ser sistemas multifuncionales, ya que en ellos se desarrollan diferentes actividades económicas: cultivo de cereales, ganadería generalmente extensiva, obtención de recursos forestales como la leña, el corcho o el carbón, y en algunas ocasiones el principal uso de las explotaciones está destinado a la caza (Moreno y Pulido, 2009). El estrato arbóreo en este tipo de sistemas juega un papel sumamente importante ya que las copas de los árboles proporcionan sombra tanto a la vegetación herbácea como a los animales y permiten prolongar el periodo de crecimiento de los pastos durante las primeras semanas de la estación estival, generando reservas de comida para el ganado (San Miguel Ayanz, 2004). Además, el arbolado contribuye a reducir la erosión del suelo, incrementa el contenido de materia orgánica y ayuda a retener nutrientes (Jose *et al.*, 2009).

El objetivo de este trabajo es estimar la superficie que ocupan los sistemas silvopastoriles en la región Mediterránea de la Unión Europea y analizar su distribución espacial, así como los cambios que han tenido lugar a lo largo de los últimos años. Para ello se han utilizado las bases de datos LUCAS correspondientes al año 2012, 2015 y 2018, que proporcionan información sobre las coberturas terrestres, los usos del suelo y el pastoreo. Dicha información está basada en observaciones en campo llevadas a cabo en puntos de muestreo que están geográficamente referenciados. Los datos LUCAS diferencian entre la cobertura predominante en la zona de muestreo (LC1) y la cobertura secundaria (LC2) (para más información ver Eurostat, 2019). Además, las encuestas LUCAS presentan los datos a diferentes escalas: NUTS1, NUTS2 y



NUTS3. El NUTS2 ha sido la escala utilizada para llevar a cabo una selección precisa de las regiones con clima mediterráneo. De este modo, el área de estudio comprende: el total del territorio de Croacia, Grecia y Malta; el sur de Francia; el oeste y sur de Italia; casi todo el territorio de Portugal, a excepción de las regiones del Alto Minho, Área Metropolitana do Porto, Ave y Cávado; y casi todas las regiones de España, con la excepción de Galicia, Asturias, el norte de Castilla y León, Cantabria, el País Vasco y los Pirineos (Figura 1).

*Figura 1. Regiones (NUTS2) de la UE con clima mediterráneo.*



Para clasificar los sistemas silvopastoriles se han utilizado los siguientes criterios. Primero, se han seleccionado como LC1: 1) los bosques o zonas boscosas con una cobertura arbórea superior al 10%; 2) las zonas de matorral con una cobertura de vegetación leñosa no superior a 5 m de altura, pudiendo incluir árboles dispersos (cobertura inferior al 10%); y 3) pastizales con arbolado disperso (cobertura entre el 5% y el 10%) o arbolado disperso junto con zonas matorralizadas (cobertura entre el 5% y el 20%). Segundo, como LC2 se ha incluido cualquier tipo de cobertura excepto: áreas artificiales, cultivos herbáceos, suelos desnudos, cuerpos de agua

y humedales. Por último, se tiene que cumplir la condición de que en la zona de muestreo se hayan identificado signos de pastoreo. Por otro lado, para determinar la extensión de los sistemas silvopastoriles se ha utilizado el método desarrollado por den Herder *et al.* (2017), el cual permite estimar la superficie para las diferentes regiones mediterráneas. Para ello, primero se divide la cantidad de puntos clasificados en el área mediterránea de cada país por el número total de puntos LUCAS que se han muestreado en dicha área, y después se multiplica por la extensión correspondiente al área mediterránea de cada país.

La superficie total estimada de sistemas silvopastoriles en las regiones mediterráneas ha sido de 100,087 km<sup>2</sup> en 2012, 79,096 km<sup>2</sup> en 2015 y 56,722 km<sup>2</sup> en 2018, por lo que se ha producido un descenso del -43 % de las áreas ocupadas por este tipo de sistemas en los últimos años. España es el país que concentra la mayor parte de los sistemas silvopastoriles del Mediterráneo (64 % en 2012, 66 % en 2015, y 58 % en 2018), pero, al igual que el resto de los países, registró un descenso de la superficie del -50 %. El segundo país que presentó una mayor extensión de sistemas silvopastoriles es Grecia (23 % en 2012, 27 % en 2015 y 31 % en 2018), siendo el país que ha registrado una menor pérdida de superficie (-27 %). En Italia y Portugal la superficie ocupada por los sistemas silvopastoriles fue de en torno al 11-13 % a lo largo de todo el periodo y las pérdidas fueron del -48 % y el -40 % respectivamente. La superficie ocupada por sistemas silvopastoriles que se han clasificado en Chipre, Croacia, Francia y Malta representaron entre el 3-6 % del total a lo largo del periodo estudiado, aunque Malta y Chipre han sido los países que han reportado una mayor pérdida del área ocupada por este tipo de sistemas. En Malta los sistemas silvopastoriles han desaparecido por completo y en Chipre el descenso de la superficie ha sido del -76 %.

El notable descenso de la superficie de los sistemas silvopastoriles se debe, fundamentalmente, al declive de la principal actividad económica que se desarrolla en este tipo de sistemas, la ganadería extensiva. Esta actividad es cada vez menos rentable, debido al incremento incesante de los costes para alimentar al ganado y a la cada vez mayor dependencia que tiene esta actividad de los subsidios y ayudas de la PAC (Delattre *et al.*, 2020). Esta situación está generando un abandono de la actividad ganadera en numerosas explotaciones, lo que conlleva a la matorralización y a la expansión de la cobertura arbórea y, consecuentemente, al incremento del riesgo de incendios forestales (Colantoni *et al.*, 2020).

## BIBLIOGRAFÍA

- Colantoni, A., Egidi, G., Quaranta, G., ... & Salvati, L. (2020). Sustainable land management, wildfire risk and the role of grazing in Mediterranean urban-rural interfaces: A regional approach from Greece. *Land*, 9(1), 21.
- Delattre, L., Debolini, M., Paoli, J.C., ... & Santucci, P. (2020). Understanding the Relationships between Extensive Livestock Systems, Land-Cover Changes, and CAP Support in Less-Favored Mediterranean Areas. *Land*, 9(12), 518.
- Den Herder, M., Moreno, G., Mosquera-Losada, R.M., ... & Burgess, P. (2017). Current extent and stratification of agroforestry in the European Union. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 241, 121-132.

- Eurostat (2019). LUCAS 2018 (Land Use/ Cover Area Frame Survey). Technical reference document C1. Instructions for Surveyors. European Commission.
- Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems*. 76, 1-10.
- Moreno, G. & Pulido, F. J. (2009). The functioning, management and persistence of dehesas. In *Agroforestry in Europe* (pp. 127-160). Dordrecht: Springer.
- San Miguel-Ayanz, A. (2004). Mediterranean European silvopastoral systems. In *Silvopastoralism and sustainable land management*. Proceedings of an international congress on silvopastoralism and sustainable management held in Lugo, Spain, April 2004 (pp. 36-40). Wallingford UK: CABI Publishing.
- Schnabel, S., Rubio-Delgado, J., Lavado-Contador, F., ... & Eden, J. (2022). Impact of climate change on mixed farming and agroforestry systems in Europe. D1.4 of the AGROMIX project funded under the Grant Agreement 862993 of the H2020 EU programme.

**Palabras clave:** Agroforestal, Mediterráneo, usos del suelo, análisis espacial, silvopastoral, LUCAS.

**Financiación:** Proyecto AGROMIX, financiado por el programa de investigación en innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención 862993/ AGROMIX project, funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement 862993.

## Silvopastoral systems in the Mediterranean region

Silvopastoral systems are agroforestry systems composed of grassland and woody vegetation, both trees and shrubs, where livestock activities are carried out. It is estimated that in the European Union these systems cover an area of about 100,000 square kilometres (Schnabel *et al.*, 2022).

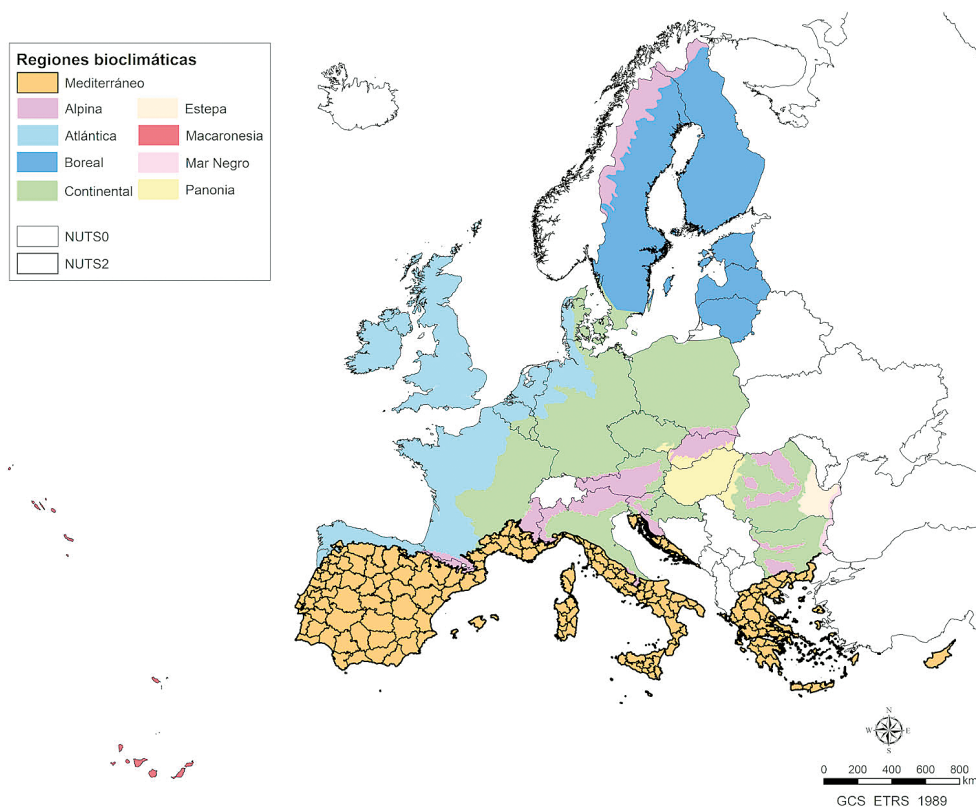
In the Mediterranean region, the most widespread silvopastoral systems are the Dehesas and Montados, where evergreen broadleaved forests, such as holm oak (*Quercus ilex*) or cork oak (*Quercus suber*) predominate. These systems are characterised by being multifunctional systems, with different economic activities: cereal crops, usually extensive livestock farming, extraction of forest resources such as firewood, cork or charcoal, and sometimes the main use of the farms is hunting (Moreno and Pulido, 2009). The tree layer plays a very important role in this type of system, as the tree canopy provides shade for both herbaceous vegetation and animals, making it possible to extend the growing season of the pasture during the first weeks of the summer season, generating food reserves for livestock (San Miguel Ayanz, 2004). In addition, the tree canopy contributes to a reduction of soil erosion, increases the content of organic matter and helps to retain nutrients (Jose *et al.*, 2009).

The aim of this work is to estimate the area occupied by silvopastoral systems in the Mediterranean region of the European Union and to analyse their spatial distribution and changes in recent years. For this purpose, the 2012, 2015 and 2018 LUCAS databases were used, which provide information on land cover, land use and grazing.



This information is based on field observations carried out at geographically referenced sampling points. The LUCAS data makes a distinction between the predominant land cover in the sampling area (LC1) and the secondary land cover (LC2) (for more information see Eurostat, 2019). In addition, LUCAS surveys present data at different scales: NUTS1, NUTS2 and NUTS3. NUTS2 was chosen in order to make a precise selection of regions with a Mediterranean climate. Thus, the study area includes the whole territory of Croatia, Greece and Malta, southern France, western and southern Italy, almost the whole territory of Portugal with the exception of the regions of Alto Minho, Área Metropolitana do Porto, Ave and Cávado, and almost all the regions of Spain, excluding Galicia, Asturias, northern Castilla y León, Cantabria, the Basque Country and the Pyrenees (Figure 1).

Figure 1. Regions (NUTS2) of the EU with Mediterranean climate.



The following criteria were used to classify silvopastoral systems. Firstly, the land covers selected as LC1 were: 1) woodland with a tree cover of more than 10%; 2) shrubland areas with a woody vegetation cover of not more than 5 m in height, which may include sparse trees (cover less than 10%); and 3) grassland with sparse tree cover (between 5% and 10%) or sparse trees together with shrubland (cover between 5%

and 20%). Secondly, as LC2 any type of cover was included except for built-up areas, temporary crops, bare soils, water bodies and wetlands. Finally, the condition that signs of grazing have been detected in the sampling area has to be fulfilled. On the other hand, to determine the extent of each class, the method developed by den Herder *et al.* (2017) was used, which allows to estimate the area for each region. To do this, the number of points classified in the Mediterranean area of each country was divided by the total number of LUCAS points sampled in that area and multiplied by the total Mediterranean area of each country.

Figure 1 shows the spatial distribution of points classified as silvopastoral systems in the EU Mediterranean region.

The total estimated area of silvopastoral systems in the Mediterranean region was 100,087 km<sup>2</sup> in 2012, 79,096 km<sup>2</sup> in 2015 and 56,722 km<sup>2</sup> in 2018, so there was a significant decrease of -43% of the areas occupied by this type of systems during the last years. Spain was the country with the highest concentration of silvopastoral systems in the Mediterranean (64% in 2012, 66% in 2015, and 58% in 2018), but like the other countries, it recorded a decrease in area of -50%. The second country with the largest area of silvopastoral systems was Greece (23% in 2012, 27% in 2015 and 31% in 2018), the country with the smallest decrease in area (-27%). In Italy and Portugal, the area occupied by silvopastoral systems was around 11-13% over the whole period and the losses were -48% and -40% respectively. The area occupied by silvopastoral systems classified in Cyprus, Croatia, France and Malta represented between 3-6% of the total over the period studied, although Malta and Cyprus were the countries that reported the largest losses in the area occupied by silvopastoral systems. In Malta silvopastoral systems have completely disappeared and in Cyprus the decrease in area was -76%.

The decrease in silvopastoral systems is mainly due to the decline in the main economic activity of these types of farms, extensive livestock farming. This activity is becoming increasingly unprofitable, due to the ever-increasing costs of feeding livestock and the growing dependence of this activity on CAP subsidies (Delattre *et al.*, 2020). This situation leads to the abandonment of livestock farming, resulting in the expansion of shrubland and woodland, which increases the risk of fire (Colantoni *et al.*, 2020).

**Keywords:** Agroforestry, Mediterranean, land uses, spatial analyses, silvopastoral, LUCAS.

# EXTENSIÓN Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE SISTEMAS AGROFORESTALES ASOCIADOS A ELEMENTOS LEÑOSOS EN LA UNIÓN EUROPEA

RUBIO DELGADO, JUDIT

SCHNABEL, SUSANNE

LAVADO CONTADOR, J. FRANCISCO

Universidad de Extremadura, Avda. de la Universidad, 10071, España, [juditrd@unex.es](mailto:juditrd@unex.es)

Los sistemas agroforestales (AF) son sistemas agrícolas tradicionales en los que se combina vegetación leñosa con cultivos o pastos y que, además, pueden estar pastoreados. Según la FAO (2017) estos sistemas ocupan en torno a 10 mil millones de kilómetros cuadrados en todo el mundo. En la Unión Europea (UE), se estima que la superficie agroforestal puede alcanzar los 114 mil kilómetros cuadrados (Schnabel *et al.*, 2022).

Existe una gran diversidad de sistemas AF como sistemas silvopastoriles, silvoarables, huertos familiares, cultivos permanentes pastoreados o intercalados con cultivos temporales. Pero también hay autores que consideran sistemas AF aquellos cultivos o pastizales que están combinados con elementos leñosos (EL) como setos vivos, árboles de avenidas, árboles aislados, bosquetes, márgenes de arboledas o vegetación de ribera (Mosquera-Losada *et al.*, 2018). Este tipo de vegetación leñosa puede aparecer dispuesta de manera lineal o aislada y, a menudo, ejercen un importante papel como elementos estructurales del paisaje, ya que suelen determinar límites de la propiedad. Además, los EL proporcionan diversos servicios ecosistémicos tales como: mejorar la biodiversidad de la fauna y de la vegetación; proveer heterogeneidad estructural y conectividad entre hábitats semi-naturales; ayudar a controlar plagas, beneficiando a especies polinizadoras; proporcionar productos leñosos, así como sombra y forraje para ganado; y contribuir a la mitigación del cambio climático al almacenar carbono (Plieninger, 2011; Scholefield *et al.*, 2016).

El objetivo de este trabajo es estimar la extensión de áreas agrícolas que pueden considerarse AF por estar asociados con elementos leñosos y analizar su distribución espacial en la UE. Para ello se ha utilizado la base de datos LUCAS del año 2015, que proporciona las estadísticas más actuales sobre coberturas y usos del suelo, así como de elementos lineales. Esta información está basada en observaciones en campo

llevadas a cabo en puntos de muestreo (338.725 puntos) que están geográficamente referenciados. Los datos sobre los elementos lineales corresponden a transectos de 250 metros e indican cual es la disposición de los diferentes elementos a lo largo del mismo, que pueden ser artificiales, como muros de piedras, carreteras, caminos, vallas, canales de regadío, etc., cursos de agua o vegetación leñosa (para más información ver Eurostat, 2015). Para el análisis llevado a cabo en este estudio se seleccionaron los siguientes elementos: brezos y matorrales, árboles y matorrales aislados, avenidas de árboles u otro tipo de líneas de árboles, setos de coníferas, setos de árboles o arbustos manejados o abandonados, y márgenes de arboledas y bosques.

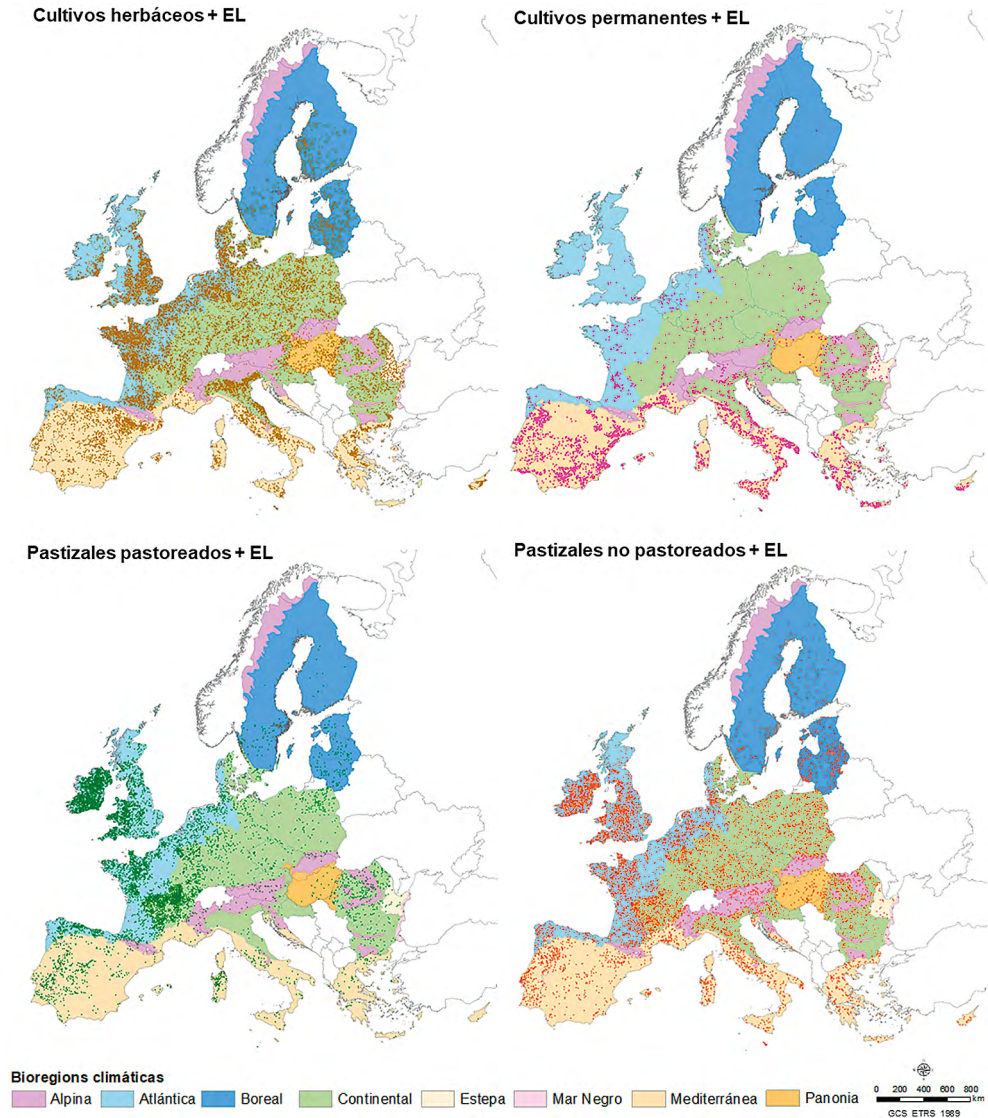
La clasificación de los diferentes tipos de sistemas AF asociados a EL se ha llevado a cabo seleccionando los puntos de muestreo de coberturas del suelo con uso agrario, forestal o áreas naturales y semi-naturales en cuyos transectos se han identificado elementos leñosos. Así, se han diferenciado cuatro clases: cultivos herbáceos no pastoreados con EL, pastizales pastoreados con EL, pastizales no pastoreados con EL y cultivos permanentes no pastoreados con EL. Es importante señalar que las combinaciones de EP con otras coberturas como cultivos permanentes pastoreados o intercalados con cultivos herbáceos, sistemas silvoarables, silvopastoriles o los huertos familiares ya se consideran tradicionalmente sistemas AF (ver Schnabel *et al.*, 2022), por lo que no se incluyen en este análisis. Por otro lado, para determinar la extensión de cada una de las clases, primero se divide la cantidad de puntos clasificados en cada una de las clases por el número total de puntos LUCAS que se han muestreado en cada uno de los países y después se multiplica por la extensión de cada país.

Los resultados obtenidos para los 28 países de la UE (UE28) fueron: 193.995 km<sup>2</sup> de cultivos temporales con EL, los cuales representan el 4,34 % de la superficie total de la UE28 y el 10,8 % de la Superficie Agraria Útil (SAU); 119.753 km<sup>2</sup> de pastizales pastoreados (2,7 % de la UE28 y 6,7 % de la SAU); 103.238 km<sup>2</sup> de pastizales no pastoreados con EL (2,3 % de la EU28 y 5,8 % de la SAU); y en el caso de cultivos permanentes con EL se obtuvo una menor extensión, 35.937 km<sup>2</sup> (0,8 % de la UE28 y 2,0 % de la SAU). Francia, Reino Unido y Alemania concentran la mayor parte de los sistemas AF asociados a EL. Así, en Francia se localizan el 22,7 % de los cultivos temporales con EL, el 28,0 % de los pastizales pastoreados y el 22,9 % de los no pastoreados. En Reino Unido se han identificado el 10,8 %, el 20,5 % y el 15,6 % respectivamente. Y en Alemania se concentra el 12,3 % de los cultivos temporales con EL y el 10,3 % de los pastizales no pastoreados con EL. Los cultivos permanentes con EL son más característicos de países como España e Italia, donde se han estimado las mayores superficies de este tipo de sistemas, con un 28,4 % y 22,6 % de la extensión total, respectivamente. Grecia y Portugal también presentan porcentajes significativos, en torno al 9 % en ambos casos. Por lo tanto, los pastizales, tanto pastoreados como no pastoreados, y los cultivos herbáceos con EL están más extendidos en la región Atlántica y Continental, mientras que los cultivos permanentes con EL son más característicos de la región Mediterránea (Figura 1). El total de superficie estimada para sistemas potencialmente AF asociados a EL ha sido de 452.924 km<sup>2</sup>.

Por lo tanto, los cultivos y pastizales con un uso agrario, forestal o natural/semi-natural asociados a EL están ampliamente extendidos en la UE, superando la

superficie ocupada por los sistemas que tradicionalmente se consideran AF, estimada en 114.621 km<sup>2</sup> (Schnabel *et al.*, 2022). Además, este tipo de sistemas proporcionan una gran diversidad de servicios ecosistémicos y las actividades desarrolladas en ellos ayudan a fijar la población rural, así como a reducir el riesgo de incendios forestales y la concentración de carbono en la atmósfera, lo que a su vez contribuye a la lucha contra el cambio climático (Mosquera-Losada *et al.*, 2018).

Figura 1. Distribución espacial de los sistemas agroforestales asociados a EL en la UE.



## BIBLIOGRAFÍA

- FAO (2017). *Agroforestry for landscape restoration: Exploring the potential of agroforestry to enhance the sustainability and resilience of degraded landscapes*. Rome.
- Mosquera-Losada, M.R., Santiago-Freijanes, J.J., Rois-Díaz, M., ... & Rigueiro-Rodríguez, A. (2018). Agroforestry in Europe: A land management policy tool to combat climate change. *Land Use Policy*, 78, 603-613.
- Plieninger, T. (2011). Capitalizing on the Carbon Sequestration Potential of Agroforestry in Germany's Agricultural Landscapes: Realigning the climate change mitigation and landscape conservation agendas. *Landscape Research*, 36(4), 435-454.
- Scholefield, P., Morton, D., Rowland, C., ... & Norton, L. (2016). A model of the extent and distribution of woody linear features in rural Great Britain. *Ecology and Evolution*, 6(24), 8893-8902.
- Schnabel, S., Rubio-Delgado, J., Lavado-Contador, F., ... & Eden, J. (2022). Impact of climate change on mixed farming and agroforestry systems in Europe. D1.4 of the AGROMIX project funded under the Grant Agreement 862993 of the H2020 EU programme.

**Palabras clave:** Agroforestal, elementos leñosos, cobertura del suelo, análisis espacial, LUCAS.

**Financiación:** Proyecto AGROMIX, financiado por el programa de investigación en innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención 862993/ AGROMIX project, funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement 862993.

## Extent and spatial distribution of agroforestry systems with woody elements in the EU

Agroforestry (AF) systems are traditional agricultural systems in which woody vegetation is combined with crops or grasslands and can be grazed. According to FAO (2017), these systems cover around 10 billion square kilometres worldwide. In European Union (EU), the AF area is estimated to be up to 114 thousand square kilometres (Schnabel et al., 2022).

There is a great diversity of AF systems such as silvopastoral, silvoarable, home gardens, grazed permanent crops or intercropped with temporary crops, etc. However, there are also authors who consider as potential AF systems crops or grasslands in combination with woody features (WF) such as hedges, lines of trees, single trees, woodlots, grove and woodland margins or riparian buffer strips (Mosquera-Losada et al., 2018). These types of woody vegetation can be linear or isolated and can be important structural elements of the landscape, usually demarcating ownership boundaries. In addition, WF provide several ecosystem services such as: enhancing wildlife and vegetation biodiversity; providing structural heterogeneity and connectivity between semi-natural habitats; helping to control pests, which benefits pollinator species; providing woody products, as well as shade and fodder for livestock; and contributing to climate change mitigation by storing carbon (Plieninger, 2011; Scholefield et al., 2016).



The aim of this work is to estimate the extent of arable areas that could be considered AF because they are associated with woody features and to analyse their spatial distribution in the EU. For this purpose, the LUCAS 2015 database was used, which provides the most recent statistics on land cover and land use, as well as on linear elements. This information is based on field observations at geographically referenced sampling points (338,725 points). The data on linear elements correspond to 250 m transects and indicate the arrangement of the different elements along the transect, which can be artificial, such as stone walls, roads, tracks, fences, irrigation channels, etc., streams or woody vegetation (for more information see Eurostat, 2015). The following elements were selected for the analysis carried out in this study: heath and shrubs, single bushes and trees, avenues trees or other tree lines, conifer edges, managed and unmanaged hedges and grove of woodlands margins.

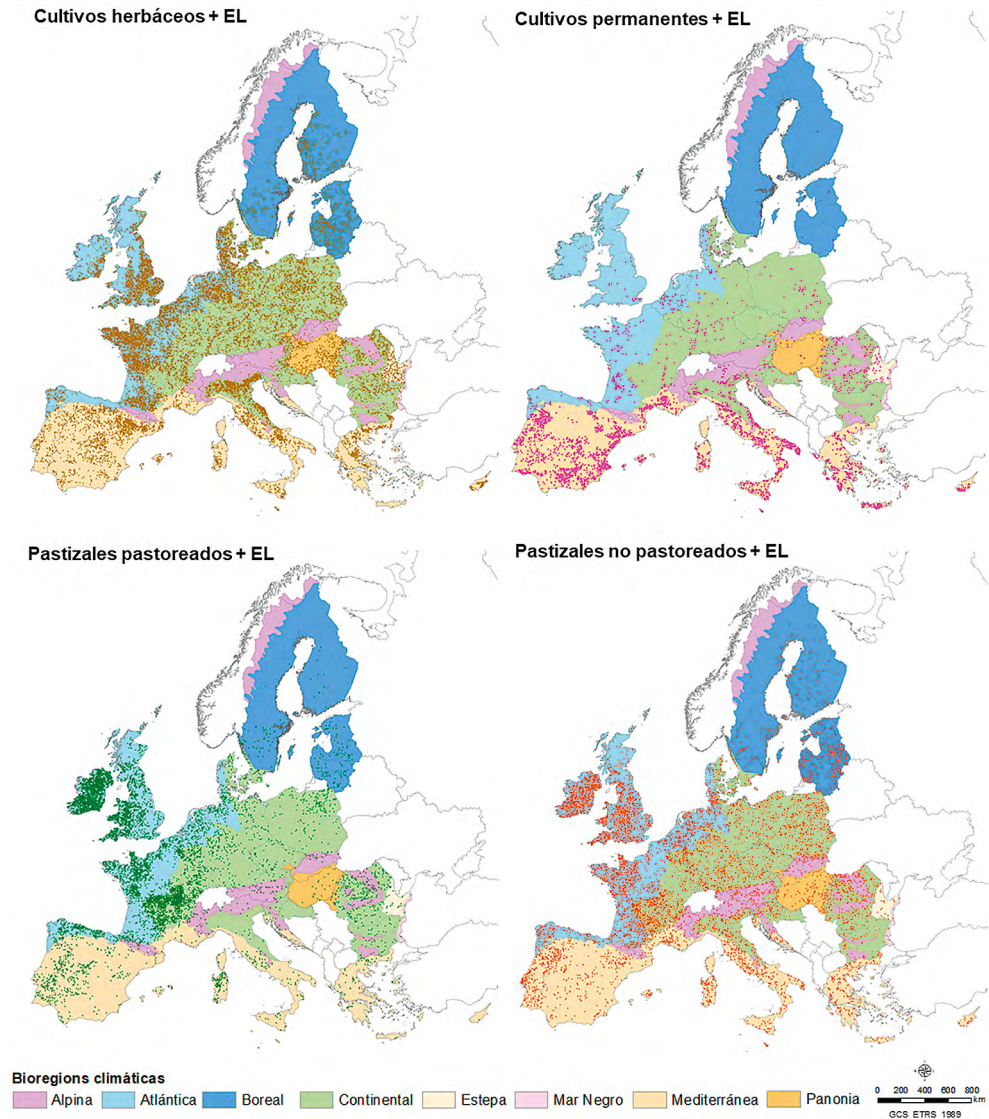
The classification of the different types of potential AF systems associated with WF was carried out by selecting sampling points of land covers with agricultural land use, forest or natural and semi-natural areas in whose transects WF were identified. This resulted in four different classes: ungrazed temporary crops with WF, grazed grasslands with WF, ungrazed grasslands with WF and ungrazed permanent crops with WF. It is important to note that the combination of WF with other land covers such as grazed permanent crops, intercropped permanent crops, silvoarable, silvopastoral or kitchen gardens with WF are traditionally considered AF systems and are therefore not included in this analysis (see Schnabel *et al.*, 2022). To determine the extent of each class, the number of points classified in each class in each member state is divided by the total number of LUCAS points sampled in that country and multiplied by the surface of each country.

The results obtained for the 28 countries of the EU (EU28) were: 193,995 km<sup>2</sup> of temporary crops with WF, representing 4.34% of the total area of the EU28 and 10.8% of the Utilised Agricultural Area (UAA); 119,753 km<sup>2</sup> of grazed grasslands with WF (2.7% of the EU28 and 6.7% of the UAA); 103,238 km<sup>2</sup> of ungrazed grassland with WF (2.3% of the EU28 and 5.8% of the UAA); and a smaller area of permanent crops with WF was estimated at 35,937 km<sup>2</sup> (0.8% of the EU28 and 2.0% of the UAA). France, the United Kingdom and Germany account for most of the AF systems associated with WF. In France, 22.7% of temporary crops with WF, 28.0% of grazed grassland and 22.9% of ungrazed grassland are located. In the United Kingdom, 10.8%, 20.5% and 15.6% respectively were identified. In Germany, 12.3% of temporary crops with WF and 10.3% of ungrazed grassland with WF are concentrated. Permanent crops with WF are more characteristic of countries such as Spain and Italy, where the largest areas of this type of system were estimated at 28.4% and 22.6% of the total area respectively. Greece and Portugal also have significant percentages, around 9% in both cases. Thus, temporary crops with WF and grassland with WF, both grazed and ungrazed, are more widespread in the Atlantic and Continental regions, while permanent crops with WF are more characteristic of the Mediterranean region (Figure 1). The total area estimated for AF systems associated with WF was 452,924 km<sup>2</sup>.

Therefore, temporary crops and grasslands with agricultural, forestry or natural/semi-natural land use associated with WF are widespread in the EU, exceeding the area of systems traditionally considered as AF, estimated at 114,621 km<sup>2</sup> (Schnabel *et al.*, 2022). Moreover, these types of systems provide a wide range of ecosystem services and the activities carried out in them contribute to sustaining rural popula-

tions, as well as reducing the risk of forest fires and the concentration of carbon in the atmosphere, which in turn contributes to the fight against climate change (Mosquera-Losada et al., 2018).

Figure 1. Spatial distribution of agroforestry systems associated with WF in the EU.



**Keywords:** Agroforestry, woody features, land cover, spatial analysis, LUCAS.



# ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN EN 20 AÑOS DEL TERRENO DE ZONAS EN LAS QUE SE UBICAN VERTIDOS ILEGALES DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN A PARTIR DE LA SERIE HISTÓRICA DE ORTOFOGRAFÍAS DEL PNOA

EXPÓSITO PAULANO, GUILLERMO AGUSTÍN

Dpto. Derecho público. Facultad de Derecho. Universidad de Extremadura, Avda. de la Universidad s/n, 10004 Cáceres, Spain, [gexposito@unex.es](mailto:gexposito@unex.es)

SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, MANUEL

INTERRA (University Institute of Research for Sustainable Territorial Development), Avda. de la Universidad s/n, 10003 Cáceres, Spain, [msf@unex.es](mailto:msf@unex.es)

ARENAS GARCÍA, LOREA

Dpto. Derecho público. Facultad de Derecho. Universidad de Extremadura, Avda. de la Universidad s/n, 10004 Cáceres, Spain, [lorea@unex.es](mailto:lorea@unex.es)

**E**l vertido ilegal es un problema global cuyos impactos afectan negativamente a la salud humana y medioambiental. Se produce al desechar cualquier tipo de sustancia u objeto en un lugar público o privado no autorizado impidiendo su correcta recuperación y eliminación. Lamentablemente, en muchas regiones de nuestro país es habitual encontrar residuos sólidos derivados de la actividad de construcción y demolición esparcidos en campos y caminos. Nos referimos a los Residuos de Demolición y Construcción (RCD), cuyo acopio, almacenamiento y tratamiento queda regulado por el Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. Esta normativa clasifica el residuo en función de la naturaleza del material y dispone la obligatoriedad de gestión del residuo. Este hecho se traduce en la necesidad de existencia de puntos de recogida de residuos autorizados como gestores de residuos. Los puntos de recogida de residuos de demolición y construcción constituyen un servicio público, en determinados casos no gratuito, el cual acopia y gestiona el residuo. En la actualidad la existencia de vertidos ilegales sólidos de remplazamientos no autorizados supone un problema legal y social. La existencia de vertidos ilegales de residuos de construcción y demolición (RCD) está ligada a múltiples parámetros íntimamente relacionados con el desarrollo, económico social y urbano del territorio. De forma general, los vertidos ilegales se detectan en zonas accesibles en vehículo motorizado próximos a entornos urbanos o urbanizados.

El presente trabajo analiza la evolución histórica de zonas de vertidos de construcción y demolición en el término municipal de Mérida a partir de la fotointerpretación de las ortofotos producto del Plan Nacional de Ortofotografía (PNOA) y del proyecto SIGPAC del Instituto Geográfico Nacional Español (IGN). Para el estudio realizado se ha partido de una base de datos de residuos de construcción y demolición en el cual se han identificado 494 ubicaciones. Los residuos localizados se encuentran dispuestos en parcelas no urbanas, caminos, zonas limítrofes entre parcelas urbanas y no urbanas, zonas urbanizadas no consolidadas y zonas urbanas. En total han sido analizadas 14 zonas de dimensión 450×450 m en el término municipal de Mérida. Estas zonas están clasificadas en 5 tipologías de suelo en función de su naturaleza topográfica y urbanística. Las tipologías de suelo establecidas son: Parcelas en suelo no urbano (3 emplazamientos). Esta tipología de suelo se refiere a parcelas rústicas en mitad de las cuales existen vertidos ilegales de residuos de demolición y construcción. En este caso puede hacerse una distinción entre las parcelas que fueron destinadas al uso de vertedero, anterior al 2011, que puedan haber generado hábito en la población de verter en ese punto los residuos y parcelas cuya topografía es el terreno natural; Suelo no urbano límite con suelo urbano (4 ubicaciones). Son las zonas de interfaz donde el final de un vial pavimentado de un municipio da comienzo a un camino rústico o zonas en las cuales existen viviendas directamente adosadas a parcelas rústicas; Caminos emplazados en suelo no urbano (3 ubicaciones). Caminos en suelo rústico que puedan conectar barrios, núcleos de población o fincas privadas; Suelo urbanizado (3 ubicaciones). Contempla toda aquella urbanización no consolidada en la cual existen una parte del terreno sin construir; Suelo urbano (1 ubicación). Únicamente se ha hallado una parcela de suelo urbano, este es un caso singular ya que, aunque siendo urbano es una parcela aislada y no edificada.

Este trabajo analiza la evolución de las zonas en que se han detectado residuos mediante fotointerpretación a partir de la serie histórica de ortofotografía del Plan Nacional de Ortofotografía del Instituto Geográfico Nacional. Una de las consideraciones a tener en cuenta en el proceso de cálculo es el tamaño de los vertidos, estos pueden ir desde acopios de dimensiones, ancho, alto y largo, de cincuenta centímetros hasta varios metros. Este hecho implica la necesidad del empleo de ortofotografía de alta resolución espacial que permita identificar los acopios de menor dimensión.

Las ortofotografías empleadas abarcan desde el año 2002, obtenida a partir del proyecto SIGPAC se hasta el año 2022 cuyas imágenes se han obtenido del proyecto PNOA, existiendo 8 imágenes comprendidas entre los años 2005 y 2022. Ello ha permitido realizar un análisis evolutivo a lo largo de 20 años de las zonas en que se ubican los vertidos de residuos localizados entre los años 2019 y 2022. Otros proyectos del IGN han sido descargados por dos motivos principalmente, el tamaño de píxel y el color en blanco y negro. Las imágenes de los proyectos Interministerial, Nacional y OLISTAT, son en escala de grises y presentan una resolución de 1 m de tamaño de píxel. Estas imágenes han sido empleadas para contextualizar la situación urbanística de la zona de estudio, pero no permiten identificar con claridad la existencia de vertidos de RCD. El proyecto SIGPAC, es el primer proyecto de fotogrametría aérea del IGN que, para una única serie de vuelos, en 2002 en la zona de estudio, realiza una cobertura en color y con un tamaño de píxel de 0,50 m. Esta es la imagen que

se toma como partida del estudio realizado en la cual se pueden identificar vertidos existentes además de contextualizar la situación urbanística inicial de las zonas de estudio. El proyecto PNOA, en la zona de estudio, dispone en la actualidad de 8 series ejecutadas, desde el año 2005 a 2022, todas ellas en color y variando la resolución desde 0,50 m de píxel en el año 2005, 2009 y 2013 hasta 0,25 m de píxel en los años 2007, 2011, 2016, 2019 y 2022.

Los resultados obtenidos muestran en cierto grado cómo los vertidos ilegales están vinculados al desarrollo urbanístico o al hábito generado por los antiguos vertederos que continúan siendo puntos activos de vertido de residuos ilegales. En el análisis realizado el suelo no urbano ha sido dividido en dos, separando las parcelas que fueron empleadas como vertedero y las que no. En el caso de las parcelas que fueron empleadas como vertedero se observa cómo a partir de la imagen de 2011 la existencia de vertidos disminuye llegando en 2013 casi a desaparecer y reapareciendo en 2016, tanto en la parcela destinada a vertidos de RCD como en caminos de aproximación a ésta, llegando a 2022 donde la existencia de vertidos parece haber desaparecido en alto grado habiéndose acometido trabajos de acondicionamiento del terreno en la parcela y parcelas aledañas afectadas por vertidos. En las parcelas no urbanas, que no son vertederos, se observa que el vertido, en la mayoría de los casos, aparece a raíz de una obra, son zonas en las que, o bien, se ha ejecutado una obra cerca y se han realizado vertidos de obra y que éstos han generado costumbre social, o bien, son zonas en que han sido empleadas como cantera o vertederos de tierras que han inducido al ciudadano a realizar vertidos posteriores en la zona. En ambos casos la ejecución de una obra conlleva la necesidad de hacer accesible la parcela en que se realizan los vertidos y esto facilita al ciudadano el acceso a este punto, además el aspecto antrópico del terreno permite realizar un vertido sin modificar en alto grado la morfología y aspecto del terreno. Algo similar ocurre en urbanizaciones construidas y no consolidadas, en las que, a menudo, antes de construir las parcelas no construidas se emplean para extracción de tierras o rellenos temporales, esta situación muestra un aspecto de situación de "obra" por lo que los vertidos realizados no modifican en alto grado el aspecto y morfología del terreno. Las zonas de vertidos situados en caminos que han sido analizadas han requerido ampliar el marco de 450×450 m para entender el posible origen de los vertidos, en las zonas analizadas se observan dos causas de la existencia de vertidos, por un lado, en caminos de acceso a vertederos, en los cuales son la existencia de vertederos lo que parece provocar vertidos en los márgenes de caminos, por otro lado el resto de caminos se observa que la aparición de vertidos está ligada a obras de construcción aledañas. En ambos casos, a partir de la aparición de los vertidos la evolución temporal de éstos es similar, tienen etapas de crecimiento, momentos en que han sido eliminados y reaparición en los mismos puntos. Este hecho induce a determinar que una vez que aparece un vertido, éste genera hábito social y aunque sea eliminado, o acomodado el terreno para integrar el vertido, los ciudadanos vuelven al mismo punto a continuar vertiendo residuos.

El análisis realizado abarca un estudio evolutivo, urbanístico o de uso del suelo, desde 1984 hasta 2022 en 14 zonas en que han sido localizados residuos de demolición y construcción en el área urbana y periurbana de Mérida, identificando mediante fotointerpretación en las imágenes en color verdadero desde 2002 hasta 2022

la disposición de los vertidos en el terreno. Las parcelas han sido clasificadas según el uso del suelo, habiéndose clasificado en 5 tipologías. La evolución de los vertidos en esencia se comporta igual en todas las zonas, existe un punto temporal en el que comienzan a existir vertidos en la zona, estos evolucionan y se incrementa el volumen de vertidos, posteriormente se realizan tareas de recogida o acomodación del terreno para integrar el vertido y no quede a la vista y con posterioridad aparecen nuevos vertidos en los mismos puntos. Como conclusión general la existencia de vertidos en un determinado emplazamiento genera costumbre social y la eliminación o recogida del residuo como única medida no supone una solución efectiva.

*Palabras clave:* Residuos de construcción y demolición (RCD), fotointerpretación, Plan Nacional de Ortofotografía (PNOA), GIS.

*Financiación:* El presente estudio es fruto del proyecto “Teledetección y análisis ambiental de vertederos ilegales” (IB20050-2021/2024), financiado por la Junta de Extremadura y el Fondo de Desarrollo Regional (FEDER) con 103.447 euros.

*Agradecimientos:* Gracias a la colaboración de las fuerzas y cuerpos de seguridad de Extremadura que amablemente facilitaron datos sobre casos de denuncia y sirvieron de apoyo durante toda la investigación.

## Analysis of the evolution in 20 years of the land of areas where illegal construction and demolition dumping is located based on the historical series of PNOA orthographies

Illegal dumping is a global problem whose impacts negatively affect human and environmental health. It occurs when any type of substance or object is disposed of in an unauthorised public or private place, preventing its proper recovery and disposal. Unfortunately, in many regions of our country it is common to find solid waste derived from construction and demolition activities scattered on fields and roads. We are referring to Demolition and Construction Waste (CDW), the collection, storage and treatment of which is regulated by Royal Decree 105/2008, of 1 February, which regulates the production and management of construction and demolition waste. This regulation classifies waste according to the nature of the material and makes waste management mandatory. This translates into the need for waste collection points authorised as waste managers. The collection points for demolition and construction waste constitute a public service, in some cases not free of charge, which collects and manages the waste. At present, the existence of illegal solid waste dumping of unauthorised replacements is a legal and social problem. The existence of illegal dumping of construction and demolition waste (CDW) is linked to multiple parameters closely related to the economic, social and urban development of the territory. In general, illegal dumping is found in areas accessible by motor vehicle near urban or built-up areas.

This paper analyses the historical evolution of construction and demolition dumping areas in the municipality of Mérida based on the photo-interpretation of orthophotos produced by the National Orthophotography Plan (PNOA) and the SIGPAC project of the Spanish National Geographic Institute (IGN). The study was based on a database of construction and demolition waste in which 494 locations were identified. The localised waste is located in non-urban plots, roads, areas bordering urban and non-urban plots, unconsolidated urbanised areas and urban areas. A total of 14 areas of 450×450 m in the municipality of Mérida were analysed. These areas are classified into 5 land typologies according to their topographical and urban nature. The land typologies established are: Plots on non-urban land (3 sites). This typology of land refers to rustic plots in the middle of which there is illegal dumping of demolition and construction waste. In this case a distinction can be made between plots that were destined for landfill use, prior to 2011, which may have generated a habit in the population of dumping waste at that point and plots whose topography is the natural terrain; Non-urban land bordering urban land (4 locations). These are interface areas where the end of a paved road in a municipality begins at a rural road or areas where there are dwellings directly attached to rural plots; Roads located on non-urban land (3 locations). Roads on rural land that may connect neighbourhoods, population centres or private properties; Urbanised land (3 locations). Includes all unconsolidated urbanisation in which there is part of the land without building; Urban land (1 location). Only one plot of urban land has been found, this is a singular case as, although it is urban, it is an isolated and unbuilt plot.

This work analyses the evolution of the areas in which waste has been detected by means of photo-interpretation using the historical orthophotography series of the National Orthophotography Plan of the National Geographic Institute. One of the considerations to be taken into account in the calculation process is the size of the landfills, which can range in size, width, height and length, from fifty centimetres to several metres. This fact implies the need for the use of high spatial resolution orthophotography to identify the smallest of these.

The orthophotographs used range from 2002, obtained from the SIGPAC project, to the year 2022, whose images were obtained from the PNOA project, with 8 images from 2005 to 2022. This has made it possible to carry out an evolutionary analysis over 20 years of the areas in which waste dumps are located between 2019 and 2022. Other IGN projects have been downloaded for two main reasons, pixel size and black and white colour. The images of the Interministerial, National and OLISTAT projects are in greyscale and have a resolution of 1 m pixel size. These images have been used to contextualise the urban situation of the study area, but do not allow the existence of CDW dumping to be clearly identified. The SIGPAC project is the first aerial photogrammetry project of the IGN which, for a single series of flights in 2002 in the study area, carried out a colour coverage with a pixel size of 0.50 m. This is the image used as a reference for the study area. This is the image used as the starting point for the study carried out, in which existing spillages can be identified, as well as contextualising the initial urban situation of the study areas. The PNOA project, in the study area, currently has 8 series executed, from 2005 to 2022, all of them in colour and varying the resolution from 0.50 m pixel in 2005, 2009 and 2013 to 0.25 m pixel in 2007, 2011, 2016, 2019 and 2022.

The results obtained show to a certain degree how illegal dumping is linked to urban development or to the habit generated by former landfills that continue to be active dumping sites for illegal waste. In the analysis the non-urban land has been divided into two, separating the plots that were used as landfill sites and those that were not. In the case of the plots that were used as landfill sites, it can be seen how, from the 2011 image, the existence of landfills decreases, almost disappearing in 2013 and reappearing in 2016, both in the plot destined for CDW landfills and on the roads leading to it, reaching 2022 where the existence of landfills seems to have disappeared to a high degree, with land conditioning work having been undertaken on the plot and surrounding plots affected by landfills. In the non-urban plots, which are not landfills, it can be seen that dumping, in most cases, appears as a result of a construction project; these are areas in which, either a construction project has been carried out nearby and dumping has taken place and these have generated a social habit, or they are areas in which they have been used as a quarry or landfill sites that have led citizens to dump waste in the area. In both cases, the execution of a construction project entails the need to make the plot of land where the waste is dumped accessible, and this makes it easier for citizens to access this point. Something similar occurs in built and unconsolidated urbanisations, in which, often, before building, the unbuilt plots are used for the extraction of earth or temporary fillings, this situation shows an aspect of a "construction site" situation so that the landfills carried out do not modify to a high degree the aspect and morphology of the terrain. The areas of spillages located on roads that have been analysed have required an enlargement of the 450×450 m frame in order to understand the possible origin of the spillages, in the areas analysed two causes of the existence of spillages can be observed, on the one hand, on access roads to landfills, in which it is the existence of landfills that seems to cause spillages on the margins of roads, on the other hand the rest of the roads show that the appearance of spillages is linked to neighbouring construction works. In both cases, since the appearance of the spillages, their temporal evolution is similar, with stages of growth, moments in which they have been eliminated and reappearance at the same points. This fact leads us to determine that once a landfill appears, it generates a social habit and even if it is eliminated, or the land is adapted to integrate the landfill, the citizens return to the same point to continue dumping waste.

The analysis carried out covers an evolutionary, urban or land use study from 1984 to 2022 in 14 areas in which demolition and construction waste has been located in the urban and peri-urban area of Mérida, identifying by means of photo-interpretation of the true colour images from 2002 to 2022 the disposition of the waste on the ground. The plots have been classified according to land use, having been classified into 5 typologies. The evolution of the discharges essentially behaves in the same way in all the areas, there is a point in time when discharges begin to exist in the area, they evolve and the volume of discharges increases, then tasks are carried out to collect or adapt the land to integrate the discharge so that it is not visible, and subsequently new discharges appear at the same points. As a general conclusion, the existence of dumping at a given site generates social habit and the elimination or collection of the waste as the only measure does not provide an effective solution.

**Keywords:** Demolition and construction waste, photo-interpretation, National Orthophotography Plan (PNOA), GIS.

# DETECCIÓN DE VERTIDOS ILEGALES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN MEDIANTE FOTOINTERPRETACIÓN DE MODELOS PROCEDENTES DEL DEM

SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, MANUEL

INTERRA (University Institute of Research for Sustainable Territorial Development),  
Avda. de la Universidad s/n, 10003 Cáceres, Spain, [msf@unex.es](mailto:msf@unex.es)

GUTIÉRREZ GALLEGO, JOSÉ ANTONIO

INTERRA (University Institute of Research for Sustainable Territorial Development),  
Avda. de la Universidad s/n, 10003 Cáceres, Spain, [jagutier@unex.es](mailto:jagutier@unex.es)

ARENAS GARCÍA, LOREA

Dpto. Derecho público. Facultad de Derecho. Universidad de Extremadura,  
Avda. de la Universidad s/n, 10004 Cáceres, Spain, [lorea@unex.es](mailto:lorea@unex.es)

**E**l vertido ilegal es un problema global cuyos impactos afectan negativamente a la salud humana y medioambiental. Se produce al desechar cualquier tipo de sustancia u objeto en un lugar público o privado no autorizado impidiendo su correcta recuperación y eliminación. Lamentablemente, en muchas regiones de nuestro país es habitual encontrar residuos sólidos derivados de la actividad de construcción y demolición esparcidos en campos y caminos. Nos referimos a los residuos RCD, cuyo acopio, almacenamiento y tratamiento queda regulado por el Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. Esta normativa clasifica el residuo en función de la naturaleza del material y dispone la obligatoriedad de gestión del residuo. Este hecho se traduce en la necesidad de existencia de puntos de recogida de residuos autorizados como gestores de residuos. Los puntos de recogida de residuos de demolición y construcción constituyen un servicio público, en determinados casos no gratuito, el cual acopia y gestiona el residuo. En la actualidad la existencia de vertidos ilegales sólidos de remplazamientos no autorizados supone un problema legal y social.

El trabajo realizado se centra en la detección visual de acopios de residuos de construcción y demolición, a partir de técnicas de teledetección, en el área urbana y periurbana de la ciudad de Mérida (España). En una etapa inicial, a partir de trabajos de campo, se han identificado 494 ubicaciones con vertidos de residuos de demolición y construcción depositados en parcelas no construidas dentro de zonas



urbanizadas y en el margen de caminos de acceso a fincas. La detección mediante la fotointerpretación de los residuos ha sido realizada mediante modelos obtenidos a partir Modelo Digital del Terreno (DEM). Para la obtención del modelo digital del terreno se ha empleado el segundo rebote de la nube de puntos del proyecto PNOA LiDAR segunda cobertura del IGN, obteniéndose un DEM de 0.25 m de tamaño de pixel. A partir del DEM, mediante el software *Relief Visualization Toolbox (RVT)*, se han obtenido siete modelos. Estos modelos representan diferentes características topográficas del terreno resaltando pendientes, sombras y otras particularidades del terreno.

Para el trabajo realizado, de las 494 ubicaciones con vertidos de construcción y demolición, han sido seleccionadas 14 ubicaciones clasificadas en 5 tipologías de suelo en función de su naturaleza topográfica y urbanística. Las tipologías de suelo establecidas son: Caminos emplazados en suelo no urbano (3 ubicaciones); Parcelas en suelo no urbano (3 ubicaciones); Suelo no urbano límite con suelo urbano (4 ubicaciones); Suelo urbanizado (3 ubicaciones); y suelo urbano (1 ubicación). Las ubicaciones han sido generadas a partir cuadrados de dimensión 450 m×450 m. Los resultados obtenidos resaltan pendientes, sombras y otras particularidades del terreno lo cual permite estudiar de forma visual si existen o no vertidos de residuos de demolición y construcción. Para el empleo del software RVT han sido tenidas en cuenta las consideraciones indicadas por otros autores y manual del software en cuanto a los parámetros empleados en los cálculos. Mediante la caja de herramientas del software RVT han sido obtenidos los siguientes modelos: *Analytical hillshading*, *Hillshading form multiple directios (Multi HS)*; *Slope Gradient (SLOPE)*, *Simple local reliev model (SLRM)*, *Sky-View Factor (SVF)*, *Openness-Positive (OPEN)*, *Local Dominance (LD)*.

A partir de los siete modelos obtenidos se ha procedido a analizar el modo en que quedan representados los residuos registrados en el terreno en cada uno de los modelos obtenidos. El análisis abarca la identificación del propio vertido en los modelos y la caracterización del terreno en que se encuentra. Por último, una vez seleccionados los modelos en los cuales se identifican con mayor claridad los residuos se realiza una búsqueda de vertidos en el área de estudio. Para una optimización del análisis para este procedimiento se divide el área de estudio en áreas de 3695×4862 m obteniéndose 32 subzonas. La validación de la existencia de residuo se realiza a partir de la ortofotografía del PNOA del IGN de 0.25 m de resolución espacial.

Las herramientas empleadas en el software RVT muestran los resultados en 32 y 8 bit, los resultados en 8 bit están optimizados para su visualización en software que no son herramientas GIS. En un primer análisis, se ha seleccionado para cada una de las herramientas empleadas el resultado que mejor permita identificar los cambios del terreno en relación con la naturaleza del estudio. Se observa que, de forma general, el resultado en 8 bit permite identificar mejor los cambios del terreno sin necesidad de ajustar la escala de grises de la representación en un software GIS. Dos de las herramientas empleadas, SLRM y SLOPE, en el resultado en 32 bit destacan en mayor grado los puntos más significativos según la naturaleza del estudio realizado, no obstante, con respecto al resultado en 8 bit, la morfología del terreno es menos apreciable en el resultado de 32 bit.



La morfología del terreno está condicionada en relación con la orografía y geología de la zona, el desarrollo urbano, la afcción antrópica, etc. Ello implica, que, para cada tipo de suelo, la representación del terreno en los diferentes modelos calculados variará. En este caso la orografía y geología de la zona está marcada por el área de estudio en que se desarrolla la investigación. Dentro de esta área de estudio se han clasificado 5 tipologías de suelo en relación con la ubicación de los vertidos registrados en el terreno. En el trabajo se analizan los resultados de los modelos obtenidos para cada una de las tipologías de suelo establecidas en el trabajo. Con ello se pretende establecer cuál o cuáles de los modelos son los más adecuados para ser empleados en relación con la naturaleza del trabajo. Para el análisis del tipo de suelo no urbano se ha estimado necesario dividir en dos subtipos, por un lado, parcelas que hayan sido modificadas de forma antrópica como son los vertederos históricos y terrenos con una topografía natural.

El emplazamiento de vertidos de residuos de construcción y demolición uno de los siete modelos obtenidos ha permitido diferenciar e incluso ubicar los posibles vertidos mediante una interpretación visual de la imagen, este es el LD. El modelo LD permite identificar morfologías antrópicas en el terreno permitiendo identificar taludes de terraplenes y desmontes existentes. De igual modo permite identificar vertidos situados "en mitad" de una parcela, ya que destacan igualmente los taludes del propio vertido. No obstante, ha resultado complejo determinar la existencia de vertidos en casos en que éstos no son verticales, en este caso la modificación topográfica del terreno no es apreciable en los modelos. Una parte de los vertidos estudiados han podido ser ubicados, en zonas antrópicas como caminos o urbanizaciones no consolidadas a partir del modelo LD. No obstante, ha resultado complejo la identificación concreta de los residuos individualizados, esto se debe a existencia de otros elementos representados de igual modo como es la coronación de un talud, o cualquier otra sobreelevación antrópica, así como los posibles errores existentes en el MDT, fruto de la existencia de puntos no deseados en el segundo rebote de la nube puntos LiDAR. Estos puntos no deseados son potencialmente puntos en copas de árboles, cubiertas, etc. o ruido propio de la nube de puntos que no han sido clasificado de forma adecuada.

Una parte de los vertidos estudiados han podido ser ubicados, de forma individualizada, en zonas antrópicas como caminos o urbanizaciones no consolidadas a partir del modelo LD. No obstante, ha resultado complejo la identificación concreta de los residuos individualizados, esto se debe a la existencia de errores en el MDT empleado, fruto de la existencia de puntos no deseados en el segundo rebote de la nube puntos LiDAR. Estos puntos no deseados son potencialmente puntos en copas de árboles, cubiertas, etc. o ruido propio de la nube de puntos que no han sido clasificado de forma adecuada. En consecuencia, la metodología empleada permite diferenciar de forma clara entre terrenos antrópicos y naturales, pudiendo en algunos casos ubicar vertidos de construcción y demolición. A partir de la detección de terrenos antrópicos, mediante fotointerpretación de ortofotografías en color verdadero ha sido posible ampliar la base datos de vertidos de partida del trabajo.

**Palabras clave:** Residuos de construcción y demolición (RCD); LiDAR; Teledetección; DEM; RVT; Fotointerpretación.

## Detection of illegal dumping of construction and demolition waste through photo-interpretation of models from the DEM

Illegal dumping is a global problem whose impacts negatively affect human and environmental health. It occurs when any type of substance or object is disposed of in an unauthorised public or private place, preventing its proper recovery and disposal. Unfortunately, in many regions of our country it is common to find solid waste derived from construction and demolition activities scattered on fields and roads. We are referring to CDW waste, the collection, storage and treatment of which is regulated by Royal Decree 105/2008, of 1 February, which regulates the production and management of construction and demolition waste. This regulation classifies waste according to the nature of the material and makes waste management mandatory. This translates into the need for waste collection points authorised as waste managers. The collection points for demolition and construction waste constitute a public service, in some cases not free of charge, which collects and manages the waste. At present, the existence of illegal solid waste dumping of unauthorised replacements is a legal and social problem.

The work carried out focuses on the visual detection of construction and demolition waste stockpiles, using remote sensing techniques, in the urban and peri-urban area of the city of Mérida (Spain). In an initial stage, based on field work, 494 locations with construction and demolition waste dumps deposited on unbuilt plots within built-up areas and on the margins of access roads to farms have been identified. The detection by photo-interpretation of the waste was carried out using models obtained from the Digital Terrain Model (DEM). To obtain the digital terrain model, the second bounce of the point cloud of the PNOA LiDAR second coverage of the IGN project was used, obtaining a DEM of 0.25 m pixel size. Seven models were obtained from the DEM using the Relief Visualization Toolbox (RVT) software. These models represent different topographic features of the terrain, highlighting slopes, shadows and other particularities of the terrain.

For the work carried out, out of the 494 locations with construction and demolition waste, 14 locations were selected, classified into 5 soil typologies according to their topographical and urbanistic nature. The soil typologies established are: Roads located on non-urban land (3 locations); Plots on non-urban land (3 locations); Non-urban land bordering urban land (4 locations); Developed land (3 locations); and urban land (1 location). The locations have been generated from 450 m × 450 m squares. The results obtained highlight slopes, shadows and other particularities of the terrain, which allows us to study visually whether or not there is any dumping of demolition and construction waste. For the use of the RVT software, the considerations indicated by other authors and the software manual regarding the parameters used in the calculations have been taken into account. The following models were obtained using the RVT software toolbox: Analytical hillshading, Hillshading from multiple directions (Multi HS); Slope Gradient (SLOPE), Simple local relief model (SLRM), Sky-View Factor (SVF), Openness-Positive (OPEN), Local Dominance (LD).

Based on the seven models obtained, the way in which the debris recorded on the ground is represented in each of the models obtained has been analysed. The analysis includes the identification of the landfill itself in the models and the characterisation of the terrain in which it is located. Finally, once the models in which the waste is most clearly identified have been selected, a search for spills in the study area is carried out. In order to optimise the analysis for this procedure, the study area is divided into areas of  $3695 \times 4862$  m, obtaining 32 sub-zones. The validation of the existence of waste is carried out on the basis of the orthophotography of the PNOA of the IGN of 0.25 m spatial resolution.

The tools used in the RVT software show the results in 32 and 8 bit, the results in 8 bit are optimised for their visualisation in software that are not GIS tools. In a first analysis, for each of the tools used, the result that best identifies the changes in the terrain in relation to the nature of the study has been selected. It can be seen that, in general, the 8-bit result allows the terrain changes to be better identified without the need to adjust the greyscale of the representation in GIS software. Two of the tools used, SLRM and SLOPE, highlight the most significant points in the 32-bit result, depending on the nature of the study carried out. However, compared with the 8-bit result, the morphology of the terrain is less noticeable in the 32-bit result.

The morphology of the terrain is conditioned in relation to the orography and geology of the area, urban development, anthropic affection, etc. This implies that, for each type of soil, the representation of the terrain in the different models calculated will vary. In this case, the orography and geology of the area is marked by the study area in which the research is being carried out. Within this study area, 5 soil typologies have been classified in relation to the location of the landfills recorded in the terrain. The results of the models obtained for each of the soil typologies established in the work are analysed. The aim is to establish which of the models are the most appropriate to be used in relation to the nature of the work. For the analysis of the non-urban land type, it has been deemed necessary to divide it into two subtypes, on the one hand, plots that have been anthropically modified, such as historical landfills, and land with a natural topography.

The location of construction and demolition waste dumps, one of the seven models obtained has made it possible to differentiate and even locate possible dumps by means of a visual interpretation of the image, this is the LD. The LD model makes it possible to identify anthropic morphologies in the terrain, making it possible to identify existing embankment slopes and cuttings. It also allows the identification of landfills located "in the middle" of a plot, as the slopes of the landfill itself are also highlighted. However, it has proved difficult to determine the existence of spills in cases where they are not vertical, in which case the topographical modification of the terrain is not appreciable in the models. A part of the studied discharges could be located in anthropic areas such as roads or unconsolidated urbanisations from the LD model. However, the concrete identification of the individualised waste has been complex, this is due to the existence of other elements represented in the same way such as the crown of a slope, or any other anthropic overelevation, as well as the possible errors existing in the DTM, as a result of the existence of unwanted points in the second bounce of the LiDAR point cloud. These unwanted points are potentially points in tree canopies, canopies, etc. or noise in the point cloud that have not been properly classified.

A part of the studied discharges could be located, individually, in anthropic areas such as roads or unconsolidated urbanisations from the LD model. However, the concrete identification of the individualised waste has been complex, due to the existence of errors in the DTM used, as a result of the existence of unwanted points in the second bounce of the LiDAR point cloud. These unwanted points are potentially points in tree crowns, canopies, etc. or noise in the point cloud that have not been properly classified. Consequently, the methodology used allows a clear differentiation between anthropogenic and natural terrain, in some cases being able to locate construction and demolition landfills. Based on the detection of anthropic land, by means of photo-interpretation of true-colour orthophotographs, it has been possible to expand the database of landfills used as a starting point for the work.

**Keywords:** construction and demolition waste; LiDAR; LiDAR; Remote sensing; DEM; RVT; Photointerpretation.

**Funding:** This study is the result of the project "Remote sensing and environmental analysis of illegal landfills" (IB20050-2021/2024), funded by the Junta de Extremadura and the European Regional Development Fund (FEDER) with 103,447 euros.

**Acknowledgments:** Thanks to the collaboration and support of the security forces of Extremadura.

# MONITOREO DE LAS PLAYAS DE BOLSILLO MALTESAS MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES

GALONE, LUCIANO  
[luciano.galone@um.edu.mt](mailto:luciano.galone@um.edu.mt)

D'AMICO, SEBASTIANO  
[sebastiano.damico@um.edu.mt](mailto:sebastiano.damico@um.edu.mt)

COLICA, EMANUELE  
[Emanuele.coluca@um.edu.mt](mailto:Emanuele.coluca@um.edu.mt)

GAUCI, ADAM  
[gauci.adam@um.edu.mt](mailto:gauci.adam@um.edu.mt)

Department of Geosciences, University of Malta, Msida MSD 2080, Malta

**M**alta es un pequeño archipiélago de tres islas principales: Malta, Gozo y Comino, situadas en el mar Mediterráneo, al sur de Italia y al este de Túnez. Con una superficie total de unos 316 km<sup>2</sup>, Malta es uno de los países más pequeños y densamente poblados de Europa, con una población de unos 515.000 habitantes. La mayor parte de su costa es rocosa, con grandes acantilados en su extremo occidental y la presencia de pequeñas bahías donde se desarrollan playas de bolsillo. Éstas, a pesar de representar alrededor del 2% del litoral total, desempeñan un papel esencial desde el punto de vista socioeconómico y medioambiental, proporcionando hábitats para varias especies marinas y litorales y siendo importantes áreas de turismo y recreación.

Las playas de bolsillo (*pocket beaches*) son típicamente pequeñas playas aisladas entre dos cabos. La energía total de las olas que reciben estos sistemas de playas se ve afectada por la energía difractada de los cabos. Debido a su naturaleza semirres-tringida, suele haber poca conexión entre las playas de bolsillo, y el transporte de sedimentos dentro del sistema está regulado y almacenado por los cabos.

Sin embargo, estas playas pueden quedar expuestas eventualmente a una gran energía del oleaje, especialmente en tormentas de baja frecuencia y gran energía. Además, los sedimentos del interior del sistema están sujetos a movimientos y es frecuente que se produzcan cambios morfológicos significativos en la línea de costa. Hay que tener en cuenta que cada playa de bolsillo es única y requiere un examen

caso por caso. Estos sistemas varían mucho en tamaño, forma, características de los sedimentos y exposición a la energía del oleaje, por lo que las evaluaciones específicas de cada lugar son esenciales para una gestión y conservación eficaces. Si se adopta un enfoque preciso para comprender estos sistemas, estos valiosos entornos costeros podrán protegerse y conservarse mejor.

En este contexto, el departamento de geociencias de la Universidad de Malta está desarrollando el proyecto SIPOBED (*Satellite Investigation to study POcket Beach Dynamics*). SIPOBED pretende generar una herramienta de seguimiento de las playas de bolsillo maltesas utilizando métodos rentables y no invasivos. Normalmente, la vigilancia de las playas de arena se realiza mediante el seguimiento de la variación de la línea de costa. En cambio, SIPOBED pretende ir más allá, utilizando un conjunto de herramientas que permiten estudiar y monitorizar a lo largo del tiempo los cambios volumétricos de los sedimentos, tanto tierra adentro como bajo el mar. Las técnicas utilizadas en el proyecto SIPOBED son variadas y han sido seleccionadas de manera que la adquisición de datos sea rentable en términos económicos y de tiempo y no invasivas, lo que minimiza cualquier impacto ambiental y reduce el costo del proyecto.

En primer lugar, se utiliza la técnica de Interferometría SAR (Synthetic Aperture Radar) para reconstruir la topografía de los depósitos sedimentarios arenosos de playa y dunas. Para la calibración de la técnica se emplean los Modelos Digitales de Elevación (DEM). Estos DEM son importantes para varias aplicaciones de interferometría SAR, ya que permiten mejorar la co-registración de imágenes SAR temporales gracias a su alta resolución, y se utilizan para eliminar la fase topográfica y detectar cambios sutiles en la distancia de rango entre adquisiciones, lo que facilita la interpretación de los desplazamientos resultantes. SIPOBED utiliza DEM generados específicamente para tal fin, con resoluciones sub centimetradas, creados a partir de vuelos con drones equipados con LIDAR y cámaras RGB, estas últimas para construir modelos fotogramétricos.

El seguimiento de la dinámica de los sedimentos en las regiones submarinas se consigue trazando los cambios batimétricos hasta la profundidad de cierre (transición shoreface-offshore) con el uso de imágenes multiespectrales de satélite mediante la aproximación de batimetría derivada por satélite.

Este método se basa en el hecho de que la reflectancia de dos bandas espectrales disminuye exponencialmente con la profundidad. La banda con una longitud de onda más corta se atenúa menos que la banda con una longitud de onda más larga. Por lo tanto, la relación entre los valores de reflectancia de agua de las bandas espectrales debería aumentar con la profundidad. Para calibrar y validar el modelo, se requieren datos batimétricos adquiridos independientemente. Para esto, SIPOBED utiliza datos batimétricos *in situ* adquiridos mediante un *PowerDolphin*, un *remote surface vehicle* (RSV). Se trata de un instrumento que trabaja sobre la superficie del agua capaz de producir mapas batimétricos con datos de alta precisión. Las imágenes satelitales utilizadas provienen de los satélites gemelos Sentinel-2A y Sentinel-2B que orbitan en la misma dirección, pero en diferentes órbitas polares. Estos satélites fueron creados por la Agencia Espacial Europea para el programa Copernicus y tienen un período de revisita de 10 días. Debido a la disponibilidad y tiempo de revisita de los dos satéli-

tes, cada área es monitoreada regularmente cada 5 días con las mismas condiciones de visualización. Cuentan con el Instrumento Multiespectral (MSI), que tiene una resolución radiométrica de 12 bits, lo que les permite detectar mejor las diferencias entre la reflectancia o intensidad de las diferentes estructuras. En comparación con el Landsat 8, los satélites Sentinel-2 producen resultados más precisos en general y tienen una resolución espacial de 10 m. Además, la constelación Sentinel-2 puede medir más bandas espectrales en comparación con el Landsat 8, lo que permite una clasificación de imagen más clara.

SIPOBED también analiza el límite inferior del sistema sedimentario, determinando la profundidad y la geometría del lecho rocoso sobre el que descansan los depósitos arenosos mediante la combinación de técnicas geofísicas cercanas a la superficie. Particularmente, SIPOBED hace uso de la tomografía de resistividad eléctrica y se la sísmica pasiva mediante la técnica *horizontal-to-vertical spectral ratio*. La tomografía de resistividad eléctrica es una técnica geofísica que se utiliza para investigar la distribución de resistividad eléctrica en el subsuelo. Consiste en inyectar una corriente eléctrica en el suelo mediante dos electrodos y medir la diferencia de potencial entre otros electrodos, lo que permite obtener una imagen de la resistividad eléctrica del suelo a diferentes profundidades a lo largo de una sección. Debido a la alta permeabilidad de los depósitos de playa y a su saturación con agua marina de alta conductividad eléctrica, el límite inferior de los depósitos sedimentarios se caracteriza por un marcado aumento relativo de la resistividad eléctrica.

La técnica *horizontal-to-vertical spectral ratio* utiliza el ruido sísmico ambiental, es decir, las vibraciones que se producen en el suelo de forma natural debido a diversas fuentes, como el viento, el océano o la actividad humana, para detectar el contraste en la velocidad de las ondas sísmicas entre la arena y el lecho rocoso, lo que ayuda a estimar la profundidad del contacto entre los dos materiales.

Finalmente, SIPOBED integra los resultados topográficos, batimétricos y del subsuelo en un Sistema de Información Geográfica donde se analizan las variaciones topo batimétricas y se calculan los cambios volumétricos en cada una de las playas, generando un repositorio esencial para el manejo de estos sectores de la costa maltesa.

La integración de los datos en la gestión costera puede ofrecer ventajas a los geomorfólogos costeros y a las autoridades competentes. Las imágenes satelitales ofrecen una amplia cobertura y pueden ser utilizadas para registrar datos batimétricos y topográficos sobre grandes áreas, lo que puede ahorrar tiempo significativo en la adquisición de datos *in situ*. Después de que las técnicas son calibradas para cada sitio, la capacidad de estimar datos topográficos y batimétricos mediante sensores remotos puede llevar a la generación de mapas con una resolución temporal determinada por el tiempo de revisita del satélite, en el rango de días. Esto puede proporcionar datos más actualizados que aquellos típicamente generados mediante datos adquiridos *in situ*, que suelen ser más costosos y menos frecuentes en el tiempo.

Además, la posibilidad de utilizar imágenes satelitales del pasado permite reconstruir variaciones topo batimétricas pasadas. El cálculo de variaciones topo-batimétricas a lo largo del tiempo puede ser utilizado para entender las variaciones temporales en los sedimentos que modelan el fondo marino en las playas de bolsillo de Malta.

Esto puede proporcionar información valiosa para estudios sobre sedimentación y erosión costeras y puede llevar, por ejemplo, a la creación de modelos morfodinámicos cuantitativos que puedan proporcionar una herramienta capaz de predecir la evolución dinámica de los sedimentos costeros y tomar decisiones de gestión de manera anticipada.

El proyecto SIPOBED es una herramienta valiosa para la gestión y conservación de las playas de bolsillo en Malta, permitiendo comprender mejor estos sectores claves del archipiélago y generando oportunidades para futuras aplicaciones.

*Palabras clave:* Satélite, playa, monitoreo.

## Monitoring Maltese pocket beaches using satellite images

Malta is a small archipelago consisting of three main islands: Malta, Gozo and Comino, located in the Mediterranean Sea, south of Italy and east of Tunisia. With a total area of around 316 km<sup>2</sup>, Malta is one of the smallest and most densely populated countries in Europe, with a population of around 515,000 inhabitants. Most of its coast is rocky, with large cliffs on its western end and the presence of small bays where pocket beaches develop. Despite representing about 2% of the total coastline, these beaches play an essential role from a socioeconomic and environmental perspective, providing habitats for various marine and coastal species, and they are important areas for tourism and recreation.

Pocket beaches are typically small isolated beaches between two capes. The total wave energy received by these beach systems is affected by the diffracted energy of the capes. Due to their semi-restricted nature, there is usually little connection between pocket beaches, and sediment transport within the system is regulated and stored by the capes. However, these beaches can eventually be exposed to high wave energy, especially in low-frequency and high-energy storms. In addition, sediments within the system are subject to movement, and significant morphological changes in the coastline are frequent. It should be noted that each pocket beach is unique and requires a case-by-case examination. These systems vary greatly in size, shape, sediment characteristics, and exposure to wave energy, so specific assessments of each location are essential for effective management and conservation. If a precise approach is taken to understanding these systems, these valuable coastal environments can be better protected and conserved.

In this context, the Department of Geosciences at the University of Malta is developing the SIPOBED project (Satellite Investigation to study POCKET Beach Dynamics). SIPOBED aims to generate a monitoring tool for Maltese pocket beaches using cost-effective and non-invasive methods. Normally, the surveillance of sandy beaches is done by monitoring the variation of the coastline. Instead, SIPOBED aims to go further, using a set of tools that allow the volumetric changes of sediments, both on



land and underwater, to be studied and monitored over time. The techniques used in the SIPOBED project are varied and have been selected so that data acquisition is cost-effective and non-invasive, minimizing any environmental impact and reducing the cost of the project.

First, the Synthetic Aperture Radar (SAR) Interferometry technique is used to reconstruct the topography of sandy beach and dune sedimentary deposits. Digital Elevation Models (DEM) are used to calibrate the technique. These DEMs are important for several SAR applications, as they improve the co-registration of temporal SAR images due to their high resolution, and are used to remove the topographic phase and detect subtle changes in range distance between acquisitions, making interpretation of resulting displacements easier. SIPOBED uses DEMs specifically generated for this purpose, with sub-centimeter resolutions, created from drone flights equipped with LIDAR and RGB cameras, the latter used to construct photogrammetric models.

Tracking sediment dynamics in underwater regions is achieved by tracing bathymetric changes up to the depth of closure (shoreface-offshore transition) using multispectral satellite imagery through satellite-derived bathymetry approximation. This method is based on the fact that the reflectance of two spectral bands decreases exponentially with depth. The band with a shorter wavelength attenuates less than the band with a longer wavelength. Therefore, the relationship between the reflectance values of water in the spectral bands should increase with depth. To calibrate and validate the model, independently acquired bathymetric data are required. For this, SIPOBED uses *in situ* bathymetric data acquired by a PowerDolphin, a remote surface vehicle (RSV). It is an instrument that works on the water surface capable of producing bathymetric maps with high-precision data. The satellite images used come from the twin Sentinel-2A and Sentinel-2B satellites orbiting in the same direction but in different polar orbits. These satellites were created by the European Space Agency for the Copernicus program and have a review period of 10 days. Due to the availability and review time of the two satellites, each area is regularly monitored every 5 days under the same viewing conditions. They have the Multispectral Instrument (MSI), which has a radiometric resolution of 12 bits, allowing them to better detect differences in the reflectance or intensity of different structures. Compared to Landsat 8, Sentinel-2 satellites generally produce more accurate results and have a spatial resolution of 10 m. Additionally, the Sentinel-2 constellation can measure more spectral bands compared to Landsat 8, allowing for a clearer image classification.

SIPOBED also analyzes the lower limit of the sedimentary system, determining the depth and geometry of the bedrock upon which the sandy deposits rest by combining near-surface geophysical techniques. Particularly, SIPOBED makes use of electrical resistivity tomography and passive seismic using the horizontal-to-vertical spectral ratio technique. Electrical resistivity tomography is a geophysical technique used to investigate the distribution of electrical resistivity in the subsurface. It involves injecting an electric current into the ground through two electrodes and measuring the potential difference between other electrodes, which allows obtaining an image of the electrical resistivity of the soil at different depths along a section. Due to the high permeability of beach deposits and their saturation with high electrical conductivity seawater, the lower limit of sedimentary deposits is characterized by a marked relative increase in electrical resistivity. The horizontal-to-vertical spectral ratio technique uses ambient seismic noise, that is, the vibrations in the ground that occur naturally due to

various sources, such as wind, the ocean, or human activity, to detect the contrast in the velocity of seismic waves between the sand and the bedrock, which helps estimate the depth of the contact between the two materials.

Finally, SIPOBED integrates topographic, bathymetric, and subsurface results into a Geographic Information System where topobathymetric variations are analysed, and volumetric changes in each of the beaches are calculated, generating an essential repository for the management of these Maltese coastal sectors.

The integration of data in coastal management can offer advantages to coastal geomorphologists and competent authorities. Satellite images offer wide coverage and can be used to record bathymetric and topographic data over large areas, which can save significant time in acquiring *in situ* data. After the techniques are calibrated for each site, the ability to estimate topographic and bathymetric data using remote sensors can lead to the generation of maps with a temporal resolution determined by the satellite revisit time, in the range of days. This can provide more up-to-date data than those typically generated by *in situ* acquired data, which are usually more costly and less frequent over time.

In addition, the possibility of using satellite images from the past allows the reconstruction of past topo bathymetric variations. Calculating topobathymetric variations over time can be used to understand temporal variations in sediments that shape the seafloor in Malta's pocket beaches. This can provide valuable information for studies on coastal sedimentation and erosion and can lead, for example, to the creation of quantitative morphodynamic models that can provide a tool capable of predicting the dynamic evolution of coastal sediments and making management decisions in advance.

The SIPOBED project is a valuable tool for the management and conservation of pocket beaches in Malta, allowing for a better understanding of these key sectors of the archipelago and generating opportunities for future applications.

**Keywords:** Satellite, beach, monitoring.

**Funding:** The SIPOBED project is financed by the Malta Council for Science and Technology (MCST, <https://mcst.gov.mt/>) through the Space Research Fund (Building capacity in the downstream Earth Observation Sector), a programme supported by the European Space Agency

# USO DE GOOGLE EARTH ENGINE PARA CARACTERIZAR COBERTURAS FORESTALES EN LA COMUNIDAD DE MADRID

NOVILLO, CARLOS J.

Universidad Rey Juan Carlos, Calle Tulipán, s/n, 28933 Móstoles, Madrid, España,  
[carlos.novillo@urjc.es](mailto:carlos.novillo@urjc.es)

ROMERO-CALCERRADA, RAÚL

Universidad Rey Juan Carlos, Calle Tulipán, s/n, 28933 Móstoles, Madrid, España,  
[raul.romero.calerrada@urjc.es](mailto:raul.romero.calerrada@urjc.es)

La identificación, caracterización y seguimiento de la vegetación es una necesidad de primer nivel para la comprensión y seguimiento tanto del Cambio Global como del Cambio Climático. La teledetección es una herramienta que permite llevar a cabo esta tarea de forma masiva pero detallada. La teledetección, permite la obtención de mediciones repetidas, consistentes, coherentes, y comparables en el tiempo y el espacio, para caracterizar y evaluar los cambios en la composición, estructura y condición de las cubiertas vegetales a lo largo del tiempo, ayudando a la comprensión de los procesos que influyen en ese cambio. El estudio de la dinámica y la caracterización de las cubiertas vegetales nos proporcionan una mejor comprensión de la presencia de patrones y estado de especies y formaciones vegetales. La caracterización de las coberturas vegetales ayuda a entender los procesos que las afectan y la propuesta de acciones que permitan una protección y asistencia continuas y ajustadas a las necesidades de cada formación y sitio específicas.

La puesta a disposición de los usuarios de multitud de sensores con diferentes resoluciones y plataformas de acceso y análisis abre caminos insospechados desde hace años. En este sentido, Google Earth Engine es un producto emergente –gratuito para uso académico y de investigación– con una gran proyección y potencial al combinar de manera integrada tanto un amplio catálogo de imágenes de satélite y datos geoespaciales como las potentes capacidades de análisis propias de los software de manejo de imágenes y sistemas de información geográfica (Gorelick *et al.*, 2017). Entre las múltiples aplicaciones, Google Earth Engine permite los análisis de detección de cambios, estudio tendencias y cuantificar diferencias en las cubiertas vegetales.

El objetivo del presente trabajo es caracterizar la cobertura vegetal de la Península Ibérica basada en cambios temporales en los valores armonizados del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en una serie de tiempo de seis años (2017-2023).

En este trabajo se han utilizado los datos del sensor Sentinel 2 SR armonizados, con acceso en Google Earth Engine. Tras filtrar imágenes con menos del 60 % de nubes, y usando máscara de nubes y clases por pixel, se ha calculado el NDVI. En concreto se ha estimado la estacionalidad con un análisis armónico de una serie de tiempo de casi seis años de datos (2017-2023) del NDVI. El análisis armónico (análisis espectral o análisis de Fourier) descompone un fenómeno periódico dependiente del tiempo en una serie de funciones sinusoidales, generando curvas complejas u ondas definidas por valores únicos de amplitud y un ángulo de fase. Cada curva u onda está definida por una amplitud única y un ángulo de fase, donde el valor de amplitud es la mitad de la altura de una onda, y el ángulo de fase define el desplazamiento entre el origen y el pico de la onda en el rango  $0$  a  $2\pi$  ( $-\pi$  y  $\pi$ ). Cada término designa el número de ciclos que completa una onda en el intervalo definido (por ejemplo, el segundo término completa dos ciclos). Se agregan términos armónicos sucesivos para producir una curva compleja. Cada curva componente, o término, representa un porcentaje de la varianza total en el conjunto de datos de la serie temporal original (de Jong *et al.*, 2011; Jakubauskas and Legates 2000; Roerink *et al.*, 2000). Los datos de amplitud y ángulo de fase se produjeron a partir del análisis de los datos NDVI de la serie temporal de seis años. Posteriormente se han calculado estadísticos por píxel utilizando diferentes agrupaciones obtenidas mediante la cartografía del Mapa Forestal de España y los pisos bioclimáticos de Madrid para caracterizar el comportamiento de cada una de las cubiertas vegetales.

Los resultados muestran diferencias en fase, magnitud y NDVI medio, para diferentes agrupaciones, ya sea por tipología, especie arbórea, piso bioclimático, distribución del arbolado o porcentaje de cubierta. En la figura 1 se muestran los valores de fase y amplitud por formación vegetal y piso bioclimático, para una distribución uniforme del arbolado. Se puede observar una tendencia generalizada global a que las fases se alejen de 0 (1 de enero en nuestro caso), según se asciende con los pisos bioclimáticos. Esto implica que el pico máximo se adelanta en verano-otoño, y se retrasa en primavera. La amplitud por su parte, tiende a disminuir en las perennifolias según se sube, mientras que en las caducifolias suele aumentar con los pisos bioclimáticos. Esto probablemente puede indicar una mayor adaptación a determinadas condiciones según el tipo de vegetación.

La generalidad de las formaciones presenta un pico, muchas veces máximo, entre noviembre y febrero, siendo en la mayoría de las perennifolias entre diciembre y enero. Estos valores indican una gran actividad en otoño-invierno para todas estas formaciones mediterráneas, incluso para las de alta montaña. En cuanto al valor del NDVI, hayedos, castañares, robledales y bosques mixtos del supramediterráneo superior, presentan los valores medios más altos. Con valores algo inferiores, aparecen los pinares de pino silvestre, aunque los situados a mayor altura y algunos pinares de *Pinus nigra*, pueden igualar a las frondosas nombradas.

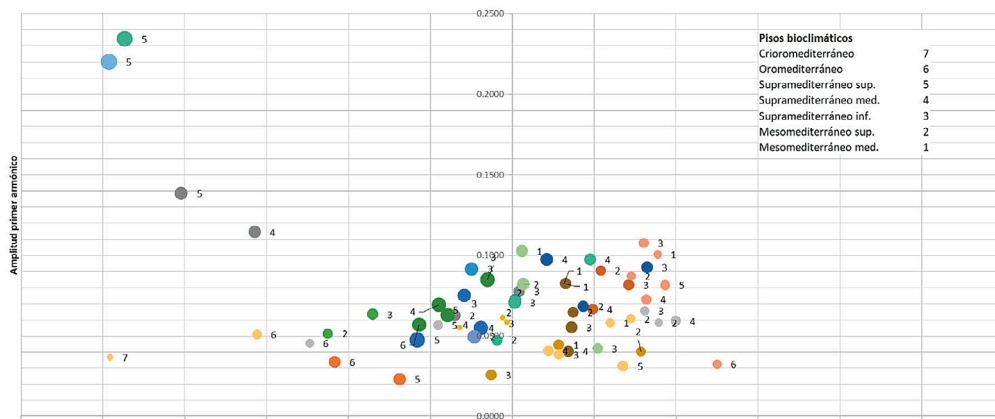
Al disponer de píxeles de 10 m de lado, se resalta el contraste entre zonas colindantes no homogéneas. Esta homogeneidad, o falta de ella, en cada polígono proporciona valores medios diferenciados. La fase media por polígono se ve muy influenciada por la distribución de arbolado y sotobosque, con zonas más o menos abiertas, ya que cada estrato tiene diferentes valores. Por ejemplo, casi todos los pastizales presentan una fase de primer armónico en enero y febrero, al igual que los matorrales de menor altitud. Un ejemplo de cómo afecta esta proporción lo tenemos en la figura 2, donde se muestran los valores para melojares según piso bioclimático. En ella se puede comprobar como a medida que aumenta la proporción de arbolado, la fase disminuye y se hace más negativa. Las diferencias entre pisos para la misma formación no suelen ser superiores a 1 mes, salvo en el caso de las frondosas caducifolias, en las que se supera con creces. Sin embargo, entre arbolado, matorral y pastizal sí que se pueden encontrar diferencias sustanciales para el mismo piso bioclimático, por lo que el efecto de la mezcla de tipologías es patente y notorio

El uso de 2 armónicos permite un mejor ajuste generalmente, puesto que, aunque no haga falta porque los datos ajustan bien a un único ciclo claro, el resultado es similar a usar 1. Con 2 armónicos se puede conseguir reproducir los ciclos con un mínimo relativo anual dentro del período de actividad. Así, pueden aparecer variaciones como las reflejadas en la figura 3, en la que se puede ver cómo, en este caso de los melojares, el mínimo de verano disminuye según se asciende con los pisos. Esta posibilidad se manifiesta fundamental en pastizales y matorrales, con ciclos de 2 picos muchas veces muy marcados.

Como se puede ver en la figura 4, la cartografía de pisos bioclimáticos muestra zonas de descuadre con los resultados obtenidos, lo que invita a reconsiderarla o comprobar su posible cambio en el tiempo.

En resumen, los diferentes tipos de cobertura terrestre exhiben patrones estacionales distintivos de variación de NDVI que a menudo tienen fuertes características periódicas asociadas a diferentes agrupaciones teniendo su efecto desde la especie a la cobertura del arbolado o su distribución espacial. El detalle espacial aportado por Sentinel 2, permite una distinción de especies y tipologías sin parangón, lo que abre la puerta a cartografías de gran precisión espacial y temática. El análisis de la posible variación de los parámetros de los armónicos posibilita un estudio de los posibles efectos del cambio climático en la vegetación. La utilización de este tipo de herramientas permite una obtención de resultados muy rápida, fácilmente reproducible, por lo que su manejo se hace imprescindible para un rápido avance del conocimiento.

Figura 1. Fase y amplitud del primer armónico. El tamaño del círculo es proporcional al valor medio del NDVI.



- Fresnedas (Fraxinus spp.)
- Pinar de pino carrasco (Pinus halepensis)
- Pinar de pino piñonero (Pinus pinaster)
- Pinar de pino salgarroño (Pinus nigra)
- Robledales de Q. robur y/o Q. petraea
- Pastizal-Matorral
- Alcornoques (Quercus suber)
- Pinar de pino albar (Pinus sylvestris)
- Pinar de pino negro (Pinus uncinata)
- Pinar de pino piñaster en reg. H mediterr. Hnea
- Quejigares (Quercus faginea)
- Herbazal-Pastizal
- Arbustados
- Bosques mixtos de frondosas autóctonas en región biogeográfica mediterránea

Figura 2. Variación de la fase del primer armónico en función del porcentaje de arbolado del polígono del mapa forestal para melojares densos, según piso bioclimático.

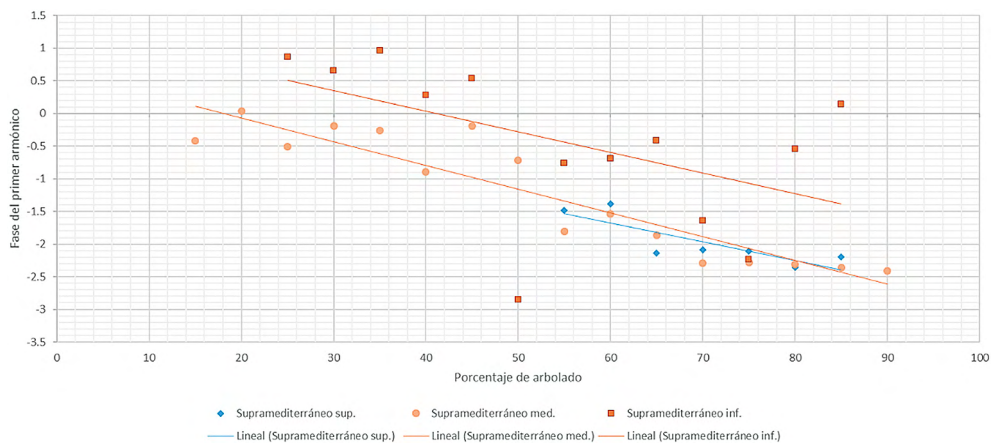


Figura 3. Ejemplos de melojares densos, con distribución uniforme según piso bioclimático.

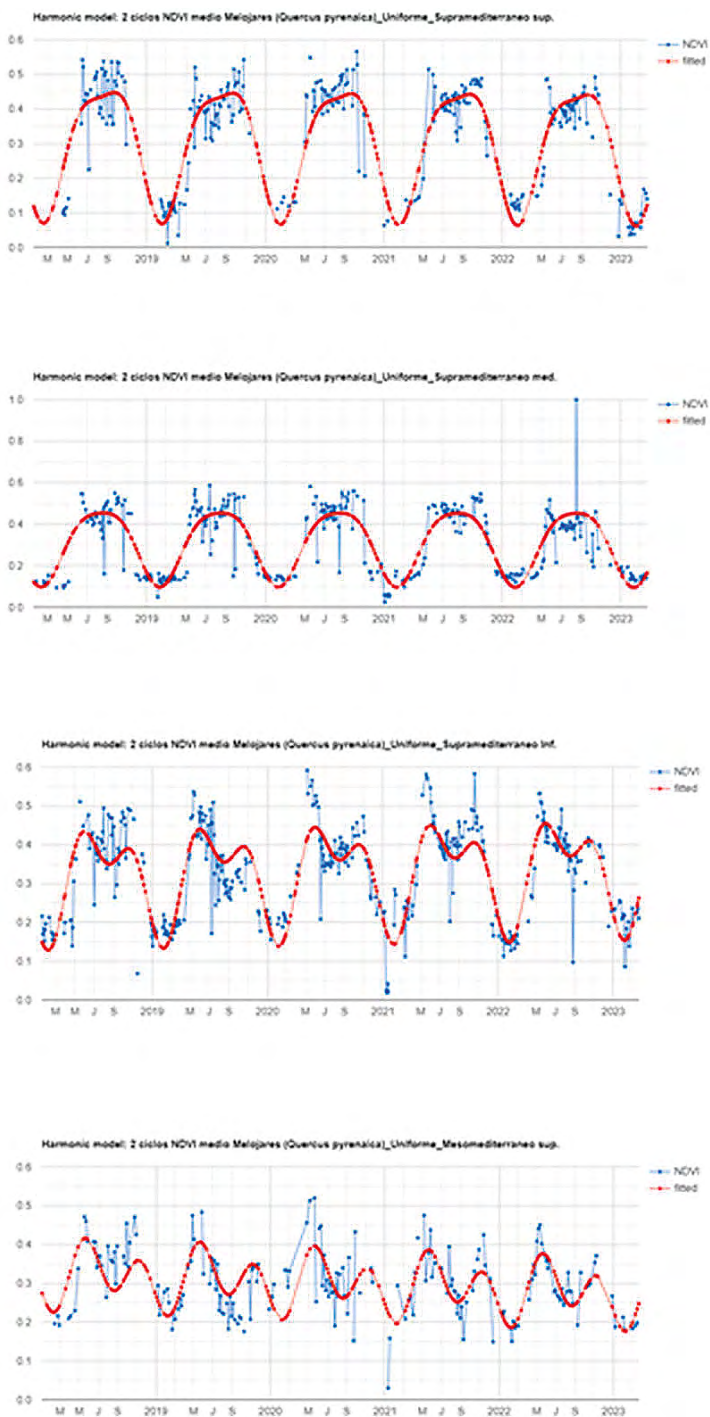
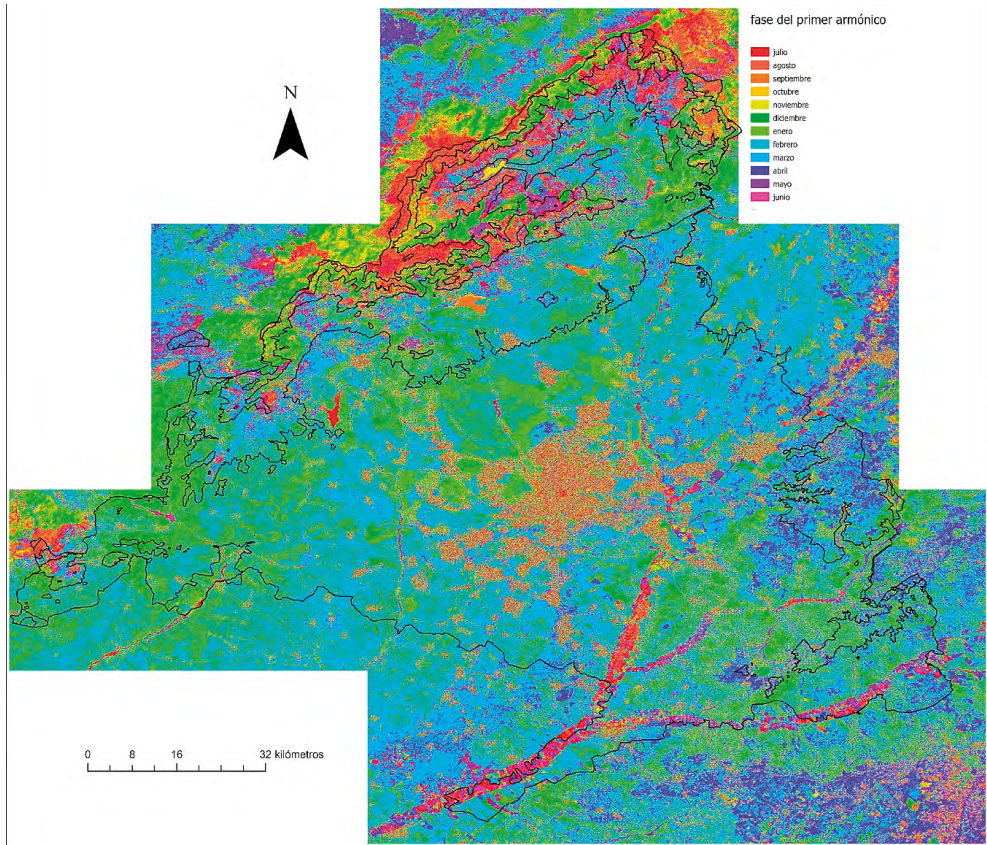




Figura 4. Fase del primer armónico expresada en meses y pisos bioclimáticos superpuestos.



## BIBLIOGRAFÍA

- de Jong, R. *et al.* (2011). Analysis of monotonic greening and browning trends from global NDVI time-series. *Remote Sensing of Environment*, 115 (2), 692-702.
- Gorelick, N. *et al.* (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Jakubauskas, M. E. & Legates, D. R. (2000). Harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data for characterising US Great Plains land use/land cover. In Fritsch, D. & Molenaar, M. (eds.), 33: *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 384-389.
- Roerink, G. J., Menenti, M. & Verhoef, W. (2000). Reconstructing cloudfree NDVI composites using Fourier analysis of time series. *International Journal of Remote Sensing*, 21 (9), 1911-1917.

**Palabras clave:** Series temporales, Sentinel 2, serie armónica, Google Earth Engine, vegetación.



## Use of Google Earth Engine to characterize forest cover in the Community of Madrid

The identification, characterisation and monitoring of the vegetation is the first level needed for understanding and monitoring both Global Change and Climate Change. Remote sensing is a tool that allows carrying out this task in a massive but detailed way. Remote sensing allows obtaining repeated, consistent, coherent, and comparable measurements in time and space to characterise and evaluate changes in the composition, structure, and condition of plant cover over time, helping to understand the processes that influence this change. Studying the dynamics and characterising the vegetal covers give us a better understanding of the patterns and state of species vegetal formations. The characterisation of plant covers helps to understand the processes that affect them and the proposal of actions that allow continuous protection and assistance adjusted to the needs of each specific formation and site.

Making many sensors and access and analysis platforms available to users opens paths unsuspected for years. In this sense, Google Earth Engine is an emerging product –free for academic and research use– with excellent projection and potential by combining in an integrated manner a wide catalogue of satellite images and geospatial data as well as powerful analysis capabilities (Gorelick *et al.*, 2017). Among the multiple applications, Google Earth Engine allows the analysis of detection of changes, study trends and quantify differences in vegetation covers.

This work aims to characterise the Iberian Peninsula's vegetation cover based on temporal changes in the harmonised values of the normalised difference vegetation index (NDVI) in a six-year time series (2017-2023).

This work uses harmonised Sentinel 2 SR sensor data, with access to Google Earth Engine. After filtering images with less than 60% clouds and using cloud mask and pixel classes, the NDVI has been calculated. Seasonality has been estimated with a harmonic analysis of a time series of almost six years of data (2017-2023) from the NDVI. Harmonic analysis (spectral analysis or Fourier analysis) decomposes a periodic time-dependent phenomenon into a series of sinusoidal functions, generating complex curves or waves defined by single values of amplitude and a phase angle. Each wave or curve is defined by a unique amplitude and a phase angle, where the amplitude value is half the height of a wave, and the phase angle defines the offset between the origin and the 'wave's peak over the range 0 to  $2\pi$  ( $-\pi$  y  $\pi$ ). Each term designates the number of cycles a wave completes over the defined interval (e.g. the second term completes two cycles). Successive harmonic terms are added to produce a complex curve. Each component curve, or term, accounts for a percentage of the total variance in the original time-series data set (de Jong *et al.*, 2011; Jakubauskas and Legates 2000; Roerink *et al.*, 2000). Amplitude and phase angle data were produced from 6-year time series NDVI data analysis. Subsequently, statistics per pixel have been calculated using different groups obtained by the Forest Map of Spain's cartography and Madrid's bioclimatic levels to characterise each vegetation cover's behaviour.

The results show differences in phase, magnitude and average NDVI, for different groups, either by typology, tree species, bioclimatic level, tree distribution or percentage of trees. Figure 1 shows the phase and amplitude values by plant formation and

bioclimatic level for a uniform distribution of trees. A generalised global tendency can be observed for the phases to move away from 0 (January one in our case) as one ascends with the bioclimatic levels. This can probably indicate a more excellent adaptation to certain conditions depending on the vegetation type. Those implies that the maximum peak is earlier in summer-autumn and later in spring. The amplitude, for its part, tends to decrease in the evergreens as you go up, while in the deciduous ones, it tends to increase with the bioclimatic levels.

The generality of the formations presents a peak, many times maximum, between November and February, being in most of the evergreens between December and January. These values indicate a great activity in autumn-winter for most of these Mediterranean formations, even for the high mountain ones. Regarding the NDVI value, beech, chestnut, oak and mixed forests of the upper supra-Mediterranean present the highest mean values. With somewhat lower values, the Scots pine forests appear, although those located at higher altitudes and some *Pinus nigra* pine forests can equal the named hardwoods.

By having pixels with a side of 10 m, the contrast between neighbouring non-homogeneous areas is highlighted. This homogeneity, or lack thereof, in each polygon provides differentiated mean values. Since each stratum has different values, the average phase per polygon is highly influenced by the distribution of trees and undergrowth, with more or less open areas. For example, almost all grasslands have a first harmonic phase in January and February, as do lower-altitude scrublands. Figure 2 shows how this proportion affects the values for *Quercus pyrenaica* according to the bioclimatic level. It can be seen that as the proportion of trees increases, the phase decreases and becomes more negative. The differences between levels for the same formation are not usually greater than one month, except for the broad-leaved deciduous trees, which are far exceeded. However, substantial differences can be found between trees, scrublands and grasslands for the same bioclimatic level, so the effect of the mixture of typologies is patent and notorious.

Using 2 harmonics generally allows a better adjustment since, although it is unnecessary because the data fit well to a single clear cycle, the result is similar to using 1. Furthermore, with 2 harmonics, it is possible to reproduce the cycles with a relative annual minimum within the period of activity. Thus, variations such as those reflected in figure 3 for *Quercus pyrenaica*, may fit. It can be seen how the summer minimum decreases as you ascend with the levels. This possibility is fundamentally possible in grasslands and scrublands, with cycles of 2 peaks that are often very marked.

As shown in figure 4, the cartography of bioclimatic levels shows areas of mismatch with the results obtained, which invites us to reconsider it or check its possible change over time.

In summary, different land cover types exhibit distinctive seasonal patterns of NDVI variation that often have strong periodic features associated with different groupings ranging from species to tree cover or spatial distribution. The spatial detail provided by Sentinel 2 allows an unparalleled distinction of species and typologies, which opens the door to cartographies of great spatial and thematic precision. Furthermore, the analysis of the possible variation of the harmonic parameters enables a study of the potential effects of climate change on the vegetation. The use of this type of tool allows very fast, easily reproducible results to be obtained, which is why its management is essential for the rapid advancement of knowledge.

In summary, different land cover types exhibit distinctive seasonal patterns of NDVI variation that often have periodic solid characteristics associated with different groupings, ranging from species to tree cover or spatial distribution. The spatial detail provided by Sentinel 2 allows for an unparalleled distinction of species and typologies, which opens the door to the cartography of great spatial and thematic precision. The analysis of possible variations in harmonic parameters enables a study of the possible effects of climate change on vegetation. This tool allows for speedy and easily reproducible results, making its handling essential for rapidly advancing knowledge.

**Keywords:** Time series, Sentinel 2, harmonic series, Google Earth Engine, vegetation.

**Financiación:** Optimización mediante inteligencia artificial de la identificación espacial de detalle para el seguimiento de sumideros de carbono LULUCF. Referencia externa: TED2021-132357A-I00. Entidad financiadora: Agencia Estatal de Investigación.

De la tendencia a la resiliencia: un caso de estudio en la Sierra del Rincón. Entidad financiadora: Universidad Rey Juan Carlos.

Investigando cómo integrar Sostenibilidad y Competitividad en Paisajes Agroalimentarios Mediterráneos: Agrobiodiversidad, cambio climático y desarrollo local. Referencia: PID2020-117198RB-I00. Entidad financiadora: Ministerio de Ciencia e Innovación Tecnología. Proyectos I+D+i.



# USO DE HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS ESPACIAL PARA MAPEAR Y EXPLICAR EL DESLIZAMIENTO DE MITLATONGO (OAXACA, MÉXICO)

FRANCH PARDO, IVÁN

Universidad Nacional Autónoma de México. Escuela Nacional de Estudios Superiores Morelia.  
[ifranch@enesmorelia.unam.mx](mailto:ifranch@enesmorelia.unam.mx)

VÁZQUEZ CASTRO, GABRIEL

Universidad Nacional Autónoma de México. Escuela Nacional de Estudios Superiores Morelia.  
[gvazquez@enesmorelia.unam.mx](mailto:gvazquez@enesmorelia.unam.mx)

PÉREZ VALLADARES, CLOE XÓCHITL

Universidad Nacional Autónoma de México. Escuela Nacional de Estudios Superiores Morelia.  
[cvalladares@pmip.unam.mx](mailto:cvalladares@pmip.unam.mx)

CRUZ MÁRQUEZ, JOSÉ LUIS

Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental.  
[ps15001196@gmail.com](mailto:ps15001196@gmail.com)

Conforme se sucedían los primeros días septiembre de 2011, los lugareños del valle de Mitlatongo comprobaban, estupefactos, cómo el suelo que habitaron desde tiempos prehispánicos se abría a través de gigantes grietas. Era el preámbulo del fatal deslave que les obligó a abandonar sus tierras.

El Estado de Oaxaca, en concreto la Mixteca Alta, debido a sus condiciones geológicas, geotécnicas, climáticas y antropogénicas, ha sido históricamente propicio a la ocurrencia de procesos de remoción en masa. Fenómenos como terremotos, inundaciones y huracanes, sumados a la situación de alta marginación que presentan muchas de sus localidades, expuestas estas a los desastres naturales, ha causado graves daños a la población.

El objetivo de este trabajo es conocer en profundidad el deslizamiento ocurrido en el valle de Mitlatongo en septiembre de 2011. En primer lugar, analizar las causas que lo provocaron a partir del análisis geomorfológico y geológico del área de estudio, más un trabajo de revisión histórica, bibliográfica, entrevistas a los lugareños y documentación de todos los fenómenos geotécnicos y atmosféricos acontecidos en esas fechas en comparación con los años precedentes. Posteriormente, mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), se lleva a cabo una cartografía del valle, anterior

al evento de remoción en masa, y, por otro lado, un mapa actual de la geología y las geoformas presentes que permiten explicar el paisaje observado.

El valle de Mitlatongo se ubica en el sur de México, en la provincia Sierra Madre del Sur y subprovincia Tierras Altas de Oaxaca; la región se conoce como Mixteca Alta en el centro oeste del estado de Oaxaca. Dicha demarcación responde a criterios étnicos e histórico-territoriales, acordes con las áreas de influencia de los señoríos mixtecos al momento de la Conquista española, en el siglo XVI. A nivel regional, el área se caracteriza por una serie de tierras altas, con elevaciones que van desde el nivel del mar hasta los 2300 m. La zona tiene un clima semiárido templado, con una temperatura media anual que ronda los 19 °C. La precipitación, asociada con los vientos del oeste y las tormentas tropicales, es estacional; la mayor parte de las precipitaciones se presenta durante el verano pero también se distribuye de noviembre a enero.

Por los avances disponibles hasta el momento, desde un punto de vista estructural, en un ambiente geológico sedimentario que se ubica Mitlatongo, el deslizamiento está asociado a dos estructuras regionales que encajan con los bordes este y oeste del deslave. Al este está presente el núcleo del sinclinal de Pueblo Viejo que produce un buzamiento al este de 30° de las calizas superiores. Hacia el oeste, el deslizamiento está delimitado por una falla normal regional denominada Tres Lagunas-Santa Cruz, con buzamiento oeste de 24°. Esta falla, en combinación con planos de estratificación de rocas plegadas y fracturas, producen una cuña con planos de intersección en la zona de deslizamiento con inestabilidad natural hacia el este, y asociada a la pendiente de la topografía hacia el sur. Todo ello provoca el movimiento de material hacia el sur-sureste; entonces, gran parte de la actividad de deslizamientos de tierra está relacionada con la geología de la superficie y los accidentes geográficos susceptibles.

Por otro lado, atendiendo al régimen de precipitaciones, se evidenció lo siguiente: En el registro histórico de la estación más próxima al área de estudio (Santiago Tilantongo), se aprecia una tendencia al incremento de las precipitaciones anuales, que se manifiesta alrededor del año 2010. El promedio de precipitación anual durante el periodo 1981-2010 registra un valor de 659.2 mm, mientras que ese mismo parámetro, considerando el periodo 1983-2017, aumenta a 720.7 mm. Si se considera el valor promedio del periodo 2011-2017 el valor de precipitación anual sube hasta 1004.2. No obstante este último cálculo no cumple con los años de referencia que deberían considerarse para obtener un promedio válido.

De acuerdo con relatos de los pobladores, los primeros indicios de inestabilidad se presentaron a inicios de septiembre, los días 1 y 2, después de varios días de lluvias intensas. En el registro meteorológico se indica que en los 10 días previos a los primeros indicios (del 22 de agosto al 1 de septiembre), las lluvias acumuladas sumaron un total de 129 mm, un valor por arriba del valor de precipitación promedio para todo el mes de agosto (118 mm).

La siguiente fase de este proyecto ha sido la reconstrucción, mediante SIG y con las ortofotografías anteriores al evento (1995), de la geomorfología y los usos del suelo en el valle previo al evento. Esto sirvió como base de comparación de las geoformas del presente derivadas del proceso de remoción en masa acontecido. En 2019 se llevó a cabo el primer vuelo con drones del área de estudio, una lengua deslavada de tres

kilómetros de largo por uno de ancho, y se retomó el mismo ejercicio en 2021. La configuración geológica del área de estudio se ha verificado mediante la descripción de muestras de rocas en el campo con la realización de diversos recorridos sistemático a la vez que volábamos los drones, cubriendo de oeste a este y de norte a sur, y tomando datos estructurales alrededor del deslizamiento. Procesamos los datos en SIG, y mediante fotointerpretación obtuvimos como resultado el mapa geológico y geomorfológico detallado del área del deslizamiento que ha sido utilizado para el análisis del presente trabajo.

A partir de este estudio se pudo comprobar que el deslizamiento ocurrido en septiembre del 2011 en las localidades de Santiago Mitlatongo se caracterizó por ser de tipo traslacional complejo. El evento está asociado a las dos estructuras regionales que encajan con los bordes este y oeste del deslizamiento, como se explicaba en la parte geológica. Como se mencionaba, el factor decisivo que detonó el deslizamiento fueron las intensas y prolongadas lluvias en la región. Todo esto fue corroborado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres y las entrevistas con los lugareños que no contaron sus experiencias de tan traumático episodio, más las consecuencias socio-económicas posteriores que han estado padeciendo hasta el presente.

Respecto la geomorfología de la lengua deslavada se pueden diferenciar cuatro sectores: la parte septentrional, donde se presenta la zona de cabecera y de ruptura, misma que ya estaba presente en la ortofotografía de 1995, lo que induce a pensar que el valle estaba sometido a este proceso de deslizamiento de décadas atrás hasta que en 2011, acuciado por el incremento pluvial, este colapsó. El sector central del deslizamiento es el más prolongado con casi dos de los tres kilómetros de su total. Este, a su vez, se divide en dos partes: la oriental, donde el deslizamiento se desplaza como flujo, y la cara oeste donde se observa escalonadamente la presencia de terrazas y zonas de hundimiento. Esta nueva topografía ha generado la aparición de cuerpos de agua inexistentes antes del evento; también es en esta parte donde se asentaban las viviendas que llegaron a desplazarse más de doscientos metros de donde fueron levantadas originalmente. Por último, la parte meridional del deslave es el sector de acumulación de depósitos.

Investigar deslizamientos como el acontecido en Mitlatongo es crucial para entender la dinámica de vertientes y con ello proteger la salud y el bienestar de la población local. Los deslizamientos pueden generar graves consecuencias para la vida, la economía y la de las comunidades afectadas, tal como pudimos comprobar con las entrevistas a los lugareños. Por lo tanto, es importante comprender las causas y factores que contribuyen a estos la generación de estos eventos para la gestión óptima del territorio y con ello desarrollar medidas de prevención y mitigación. Además, esta investigación contribuye a mejorar la comprensión sobre las geoformas, las características geológicas de la zona y su impacto en la estabilidad del terreno. También puede proporcionar información valiosa sobre la relación entre las precipitaciones y los deslizamientos, lo que es útil para predecir y prevenir futuros eventos.

*Palabras clave:* SIG, drones, remoción en masa, geología, cartografía, Mixteca Alta.

## Using spatial analysis tools to map and explain the Mitlatongo landslide (Oaxaca, Mexico)

As the first days of September 2011 passed by, the locals of the Mitlatongo valley observed, stunned, how the ground they had inhabited since pre-Hispanic times opened up through giant cracks. It was the preamble to the fatal landslide that forced them to abandon their lands.

The State of Oaxaca, specifically the Mixteca Alta, due to its geological, geotechnical, climatic and anthropogenic conditions, has historically been propitious to the occurrence of mass wasting processes. Phenomena such as earthquakes, floods and hurricanes, added to the situation of high marginalization that many of its populations present, exposed to natural disasters, have caused serious damage to the population. 2011 was one of the rainiest years of the last four decades in the State, this being the reason, together with the lithological disposition of the valley, what caused the event in Mitlatongo.

The objective of this work is to know in depth the landslide that occurred in the Mitlatongo valley in September 2011. First, to analyze the causes that caused it from the geomorphological and geological analysis of the study area, plus a historical review work, bibliography, interviews with locals and documentation of all the geotechnical and atmospheric phenomena that occurred on those dates in comparison with previous years. Subsequently, using Geographic Information Systems (GIS), a cartography of the valley is carried out, prior to the mass removal event, and, on the other hand, a current map of the geology and the present landforms that allow explaining the observed landscape.

The Mitlatongo valley is located in southern Mexico, in the Sierra Madre del Sur province and Tierras Altas sub-province of Oaxaca; the region is known as Mixteca Alta in the central west of the state of Oaxaca. Said demarcation responds to ethnic and historical-territorial criteria, in accordance with the areas of influence of the Mixtec dominions at the time of the Spanish Conquest, in the 16th century. Regionally, the area is characterized by a series of highlands, with elevations ranging from sea level to 2,300 m. The area has a temperate semi-arid climate, with an average annual temperature of around 19 °C. Precipitation, associated with westerly winds and tropical storms, is seasonal; Most of the rainfall occurs during the summer but it is also distributed from November to January.

Thanks to the advances available so far, from a structural point of view, in the sedimentary geological environment that Mitlatongo is located, the landslide is associated with two regional structures that fit with the eastern and western edges of the landslide. To the east is the core of the Pueblo Viejo syncline that produces a 30° easterly dip of the upper limestones. To the west, the slide is bounded by a regional normal fault called Tres Lagunas-Santa Cruz, with a west dip of 24°. This fault, in combination with bedding planes of folded rocks and fractures, produce a wedge with intersecting planes in the slip zone with natural instability to the east, and associated with the slope of the topography to the south. All this causes the movement of material towards the south-southeast; So much of the landslide activity is related to the surface geology and susceptible landforms.



On the other hand, considering the rainfall regime, the following was evidenced: In the historical record of the station closest to the study area (Santiago Tilantongo), there is a tendency to increase annual rainfall, which manifests itself around the year 2010. The average annual precipitation during the period 1981-2010 registers a value of 659.2 mm, while that same parameter, considering the period 1983-2017, increases to 720.7 mm. If the average value of the period 2011-2017 is considered, the annual precipitation value rises to 1004.2. However, this last calculation does not comply with the reference years that should be considered to obtain a valid average.

According to the accounts of the residents, the first signs of instability appeared at the beginning of September, on days 1 and 2, after several days of intense rains. The meteorological record indicates that in the 10 days prior to the first indications (from August 22 to September 1), the accumulated rains totaled 129 mm, a value above the average precipitation value for the entire month. August (118 mm).

The next phase of this project has been the reconstruction, through GIS and with orthophotographs prior to the event (1995), of the geomorphology and land use in the valley prior to the event. This served as a basis for comparison of the current geofoms derived from the mass removal process that occurred. In 2019, the first drone flight of the study area was carried out, a washed-out tongue three kilometers long by one wide, and the same exercise was resumed in 2021. The geological configuration of the study area has been verified by means of description of rock samples in the field with the realization of various systematic routes while we flew the drones, covering from west to east and from north to south, and taking structural data around the landslide. We processed the data in GIS, and through photointerpretation we obtained as a result the detailed geological and geomorphological map of the landslide area that has been used for the analysis of this work.

From this study it was possible to verify that the landslide that occurred in September 2011 in the towns of Santiago Mitlatongo was characterized as being of a complex translational type. The event is associated with the two regional structures that fit the eastern and western edges of the landslide, as explained in the geological part. As mentioned, the decisive factor that triggered the landslide was the intense and prolonged rains in the region. All this was corroborated by the National Center for Disaster Prevention and interviews with locals who did not tell their experiences of such a traumatic episode, plus the subsequent socio-economic consequences that they have been suffering up to the present.

With respect to the geomorphology of the washed out tongue, four sectors can be distinguished: the northern part, where the headwaters and rupture zone is found, which was already present in the 1995 orthophotography, which suggests that the valley was subjected to this landslide process of decades ago until in 2011, subjected by the increase in rainfall, it collapsed. The central sector of the landslide is the longest with almost two of the three kilometers of its total. This, in turn, is divided into two parts: the eastern one, where the landslide moves as a flow, and the western face where the presence of terraces and subsidence areas can be observed staggered. This new topography has generated the appearance of bodies of water that did not exist before the event. It is also in this part where the houses that came to be displaced more than two hundred meters from where they were originally built were located. Finally, the southern part of the landslide is the deposit accumulation sector.

Investigating landslides such as the one that occurred in Mitlatongo is crucial to understand the dynamics of slopes and thereby protect the health and well-being of the local population. Landslides can have serious consequences for life, the economy and that of the affected communities, as we were able to verify with the interviews with the locals. Therefore, it is important to understand the causes and factors that contribute to the generation of these events for the optimal management of the territory and thus develop prevention and mitigation measures.

In addition, this research contributes to improve the understanding of the landforms, the geological characteristics of the area and its impact on the stability of the terrain. It can also provide valuable information about the relationship between precipitation and landslides, which is useful for predicting and preventing future events.

**Keywords:** GIS, drones, mass wasting, geology, mapping, Mixteca Alta.

# METODOLOGÍAS DE TELEDETECCIÓN PARA EL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DEL SUELO EN ÁREAS COSTERAS E ISLAS OCEÁNICAS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

TIENGO, RAFAELA<sup>1, 2, 3</sup>  
r.dtiengo@alumnos.upm.es

PALÁCIOS-ORUETA, ALICIA<sup>1, 4</sup>  
alicia.palacios@upm.es

UCHÔA, JÉSSICA<sup>2, 3</sup>  
jessica.g.uchoa@azores.gov.pt

GIL, ARTUR<sup>3</sup>  
artur.jf.gil@uac.pt

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Agroforestal. ETSIAAB (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas), Universidad Politécnica de Madrid, Spain.

<sup>2</sup> cE3c – Centre for Ecology, Evolution and Environmental Changes, Azorean Biodiversity Group, CHANGE – Global Change and Sustainability Institute, Faculty of Sciences and Technology, University of the Azores, 9500-321 Ponta Delgada, Portugal.

<sup>3</sup> Research Institute for Volcanology and Risks Assessment (IVAR), University of the Azores. 9500-321 Ponta Delgada, Portugal.

<sup>4</sup> Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEIGRAM), Universidad Politécnica de Madrid, Paseo de la Senda del Rey, nº 13, 28040 Madrid, Spain.

Las islas oceánicas enfrentan desafíos que obstaculizan su pleno desarrollo, incluyendo la lejanía, la insularidad, el terreno, el clima, la dependencia económica, entre otros. Además, se enfrentan a graves problemas ambientales como la variabilidad y los cambios climáticos, la proliferación de especies invasoras y exóticas, desastres naturales y la sobreexplotación de los recursos naturales. En consecuencia, la planificación espacial y la gestión de la tierra y las costas en las pequeñas islas plantean dificultades científicas y técnicas significativas. Las actividades humanas, los factores socioeconómicos, biofísicos y ambientales afectan los cambios y las conversiones en el uso y la cobertura de la tierra. Estos cambios pueden tener un impacto significativo en la diversidad biótica global, el clima local y global, los ciclos biogeoquímicos, la hidrología, la degradación del suelo, la seguridad alimentaria, la calidad del suelo y el bienestar humano. Además, pueden afectar la

capacidad de los sistemas biológicos para satisfacer las necesidades humanas. Dado el contexto actual del cambio climático y la alta vulnerabilidad de la mayoría de estas regiones a los desastres naturales (e.g., deslizamientos de tierra, erupciones volcánicas y terremotos), es crucial detectar y monitorear de manera oportuna los cambios significativos en el uso y la cobertura de la tierra. Esto ayuda a identificar, reconocer y abordar las causas y los desencadenantes subyacentes a través de políticas y gestión efectiva de la planificación costera y terrestre. Este estudio implica llevar a cabo una revisión sistemática de artículos de acceso abierto publicados entre enero de 2010 y junio de 2022.

La revisión sistemática es un proceso reproducible y objetivo que tiene como objetivo recopilar toda la investigación empírica disponible sobre un tema específico, analizar sus resultados mediante técnicas claramente definidas y sistemáticas, y proporcionar respuestas a la pregunta de investigación planteada. Consiste en recopilar y evaluar todos los trabajos pertinentes sobre el tema y analizar sus conclusiones de forma estructurada y exhaustiva.

Para realizar la búsqueda, se utilizaron nueve combinaciones de palabras clave relevantes y operadores booleanos para escanear los títulos, resúmenes y palabras clave de cada estudio. Las combinaciones de palabras clave utilizadas fueron (1) "land cover change" AND "islands"; (2) "land use change" AND "islands"; (3) "remote sensing" AND "change detection" AND "islands"; (4) "land cover change" AND "remote sensing" AND "islands"; (5) "land use" AND "satellite" AND "islands"; (6) "change detection" AND "satellites" AND "islands"; (7) "land use" AND "remote sensing" AND "islands"; (8) "change detection" AND "coastal" AND "remote sensing"; (9) "land use" AND "coastal" AND "remote sensing". Se excluyeron los artículos de revisión, los artículos de conferencias, los artículos en lenguas distintas al inglés y los artículos de acceso no abierto. Solo se consideraron para la revisión los artículos en inglés y se aplicó un filtro para garantizar que las publicaciones revisadas fueran accesibles y comprensibles para la mayoría de los estudiosos.

Esta revisión se basó en la declaración de *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). El enfoque PRISMA se divide en tres pasos: (1) identificación; (2) selección y (3) inclusión. En el paso 1 (identificación), se identificaron 670 estudios. La búsqueda número 6 obtuvo menos resultados que las demás (15 artículos), y la búsqueda número 9 presentó la mayor cantidad de resultados (285 artículos). La primera fase del proceso PRISMA también incluye la eliminación de artículos duplicados, que representaron 112 del total. En el paso 2 (selección), se excluyeron 391 artículos de los 558 identificados en base a la revisión de los títulos y resúmenes. Se excluyeron (1) artículos de fuentes que no utilizaban la teledetección como enfoque principal de detección de cambios; (2) artículos en los que el área de estudio no se encontraba en islas o zonas costeras, y (3) trabajos cuyo tema no estaba relacionado con el uso del suelo y la cobertura terrestre. El último parámetro representó un gran número de documentos excluidos. Esto ocurrió debido al uso de "islands" como palabra clave, lo que generó resultados relacionados con el tema de "heat islands", que no es el enfoque de este artículo de revisión. En el paso 3 (inclusión), se seleccionaron los artículos restantes para un análisis completo del texto con el fin de extraer información relevante.

De los 167 artículos, se extrajo la siguiente información: (1) año de publicación; (2) revista científica en la que se publicó; (3) ubicación geográfica (país y continente); (4) fuente de datos (por ejemplo, imágenes de satélite, datos históricos, datos *in situ*); (5) tipo de datos (e.g., *multispectral*, *Synthetic Aperture Radar*, *Light Detection and Ranging*, *Unmanned Aerial Vehicle*); (6) sensor utilizado (e.g., Landsat 8, Sentinel-2); (7) enfoque basado en teledetección (e.g., Índices de Vegetación); (8) algoritmo de procesamiento de datos (e.g., *Random Forest*, *Support Vector Machine*); (9) enfoque de evaluación de precisión (e.g., *Kappa Index*); (10) *software* utilizado (e.g., ENVI©, SNAP©); (11) resolución espacial; (12) resolución temporal.

Los resultados revelaron que los años 2020 y 2021 mostraron el mayor número de estudios publicados, con 33 para cada año (20 %), lo que representa el 40 % de los artículos en solo dos de los 12 años analizados. El aumento en las publicaciones puede atribuirse a varios factores, incluidos los avances en la tecnología informática. La extracción de estadísticas relacionadas con publicaciones en revistas puede proporcionar información valiosa sobre la calidad e impacto de la investigación que se publica en una revista específica.

La revista "*Remote Sensing*" publicó la mayoría de las publicaciones sobre estos temas seleccionados (26 %). Puede haber varios factores que contribuyan a esto, como un fuerte énfasis en el tema de teledetección, un alto rango de la revista y el factor de impacto, y una notable visibilidad en múltiples bases de datos, entre otros factores.

El continente con más estudios de caso fue Asia (48 %), siendo China el país más productivo (23 %). China cuenta con una vasta área marítima con más de 6.000 islas y una costa que se extiende aproximadamente 32.000 km. Además, con una población de alrededor de 1,4 mil millones de personas, China tiene un gran número potencial de investigadores y sujetos de investigación.

El análisis de series temporales de percepción remota implica la utilización de técnicas y metodologías para extraer datos sobre características del paisaje caracterizadas por cambios espectrales y temporales. El rango de tiempo más analizado fue superior a 20 años (37 %). Es importante mencionar el impacto significativo que ha tenido la misión Landsat. El programa Landsat ha estado recolectando datos de observación de la Tierra desde 1972, convirtiéndose en el registro global continuo más largo de la superficie terrestre. Evaluar y comparar la eficacia y confiabilidad de los estudios de teledetección centrados en los cambios en el uso y la cobertura de la tierra en las regiones costeras e islas oceánicas requiere identificar y reportar la disponibilidad de las fuentes de datos utilizadas.

La imagen satelital fue la fuente de datos más utilizada (77 %), seguida de datos históricos relevantes (e.g., mapas de cobertura terrestre). La imagen satelital ofrece la ventaja de proporcionar información sobre áreas remotas, como las islas oceánicas, que pueden ser inaccesibles debido a las condiciones ambientales, o áreas que son temporalmente inaccesibles debido a peligros naturales (e.g., erupciones volcánicas, terremotos, deslizamientos de tierra). Es esencial considerar la relevancia de las fuentes de datos históricos, como los mapas de cobertura terrestre, ya que ofrecen una base sólida para comprender los cambios en el uso y la cobertura de la tierra a lo largo del tiempo.

El tipo de datos utilizado es un parámetro crucial en el análisis de teledetección ya que diferentes tipos de datos poseen atributos distintos que pueden influir en los hallazgos y conclusiones de la investigación. Los datos multiespectrales se utilizaron en el 77 % de los estudios. Los datos multiespectrales son capaces de registrar información sobre la reflectancia de diferentes longitudes de onda de la luz, lo que puede ser utilizado para reconocer y categorizar diferentes tipos de cobertura terrestre. Los tres sensores más utilizados para la detección de cambios en el uso y cobertura de la tierra pertenecían a la Misión Landsat (Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8, respectivamente).

El análisis de los enfoques basados en teledetección en las publicaciones evaluadas revela un conjunto diverso de enfoques metodológicos empleados (225 en total). El *Normalized Difference Vegetation Index* fue el enfoque basado en teledetección más utilizado (10 %).

Los algoritmos de teledetección ofrecen un medio para automatizar el procesamiento y análisis de los datos de teledetección, permitiendo a los investigadores recopilar información de manera rápida y precisa sobre la superficie terrestre. Sin algoritmos, el procesamiento y análisis de los datos de teledetección serían una tarea que requiere mucho tiempo, con la posibilidad de perder información crítica. El *Maximum Likelihood Classifier Algorithm* fue el algoritmo de procesamiento de datos más utilizado (10 %).

La teledetección es un método crucial para rastrear las alteraciones en el uso y cobertura del suelo con el tiempo. Sin embargo, para determinar si los cambios documentados son genuinos o simplemente errores de clasificación, es necesario evaluar la precisión del método de clasificación. El *Overall Accuracy* es el enfoque de evaluación de precisión más utilizado en 85 artículos (51 %).

En resumen, identificar el *software* de procesamiento de datos utilizado en los estudios de teledetección es crucial para poner los resultados en perspectiva, garantizar la reproducibilidad del enfoque de investigación y detectar posibles sesgos o limitaciones en el análisis. El *software* más popular utilizado fue ArcGIS®, mencionado en el 30 % de los artículos.

La resolución espacial desempeña un papel crucial en el análisis de teledetección, ya que determina la cantidad de detalle que se puede extraer de una imagen. Muchos artículos utilizaron una resolución espacial de 30 metros (69 %), y las resoluciones más altas completaron las cinco principales.

La frecuente adquisición de imágenes permite detectar cambios y tendencias a corto plazo que podrían ser omitidos con una menor resolución temporal. En cuanto a la resolución temporal, la mayoría de los estudios empleó un período de 16 días (54 %), y los cinco enfoques principales usaron un tiempo menor a 16 días.

Los trabajos analizados revelaron limitaciones, incluyendo la falta de información sobre las resoluciones espaciales (19 %) y temporales (27 %) y el porcentaje de cobertura de nubes de los datos de teledetección. Además, la mayoría de los trabajos no especificó las técnicas de preprocesamiento de datos de teledetección utilizadas, como las correcciones atmosféricas (75 %). Estos factores tienen un impacto directo en la precisión y fiabilidad de los resultados, y son cruciales para el uso e interpre-

tación óptimos de los datos de teledetección, especialmente en el contexto insular donde las condiciones ambientales pueden ser altamente diversas y los cambios en el uso y cobertura del suelo pueden ocurrir rápidamente. Sin esta información, la utilidad y fiabilidad del análisis subsiguiente pueden estar significativamente restringidas o sesgadas. Además, la falta de reporte del porcentaje de cobertura de nubes puede dificultar la evaluación de su impacto en los resultados. Informar esta información promueve la transparencia, permitiendo que otros investigadores reproduzcan el análisis, evalúen la calidad de los datos y comparen los resultados con otros estudios.

La revisión de la literatura realizada en esta investigación ha profundizado la comprensión de las complejas metodologías de teledetección utilizadas para identificar alteraciones en el uso y cobertura del suelo en áreas costeras e insulares. Los hallazgos de este análisis son significativos y pueden tener valiosas implicaciones para futuros estudios en esta área. Destacan las prácticas predominantes y las brechas de información en estos procedimientos, lo que permite el desarrollo de nuevas técnicas, como marcos metodológicos que utilizan datos de múltiples sensores y técnicas de procesamiento de datos basadas en aprendizaje automático para mejorar la precisión y confiabilidad de la detección de cambios en el uso y cobertura del suelo. El empleo de tales metodologías avanzadas puede proporcionar información más precisa, actualizada y detallada sobre los cambios en el uso y cobertura del suelo, que son cruciales para facilitar la toma de decisiones y el desarrollo de políticas rentables.

*Palabras clave:* Cobertura terrestre, uso del suelo, detección de cambios, islas oceánicas, zonas costeras, cambio climático, riesgos naturales.

## Remote sensing methodologies for land cover and land use change in coastal areas and oceanic islands: a systematic review

Oceanic islands face challenges that hinder their full development, including remoteness, insularity, terrain, climate, economic dependence, and more. Furthermore, they face severe environmental problems such as climate variability and changes, the proliferation of invasive, exotic species, natural disasters, and overexploitation of natural resources. Consequently, spatial planning and management of land and coasts on small islands pose more significant scientific and technical difficulties. Human activities, socioeconomic, biophysical, and environmental factors affect land use and land cover changes and conversions. These changes can have a significant impact on global biotic diversity, local and global climate, biogeochemical cycles, hydrology, soil degradation, food security, soil quality, and human well-being. Additionally, they can affect the ability of biological systems to sustain human needs. Given the current context of climate change and the high vulnerability of most of these regions to natural disasters (e.g., landslides, volcanic eruptions, and earthquakes) it is crucial to

promptly detect and monitor significant land use and land cover changes. This aids in identifying, recognizing, and addressing their underlying causes and triggers through effective coastal and land planning policies and management.

This study involves conducting a systematic review of open-access articles published between January 2010 and June 2022. A systematic review is a reproducible and objective process that aims to gather all accessible empirical research on a specific research topic, analyze their findings using clearly defined and systematic techniques, and provide answers to the research question at hand. It involves collecting and assessing all relevant papers on the subject and analyzing their findings in a structured and thorough manner.

To conduct the search, nine combinations of relevant keywords and Boolean operators were used to scan the titles, abstracts, and keywords of each study. The keywords combinations used were (1) "land cover change" AND "islands"; (2) "land use change" AND "islands"; (3) "remote sensing" AND "change detection" AND "islands"; (4) "land cover change" AND "remote sensing" AND "islands"; (5) "land use" AND "satellite" AND "islands"; (6) "change detection" AND "satellites" AND "islands"; (7) "land use" AND "remote sensing" AND "islands"; (8) "change detection" AND "coastal" AND "remote sensing"; (9) "land use" AND "coastal" AND "remote sensing". Review papers, conference papers, non-English language articles, and non-open-access articles were excluded. Only articles were considered for the review, and an English language filter was applied to ensure that the reviewed publications were accessible and understandable to most scholars.

This review was based on the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses (PRISMA) declaration as a guideline. The PRISMA approach is separated into three steps: (1) identification; (2) screening, and (3) inclusion. In step 1 (identification), 670 studies were identified. The search obtained different results from each keyword combination. Search number 6 got fewer results than the others (15 papers), and search number 9 presented the most results (285 articles). The first phase of the PRISMA process also includes removing duplicate research, which accounted for 112 of the totals. In step 2 (screening), 391 papers from 558 were excluded based on the title and abstract review. It excluded (1) articles from non-remote sensing sources that did not use change detection methods as the primary approach; (2) articles in which the study area was not on islands or coastal areas, and (3) papers whose subject was not land use and land cover related. The last parameter represents a large number of excluded papers. It occurred due to the use of "islands" as a keyword because of the results generated with "heat islands" subject papers, which is not the focus of this review paper. In step 3 (inclusion), the remaining articles were selected for full-text analysis to extract relevant information.

From 167 articles, the following information was extracted: (1) year of publication; (2) journal; (3) geographic location (country and continent); (4) data source (e.g., satellite imagery, historical data, *in situ* data); (5) data type (e.g., multispectral, Synthetic Aperture Radar, Light Detection and Ranging, Unmanned Aerial Vehicle); (6) sensor (e.g., Landsat 8, Sentinel-2, Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer); (7) Remote sensing-based approach (e.g., Vegetation Indices); (8) Data Processing Algorithm (e.g., Random Forest, Support Vector Machine); (9) Accuracy Assessment Approach (e.g., Kappa Index); (10) software (e.g., ENVI®, SNAP®); (11) spatial resolution; (12) temporal resolution. Analyzing the number of yearly scientific articles



might indicate trends and patterns. It can assist in identifying whether a particular topic of study is growing or declining in popularity.

The results revealed that the years 2020 and 2021 showed the highest number of studies published, namely 33 for each year (20%) representing 40% of the papers in only two of the 12 years analyzed. The increase in publications can be attributed to various factors, including advancements in computing technology. The extraction of statistics related to journal publications can yield valuable information on the quality and impact of research being published in a specific journal.

The "Remote Sensing" Journal published most publications on these selected topics (26%). There may have been several contributing factors to this, including a strong emphasis on the remote sensing topic, a high journal rank, and Impact Factor, and notable visibility in multiple databases, among other factors.

The continent with more case studies was Asia (48%), with China being the more productive country in this field (23%). China has a vast sea area with over 6,000 islands and a coastline stretching approximately 32,000 km. Additionally, with a population of around 1.4 billion people, China has a substantial pool of potential researchers and research subjects.

Remote sensing time series analysis involves utilizing techniques and methodologies to extract data on landscape features characterized by spectral and temporal changes. The most analyzed time range was superior to 20 years (37% of the studies). It's important to mention the significant impact that the Landsat mission. The Landsat program has been gathering Earth Observation data since 1972, making it the most extended continuous global record of the Earth's surface. Assessing and comparing the efficacy and dependability of remote sensing studies focused on land use and land cover changes in coastal regions and oceanic islands necessitates identifying and reporting on the availability of data sources used.

Satellite imagery was the most applied data source (77%), followed by relevant historical data (e.g., land cover maps). Satellite imagery offers the advantage of providing information on remote areas (e.g., oceanic islands) that may be inaccessible due to environmental conditions, or areas that are temporarily inaccessible due to natural hazards (e.g., volcanic eruptions, earthquakes, landslides). It's essential to consider the relevance of historical data sources, such as land cover maps, as they offer a solid foundation for understanding land use and land cover changes over time.

The type of data used is a crucial parameter in RS analysis as different data types possess distinct attributes that can influence the research's findings and conclusions. The multispectral data was used in 77% of the studies. Multispectral data is capable of recording information regarding the reflectance of distinct wavelengths of light, which can be utilized to recognize and categorize various land cover types. The assessment of sensors used in the examined literature reveals a diverse spectrum of instruments and missions. The three most used sensors for land use and land cover change detection were from the Landsat Mission (Landsat 5, Landsat 8, and Landsat 8, respectively).

The remote sensing-based approach analysis in the evaluated publications reveals a diverse set of methodological approaches employed (225 in total). The Normalized Difference Vegetation Index was the most applied remote sensing-based approach (10%).

Remote sensing algorithms offer a means of automating the processing and analysis of remote sensing data, enabling researchers to gather information quickly and precisely about the Earth's surface, including land use and land cover patterns, water quality, vegetation health, and other factors. Without algorithms, the processing and analysis of remote sensing data would be a time-intensive undertaking, with the possibility of missing critical information. The Maximum Likelihood Classifier Algorithm was the most widely used data processing algorithm (10%).

Remote sensing is a crucial method for tracking alterations in land use and land cover over time. However, to determine whether the documented changes are genuine or simply classification errors, the classification method's accuracy must be evaluated. The Overall Accuracy is the most applied accuracy assessment approach used in 85 papers (51%).

In summary, identifying the data processing software employed in remote sensing studies is crucial for putting the results into perspective, ensuring the research approach's reproducibility, and detecting any possible biases or limitations in the analysis. The most popular software used was ArcGIS®, mentioned in 30% of the papers.

Spatial resolution is a crucial role in remote sensing analysis since it determines the amount of detail that can be extracted from an image. Spatial resolution refers to a satellite's measurement of an object, which occurs over a geographical area on the ground and pertains to the size of each pixel in the image or the ground area that each pixel represents. Many articles used a 30-meter spatial resolution (69%), and higher resolutions completed the top 5 approaches.

Temporal resolution is an essential factor in remote sensing analysis because it determines the frequency at which images of a particular area are captured. The temporal resolution of a remote sensing system refers to the time interval between successive image acquisitions of the same area. Temporal resolution is critical for monitoring changes in land use and land cover, vegetation growth, or natural disasters. Frequent imaging detects short-term changes and trends that may be missed with a lower temporal resolution. Regarding temporal resolution, most studies used a 16-day span (54%), and the top 5 used less than a 16-day time.

The papers analyzed revealed primary limitations, including the absence of information regarding spatial (19%) and temporal (27%) resolutions and cloud coverage percentage of the remote sensing data. Furthermore, the majority of papers did not specify the remote sensing data preprocessing techniques utilized, such as atmospheric corrections (75%). These factors directly impact the accuracy and reliability of the outcomes, and they are crucial for the optimal use and interpretation of remote sensing data, especially in the insular context where environmental conditions can be highly diverse and land use and land cover changes can happen quickly. Without this information, the subsequent analysis's usefulness and reliability may be significantly restricted or biased. Furthermore, failing to report the cloud coverage percentage can make it difficult to assess its impact on the findings. Reporting this information promotes transparency, enabling other researchers to reproduce the analysis, assess data quality, and compare results with other studies.

The examination of the literature conducted in this review has deepened the comprehension of the complex remote sensing methodologies employed to identify land use and land cover alterations in coastal and insular areas. The findings of this

analysis are significant and may have valuable implications for future studies in this area. They highlight the prevailing practices and gaps in information in these procedures, enabling the development of novel techniques, such as methodological frameworks utilizing multi-sensor data (e.g., Synthetic Aperture Radar, Light Detection and Ranging, Unmanned Aerial Vehicle), and data processing techniques based on machine learning to enhance the accuracy and reliability of land use and land cover change detection. The employment of such advanced methodologies can provide more precise, up-to-date, and detailed insights into land use and land cover changes, which are crucial for facilitating cost-effective decision-making and policy development.

**Keywords:** Land cover, land use, change detection, oceanic islands, coastal zones, climate change, natural hazards.

**Funding:** Rafaela Tiengo's Ph.D project is developed under the EU-funded Ma-CoBioS Horizon 2020 research and innovation programme (grant agreement contract # 869710).



### 3. LAS TIG PARA AYUDA A LAS DECISIONES ESPACIALES





# CARACTERIZACIÓN DE LOS FOCOS DE RESIDUOS ILEGALES EN EXTREMADURA

ALFONSO-TORREÑO, ALBERTO

Departamento de Didáctica de las Ciencias Sociales, Lengua y Literatura, Facultad de Educación,  
Universidad de Extremadura, Badajoz, España, [albertoalfonso@unex.es](mailto:albertoalfonso@unex.es)

GUTIÉRREZ GALLEGO, JOSÉ ANTONIO

Departamento de Expresión Gráfica, Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura, Cáceres,  
España, [jagutier@unex.es](mailto:jagutier@unex.es)

La ineficaz gestión de residuos representa una amenaza en todo el mundo. La presencia de vertederos descontrolados provoca diversos impactos ambientales como el deterioro de los paisajes, el aumento de la contaminación del aire y la contaminación de acuíferos. Uno de los residuos que mayor impacto paisajístico genera son los focos de vertidos sólidos e inertes, en particular, los residuos de construcción y demolición (RCD). Las principales razones que favorecen el vertido ilegal de RCD incluyen la escasez de instalaciones de tratamiento de residuos, las largas distancias y las altas tarifas para transportar los residuos hasta los puntos de vertido autorizados. Además, el desconocimiento en las consecuencias legales de no transportar los residuos a instalaciones habilitadas para su reciclado y la falta de conciencia pública también contribuye a la aparición de este fenómeno.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), a través de herramientas geoestadísticas de cartografiado y modelado de fenómenos ambientales, pueden ser de utilidad para identificar vertederos ilegales de RCD. Este tipo de herramientas permiten demostrar que los vertederos ilegales no se distribuyen aleatoriamente y que presentan un determinado patrón espacial. La localización exacta de escombreras de RCD suele ser una tarea difícil, principalmente en el medio rural, debido al gran tamaño de las áreas a georreferenciar y a la escasez de recursos humanos y financieros por parte de los organismos medioambientales.

Este es precisamente el caso de Extremadura (España), región en la que se han desarrollado diferentes políticas para la prevención y gestión de este problema en los últimos años. A pesar de estos esfuerzos, se desconoce la cifra real de vertederos ilegales en esta comunidad autónoma. El presente estudio consiste en analizar el comportamiento espacial de los residuos ilegales de RCD localizados en Extremadura y caracterizar la dimensión de los mismos.

Se estudia la probabilidad de presencia de RCD a partir de variables topográficas, de accesibilidad y de tipos de usos del suelo obtenidas mediante fuentes cartográficas del Instituto Geográfico Nacional. Se identificaron 244 residuos sólidos mediante una base de datos proporcionada por el SEPRONA y por la Asociación para la Defensa de la Naturaleza y los Recursos de Extremadura (ADENEX). La identificación de las zonas de residuos se llevó a cabo a través de las imágenes del plan nacional de ortofotografías del Instituto Geográfico Nacional para el año 2019.

Los RCD analizados se encuentran principalmente en la provincia de Badajoz. Concretamente, en la provincia pacense se han analizado 191 zonas de residuos, frente a las 53 zonas de Cáceres. El 80 % de los residuos localizados tienen menos de 100 metros cuadrados, por tanto, se desaconseja el uso de imágenes espaciales con una resolución inferior a los 25 centímetros.

De acuerdo con el análisis cartográfico desarrollado, los siguientes resultados determinan áreas con riesgo elevado de residuos sólidos:

El 75 % de los residuos se localizan a menos de 500 m de un núcleo urbano, por tanto, la proximidad a los núcleos urbanos es muy relevante.

La localización de RCD con respecto a la red hidrográfica no es especialmente determinante.

La mayoría de los residuos ilegales se sitúan a menos de 500 m de las vías de comunicación, principalmente de caminos rurales con fácil acceso y poco transitados.

Las zonas agrícolas heterogéneas y las tierras de labor concentran más del 60 % de los RCD analizados.

El 80 % de las ubicaciones con residuos se encuentran por debajo de los 350 msnm, cotas pertenecientes a las zonas de las Vegas del Guadiana. Esta comarca presenta una gran actividad agroindustrial.

Desde un punto de vista geomorfológico, los vertederos ilegales se localizan principalmente sobre topografías onduladas y terrenos planos que faciliten su acceso. Las zonas culminantes o cumbres no son áreas propensas a acumular residuos por ser ubicaciones de mayor visibilidad.

La aplicación de esta metodología basada en la identificación potencial de residuos ilegales a partir de elementos geográficos ha brindado resultados satisfactorios a nivel regional, convirtiendo a los SIG en una excelente herramienta para el estudio del comportamiento espacial de los residuos ilegales.

*Palabras clave:* Vertidos ilegales, RCD, Sistemas de Información Geográfica, comportamiento espacial, Extremadura.



## Characterization of illegal waste sources in Extremadura

Ineffective waste management represents a worldwide threat. The presence of uncontrolled landfills causes various environmental impacts such as the deterioration of landscapes, the increase in air pollution and the contamination of aquifers. One of the residues that generates the greatest landscape impact are solid and inert waste, in particular, construction and demolition waste (CDW). The main reasons for illegal CDW include the scarcity of waste treatment facilities, long distances, and high fees to transport waste to authorized landfills. In addition, ignorance of the legal consequences of not transporting waste to recycling points and lack of public awareness are also causes of the appearance of this phenomenon.

Geographic Information Systems (GIS), through geostatistical tools for mapping and modeling environmental phenomena, can be useful to identify illegal CDW landfills. These types of tools make it possible to demonstrate that illegal dumps are not randomly distributed. The exact location of CDW landfills is usually a difficult task, mainly in rural areas, due to the large size of the areas to be georeferenced and the scarcity of human and financial resources of environmental agencies.

This is the case of Extremadura (Spain), a region in which different policies have been developed for the prevention and management of this problem in recent years. Despite these efforts, the number of illegal dumps in this autonomous community is unknown. The main aim of this study is to analyze the spatial behavior of illegal C&D waste located in Extremadura and to characterize the dimension of the illegal waste.

The probability of presence of C&D waste was studied using topographic and accessibility variables and types of land use obtained by means of cartographic sources of the National Geographic Institute. A total of 244 solid dumping sites residues were identified through a database provided by the Nature Protection Service of the Civil Guard (SEPRONA) and the Association for the Defense of Nature and the Resources of Extremadura (ADENEX). The identification of the waste areas was carried out through orthophotographs of the National Geographic Institute for the year 2019.

The CDW dumping analyzed were found mainly in the province of Badajoz. Specifically, in the province of Badajoz, 191 waste areas were analyzed, compared to the 53 areas of Cáceres. 80% of the waste located was less than 100 square meters, therefore, the use of spatial images with a resolution of less than 25 centimeters is not recommended. According to the cartographic analysis developed, the following results highlight areas with a high risk of illegal dumping by CDW:

75% of the illegal dumping was located less than 500 m from an urban center, therefore, proximity to urban centers was very relevant.

The location of CDW residues with respect to the hydrographic network was not particularly decisive.

Most of the illegal waste was located less than 500 m from communication routes, mainly rural roads with easy access and little traffic.

Heterogeneous agricultural areas and arable lands concentrated more than 60% of the CDW analyzed.

80% of the locations with waste were below 350 meters above sea level, levels belonging to the areas of Las Vegas del Guadiana. This area is characterized by a great agro-industrial activity.

From a geomorphological viewpoint, illegal dumping was located mainly on undulating topographies and flat surface. The summits are locations with a high visibility and were not areas prone to accumulate waste.

The application of this methodology based on the potential identification of illegal waste from geographic elements has provided satisfactory results at the regional level, making GIS an excellent tool for studying the spatial behavior of illegal dumping.

**Keywords:** Illegal dumping, CDW, Geographic Information Systems, spatial behavior, Extremadura.

**Acknowledgement:** Authors are grateful to the Junta de Extremadura for funding the project "Teledetección y análisis ambiental de vertederos ilegales" (IB20050/2021-2024). We also want to thank the SEPRONA of the Civil Guard for their collaboration in providing us the data for the research.

# VALIDACIÓN DE DATOS METEOROLÓGICOS EN DIFERENTES ESCENARIOS PARA INTERPOLACIÓN GEOESPACIAL MEDIANTE KRIGING

ALONSO PASCUAL, LETICIA

Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Extremadura.  
Av. de las Letras, s/n, 10003, Cáceres, España  
[lealonsop@alumnos.unex.es](mailto:lealonsop@alumnos.unex.es)

POLO GARCÍA, MARÍA EUGENIA

Centro Universitario de Mérida. Universidad de Extremadura.  
Santa Teresa de Jornet, 38, 06800, Mérida, España  
[mepolo@unex.es](mailto:mepolo@unex.es)

En la última década se ha observado un interés sin precedentes, tanto científico como social, por el aumento de temperaturas que de forma global se está registrando en la Tierra. La elaboración de mapas de temperatura detallados es la base para desarrollar cualquier tipo de proyectos en el que se requiera conocer esta magnitud (Cifuentes *et al.*, 2020). La representación de estos mapas necesita de un estudio previo sobre las variaciones geográficas de temperatura que existen en un lugar concreto. Estas variaciones son más fácilmente representadas en zonas de estudio regionales, en las que la escala no permite entrar en grandes detalles (Varentsov *et al.*, 2020). Determinar de manera local los efectos que este aumento de temperaturas puede tener sobre el medio ambiente y sus posibles consecuencias sobre la humanidad es una prioridad, especialmente en países donde el incremento de las temperaturas tiene efectos más adversos, como es el caso de España. Sin embargo, en escalas locales los datos suelen ser insuficientes y, si no están debidamente distribuidos, pueden llegar a ser poco representativos.

Por otro lado, el obtener datos meteorológicos con series largas y completas no es fácil. Por ello, se hace necesario acudir a técnicas de interpolación con el fin de conocer los valores de los datos en cada uno de los puntos de la superficie estudiada. En concreto, en este trabajo se ha escogido el kriging con regresión por permitir combinar los datos de temperatura con variables auxiliares de las que es dependiente (Hengl *et al.*, 2007). Además, la interpolación geoestadística con kriging, proporciona mapas de temperatura más realistas y físicamente más adecuados que otros métodos de interpolación considerados (Varentsov *et al.*, 2020). Como datos de entradas en los

modelos geoestadísticos se han tomado las temperaturas medias, de las máximas y mínimas, en España correspondientes a dos décadas distanciadas 10 años. La primera transcurre desde 1991 hasta 2000 y la segunda desde 2011 hasta 2020. Estos dos periodos de tiempo han sido seleccionados por ser las décadas que marcan el comienzo y el final de la actual normal climatológica estándar (1991-2020). Además, como predictor se ha utilizado la altitud a la que se encuentran cada una de las estaciones meteorológicas.

Los datos de temperatura han sido obtenidos de las diferentes estaciones meteorológicas (automáticas, termométricas o completas) gestionados y publicados de forma diaria por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Se han analizado un total de 291 estaciones, de las cuales han sido finalmente utilizadas 254. El descarte de estas 37 estaciones se ha debido a la inexistencia de datos en el periodo de estudio, a estar fuera de los límites de la zona de aplicación o a estar geográficamente solapadas con otras que contiene un mayor número de datos. De forma definitiva se han empleado, como datos de entrada para la interpolación de la primera década estudiada, un total de 163 estaciones para la España peninsular, 14 para las islas Canarias y 9 para las islas Baleares. En el caso de la segunda década, los datos de entrada han sido mayores: 225 estaciones para la península, 19 para las islas Canarias y 10 para las islas Baleares. Para cada estación se ha calculado su temperatura media máxima y mínima en cada uno de los dos periodos de 10 años. Esto ha permitido crear cuatro modelos de estimación de la temperatura: dos de ellos reflejan las temperaturas máximas en cada una de las dos décadas y los otros dos representan las temperaturas mínimas.

Por otra parte, la falta de heterogeneidad de datos entre las dos décadas estudiadas ha requerido ajustar el número de datos de entrada en los modelos con el fin de comparar los cuatro conjuntos de datos de la forma más equitativa posible. De esta forma, la disponibilidad de un mayor número de datos en el segundo periodo de estudio no supone una ventaja en la interpolación si lo que se pretende es observar la evolución de las temperaturas entre las dos décadas. Esto es porque la comparativa debe realizarse en las mismas condiciones, o lo que es lo mismo, con los mismos datos de entrada. De esta forma, ha sido necesario excluir los datos de 68 estaciones (que suponen un 30,22 % del total de estaciones seleccionadas inicialmente) con el fin de homogeneizar los datos de entrada para los dos periodos de tiempo. Este hecho ha dado lugar a diferentes combinaciones espaciotemporales de los datos de entrada que han originado seis escenarios de interpolación. Así se pretende observar la influencia que los datos de partida pueden tener en el resultado final. Los escenarios 1 y 2 incluyen solo los datos de temperatura disponibles para el mismo periodo en las dos décadas analizadas. La diferencia entre ellos es que el escenario 1 incluye toda la zona de estudio y el 2 solo el territorio peninsular. Los escenarios 3 y 4 consideran todos los datos disponibles de AEMET, es decir, incluyen aquellos de la segunda década de estudio que han sido descartados por no disponer de valores para el mismo periodo en la primera década. Ambos escenarios difieren en que el número 3 incluye toda la zona de estudio y el 4 solo la parte peninsular. Los escenarios 5 y 6 consideran solo las zonas insulares, los archipiélagos Canario y Balear. En este caso, la diferencia entre ambos radica en que el 5 incluye los datos de temperatura disponibles para el mismo periodo en las dos décadas analizadas y el 6 solo incluye los datos descartados en la

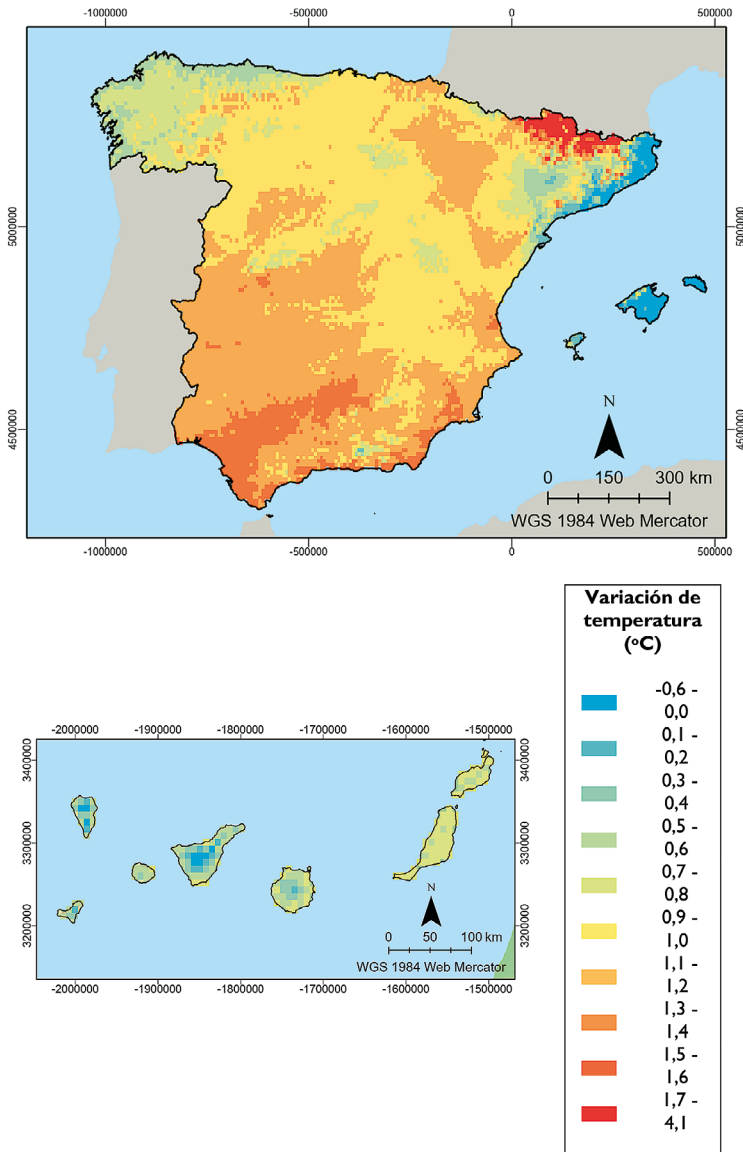
segunda época de estudio. Por otra parte, para comprobar el error de los 24 modelos resultantes, se han utilizado dos técnicas. Por un lado, la validación cruzada y, por otro, el cálculo del RMSE. Mientras que la primera se realiza con los propios datos de entrada en el modelo (control interno), la segunda se calcula con datos que no han llegado a ser introducidos en el modelo (control externo).

Los resultados obtenidos se analizan desde una doble perspectiva, por un lado, la cantidad y distribución de los datos de entrada y, por otro, la interpretación de los modelos resultantes. Respecto al primer caso, se ha observado que más del 90 % de las estaciones están ubicadas en cotas inferiores a los 1000 m. A partir de esta altitud el número desciende exponencialmente, de forma que por encima de los 2000 m tan solo existe una estación. Por otro lado, analizando el porcentaje de datos disponibles para cada una de las dos décadas de estudio y para cada conjunto de datos (temperaturas máximas o mínimas), se ha observado que en el periodo 1991-2000 existe prácticamente el mismo número de estaciones que contienen menos del 20 % de los datos y el número de estaciones que comprende más del 80 % de los datos para todo el periodo. En concreto son 112 frente a 114 en el caso de temperaturas medias máximas y de 113 frente a 114 en el caso de las medias mínimas. Por el contrario, en 2011-2020, 226 de las 291 estaciones (es decir, el 77,66 % de las estaciones), contienen más del 80 % de los datos en este periodo. Tan solo 24 estaciones (el 8,25 % de las estaciones) contienen menos del 20 % de los datos. Estos datos evidencian que la variabilidad entre la disponibilidad de datos de máximas y mínimas es casi nula dentro de cada década. Sin embargo, existe una alta variabilidad entre los datos disponibles para la primera década y los disponibles para la segunda.

Centrando el análisis del error en los modelos resultantes, se hace una distinción entre aquellos que engloban el territorio español (escenarios 1, 2, 3, y 4) y aquellos que solo interpolan la superficie de los dos archipiélagos (escenarios 5 y 6). El hecho de que se hayan obtenido errores menores para el escenario 1 que para el 2 y para el escenario 3 que para el 4, indica que se consiguen mejores resultados teniendo en cuenta todo el conjunto de datos del territorio español. Es decir, la presencia de datos insulares no influye negativamente en las estimaciones peninsulares. Por otro lado, se han obtenido errores similares en los escenarios 1 y 3, por un lado, y en los escenarios 2 y 4, por otro lado. Esto indica que la presencia de un mayor número de datos no resulta en una mejora en las estimaciones. Analizando los escenarios 5 y 6, se han encontrado diferencias notables entre los datos relativos a Canarias y a los de Baleares. De forma general, Canarias muestra los errores más bajos. Este hecho indica que existe una distribución de estaciones lo suficientemente amplia en el territorio Canario como para abarcar, tanto longitudinalmente como altitudinalmente, todo el conjunto de datos y que, además, existe una relación entre la altitud y la temperatura. Sin embargo, en el caso de Baleares se ha encontrado una clara diferencia entre los modelos de temperaturas máximas, que contienen errores muy bajos, y los de mínimas, que los contienen muy altos. Posiblemente este hecho se debe a la influencia que la sierra de Tramontana tiene sobre todo el territorio, pues es una escasa franja territorial donde las temperaturas disminuyen en relación con el resto del archipiélago. En lo que respecta a la variación entre las temperaturas medias de las dos décadas estudiadas, se han observado diferentes comportamientos según

se trate de las temperaturas máximas o de las mínimas. Aun así, se ha detectado un punto en común: las zonas de mayor altitud son las más afectadas por las variaciones termométricas (Figura 1, con igual resolución para la España peninsular e islas). La variación de temperaturas máximas presenta una relación más directa con la altitud que la de las mínimas. Este hecho cobra sentido si se tiene en cuenta que los errores en las interpolaciones de las máximas son menores.

*Figura 1. Incremento de temperaturas medias máximas en la década de 2011-2020 con respecto a la década de 1991-2000.*



Como conclusiones más relevantes extraídas de este estudio, se determina que los registros de temperatura disponibles en la red de estaciones de AEMET presentan un alto grado de heterogeneidad en la distribución temporal, presentando la segunda década analizada, aproximadamente, un 30 % más de datos que la primera. Esta diferencia temporal está principalmente justificada por el aumento y las mejoras en las estaciones automáticas de la red de AEMET llevadas a cabo a mediados de la primera década del presente siglo hasta la actualidad. En concreto, la automatización que las estaciones ha disminuido la pérdida de datos al quedar registrados de forma automática. Además, debido precisamente a su falta de homogeneidad es necesario establecer criterios de homogeneización y agrupamiento de datos que permitan comparar, en igualdad de condiciones, las variaciones de temperatura entre las dos décadas estudiadas. Por otro lado, el uso de un mayor número de datos de entrada en los modelos que representan las temperaturas medias máximas no ha conllevado una mayor precisión en los valores predichos. Sin embargo, los modelos en los que se representan las temperaturas medias máximas han mostrado, de forma general, errores menores que los que representan las mínimas. Es por este motivo que la mejora de la red meteorológica debe centrarse en abarcar un mayor rango en la distribución altitudinal más que longitudinal. Por último, hay que destacar que existe un incremento generalizado de las temperaturas medias, tanto de las máximas como de las mínimas, en la segunda década analizada. De esta forma, las zonas de mayor altitud, es decir, aquellas que presentan las temperaturas mínimas más extremas, son las más afectadas por las variaciones termométricas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cifuentes, J. *et al.* (2020). Air temperature forecasting using machine learning techniques: a review. *Energies*, vol. 13, nº 16, p. 4215.
- Hengl, T., Heuvelink, G.B.M. & Rossiter, D.G. (2007). About regression-kriging: From equations to case studies. *Computers & Geosciences*, vol. 33, nº 10, pp. 1301-1315.
- Varentsov, M., Esau, I. & Wolf, T. (2020). High-resolution temperature mapping by geostatistical kriging with external drift from large-eddy simulations. *Monthly Weather Review*, vol. 148, nº 3, pp. 1029-1048.

**Palabras clave:** Datos meteorológicos, interpolación espacial, modelo digital de elevaciones, kriging con regresión, control del error, sistemas de información geográfica.

## Validation of meteorological data in different scenarios for geospatial interpolation using kriging

The last decade has seen unprecedented interest, both scientific and social, in the global rise in temperatures recorded on Earth. The elaboration of detailed temperature maps serves as the basis for developing any type of project in which this magnitude must be known (Cifuentes *et al.*, 2020). The representation of these maps requires a prior study of the geographical temperature variations that exist in a specific location. These variations are more easily represented in regional study areas where the scale does not permit fine detail (Varentsov *et al.*, 2020). Determining locally the effects of this temperature increase on the environment and its potential consequences for humanity is a priority, particularly in countries where the increase in temperatures has more negative consequences, as is the case in Spain. However, at local scales, data are frequently insufficient and, if not distributed properly, may be unrepresentative.

On the other hand, obtaining meteorological data with long and complete series is not easy. As a result, interpolation techniques must be used to determine the data values at each point of the surface under consideration. In particular, kriging with regression was chosen for this work because it allows for the combination of temperature data with auxiliary variables on which it is dependent (Hengl *et al.*, 2007). Furthermore, when compared to other interpolation methods, geostatistical interpolation with kriging produces more realistic and physically adequate temperature maps (Varentsov *et al.*, 2020). The average temperatures of the maximum and minimum temperatures in Spain were taken as input data for the geostatistical models for two decades separated by ten years. The first spans 1991 to 2000, while the second spans 2011 to 2020. These two time periods were chosen because they correspond to the beginning and end of the current standard climatological normal (1991-2020). Furthermore, the altitude of each of the weather stations has been used as a predictor.

Temperature data were obtained from various weather stations (automatic, thermometric, or complete), which are managed and published on a daily basis by the State Meteorological Agency (AEMET). A total of 291 stations were examined, with 254 eventually being used. These 37 stations were discarded because there was no data during the study period, they were outside the study area, or they were geographically overlapping with others that had more data. For the first decade studied, 163 stations from the Spanish peninsula, 14 from the Canary Islands, and 9 from the Balearic Islands were used as input data for interpolation. The input data for the second decade was larger: 225 stations for the Spanish peninsula, 19 for the Canary Islands, and 10 for the Balearic Islands. For each station, the mean maximum and minimum temperatures for each of the two 10-year periods have been calculated. This enabled the development of four temperature estimation models, two of which reflect the maximum temperatures in each of the two decades and the other two the minimum temperatures.

However, due to the lack of data heterogeneity between the two decades studied, the number of input data points in the models had to be adjusted in order to compare the four data sets as equally as possible. Thus, if the goal is to observe the evolution of temperatures between the two decades, the availability of more data in



the second study period is not an advantage in interpolation. This is due to the fact that the comparison must be performed under the same conditions, with the same input data. Thus, in order to homogenise the input data for the two time periods, data from 68 stations (representing 30.22% of the total number of stations initially selected) had to be excluded. This fact has resulted in six interpolation scenarios based on different spatiotemporal combinations of the input data. The goal is to see what effect the input data has on the final result. Scenarios 1 and 2 only use temperature data from the same period in the two decades studied. The difference is that scenario 1 includes the entire study area, whereas scenario 2 only includes the peninsular territory. Scenarios 3 and 4 take into account all of the data available from AEMET, including those from the second decade of the study that were discarded due to a lack of values for the same period in the first decade. The two scenarios differ in that scenario 3 includes the entire study area, whereas scenario 4 only includes the peninsular portion. Scenarios 5 and 6 focus solely on the island regions of the Canary and Balearic archipelagos. The difference in this case is that scenario 5 includes temperature data from the same period in the two decades studied, whereas scenario 6 only includes data from the second study period. In contrast, two techniques were used to assess the error of the 24 resulting models. Cross-validation on the one hand, and RMSE calculation on the other. While the former is done with model input data (internal control), the latter is done with data that has not yet been entered into the model (external control).

The obtained results are examined from two perspectives: the quantity and distribution of the input data on the one hand, and the interpretation of the resulting models on the other. In the first case, it has been discovered that more than 90% of the stations are located at altitudes lower than 1000 m. Above this altitude, the number of stations decreases exponentially, with only one station above 2000 m. On the other hand, analysing the percentage of available data for each of the two decades of study and for each set of data (maximum or minimum temperatures), it has been observed that in the period 1991-2000 there is practically the same number of stations containing less than 20% of the data and the same number of stations containing more than 80% of the data for the whole period. In particular, there are 112 *versus* 114 for average maximum temperatures and 113 *versus* 114 for average minimum temperatures. In contrast, for the period 2011-2020, 226 of the 291 stations (77.66% of the stations) contain more than 80% of the data. Only 24 stations (8.25% of the stations) have data that is less than 20% complete. These data show that the variability between maximum and minimum data availability is nearly zero within each decade. However, there is a significant difference between the data available for the first and second decades.

The error analysis is focused on the resulting models, and a distinction is made between those that include Spanish territory (scenarios 1, 2, 3, and 4) and those that only interpolate the surface area of the two archipelagos (scenarios 5 and 6). The fact that smaller errors were obtained for scenario 1 than for scenario 2 and for scenario 3 than for scenario 4 indicates that better results are obtained when the entire Spanish territory data set is considered. In other words, the presence of island data has no negative impact on peninsular estimates. Similar errors, on the other hand, have been obtained in scenarios 3 and 1, on the one hand, and in scenarios 4 and 2, on the other. Similar errors, on the other hand, have been obtained in scenarios 3

and 1, on the one hand, and in scenarios 4 and 2, on the other. This indicates that the presence of more data does not result in better estimates. When scenarios 5 and 6 were analysed, significant differences were discovered between the data for the Canary Islands and those for the Balearic Islands. The Canary Islands have the lowest overall error rate. This indicates that there is a sufficiently wide distribution of stations in the Canary Islands territory to cover the entire data set longitudinally and altitudinally, and that there is also a relationship between altitude and temperature. In the case of the Balearic Islands, however, there is a clear difference between the maximum temperature models, which have very low errors, and the minimum temperature models, which have very high errors. This could be due to the Tramontana Mountain range's influence over the entire territory, as it is a small strip of land where temperatures drop in comparison to the rest of the archipelago. Different behaviours have been observed in terms of the variation between the average temperatures of the two decades studied, depending on the maximum and minimum temperatures. Nonetheless, a pattern has emerged: higher altitude areas are the most affected by thermometric variations (Figure 1, same resolutions for the Spanish peninsula and Islands). Maximum temperature variation is more directly related to altitude than minimum temperature variation. This fact makes sense when we consider that the errors in maximum temperature interpolations are smaller.

The most important findings of this study are that the temperature records available in the AEMET network of stations exhibit a high degree of heterogeneity in the temporal distribution, with the second decade examined containing approximately 30% more data than the first. This temporal difference is primarily due to the expansion and improvement of the AEMET network's automatic stations from the middle of the first decade of the twentieth century to the present. The automation of the stations, in particular, has reduced data loss because it is recorded automatically. Furthermore, precisely because of their lack of homogeneity, it is necessary to establish criteria for data homogenisation and grouping that allow us to compare the temperature variations between the two decades studied under equal conditions. The use of a greater number of input data in the models representing mean maximum temperatures, on the other hand, has not resulted in greater precision in the predicted values. Models representing mean maximum temperatures, on the other hand, have shown smaller errors than models representing minimum temperatures. As a result, the meteorological network should be improved to cover a wider range in altitudinal distribution rather than longitudinal distribution. Finally, in the second decade studied, there is a generalised increase in average temperatures, both maximum and minimum. Thus, thermometric variations have the greatest impact on the highest altitude areas, those with the most extreme minimum temperatures.

**Keywords:** Meteorological data, spatial interpolation, digital elevation model, regression kriging, error control, geographic information systems.

# COMPARACIÓN DE ALGORITMOS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA LA CARTOGRAFÍA DE PROPIEDADES DEL SUELO EN EXTREMADURA, ESPAÑA

BARRENA-GONZÁLEZ, JESÚS

Instituto Universitario de Investigación para el Desarrollo Territorial Sostenible (INTERRA),  
Universidad de Extremadura, 10071 Cáceres, España, [jesusbarrena@unex.es](mailto:jesusbarrena@unex.es)

GABOUREL LANDAVERDE, ANTHONY

Universidad de Extremadura, 10071 Cáceres, España, [gabourel@unex.es](mailto:gabourel@unex.es)

AMINE ABDENNOUR, MOHAMED

Universidad de Extremadura, 10071 Cáceres, España, [abdennourmohamedamine@gmail.com](mailto:abdennourmohamedamine@gmail.com)

LAVADO CONTADOR, J. FRANCISCO

Instituto Universitario de Investigación para el Desarrollo Territorial Sostenible (INTERRA),  
Universidad de Extremadura, 10071 Cáceres, España, [frlavado@unex.es](mailto:frlavado@unex.es)

Realizar una cartografía precisa de propiedades del suelo es una tarea fundamental para el desarrollo de futuras actividades científicas y de gestión del espacio de interés de estudio. La generación de este tipo de cartografía ofrece un mayor conocimiento sobre el comportamiento espacial de las propiedades del suelo y su relación con multitud de propiedades de carácter medioambiental. En Extremadura, la información cartográfica de suelo es aún escasa, y se limita a mapas geológicos de pequeña escala o algunos mapas de clasificación de suelos que usan reglas desactualizadas y poco precisas. Este contexto pone de manifiesto la necesidad de crear una cartografía de suelos más precisa, actualizada y que se ajuste al contexto socioeconómico y ambiental de Extremadura. Por tanto, el objetivo general de este estudio es identificar cuál es el algoritmo más preciso para mapear 9 propiedades del suelo como las texturas en su división granulométrica (arcilla, limo, arena), pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y materia orgánica (MO). Además, se establece como objetivo específico analizar la importancia de las covariables medioambientales en cada uno de los casos de estudio. Para consecución de los objetivos propuestos, se han comparado los resultados obtenidos de 6 algoritmos de aprendizaje automático como son Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS), Cubist, Generalized Linear Model (GLM) y Gradient Boosting Machine (GBM). Estos algoritmos de aprendizaje

automático se encuentran en el top 10 de los algoritmos más utilizados en trabajos de mapeo y predicción de multitud de propiedades edáficas. El área de estudio para este trabajo es Extremadura, que cuenta con una superficie de 41.635 km<sup>2</sup>, caracterizada por el dominio de tierras dedicadas a las actividades agrícolas y ganaderas, en detrimento de la superficie destinada a otras actividades como la industria. La generación cartográfica se ha realizado a partir de más de 300 puntos de muestreo, que varía en función de la propiedad de estudio (ej. 432 para la arcilla o 385 para la CIC). Esta información se ha extraído de diversas fuentes como son: el catálogo de suelos de Extremadura, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y de diversos proyectos regionales y nacionales que ha liderado el Grupo de Investigación GeoAmbiental (GIGA) de la Universidad de Extremadura. En el desarrollo de los diferentes modelos predictivos para cada una de las propiedades del suelo de estudio se han tenido en cuenta 24 covariables medioambientales. Estas covariables incluyen información climática como la precipitación, temperatura y radiación solar. Además, a partir del modelo digital de elevaciones de Extremadura se han calculado 15 índices geomorfológicos como la pendiente, el índice topográfico de humedad o el índice de multirresolución de la planitud del fondo de valle. Así mismo, considerando la diversidad florística de la región, así como la temporalidad de los datos de muestreo usados en los modelos, se ha calculado el valor promedio de los últimos 7 años para el índice de vegetación de diferencia Normalizada (NDVI), el índice de vegetación (SAVI) y el índice de vegetación mejorado (EVI). La determinación del algoritmo de aprendizaje automático más preciso para cada caso de estudio se ha realizado a partir de parámetros estadísticos como el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) o el error cuadrático medio (RMSE). Teniendo en cuenta estos parámetros estadísticos se determinó que el algoritmo con el valor más alto para el coeficiente de determinación y el valor más bajo para el error cuadrático medio (RMSE) sería el más preciso. Los resultados indican que el algoritmo Random Forest (RF) es el que mejor resultados ofrece para 8 de las 9 propiedades de estudio. No obstante, es el algoritmo Gradient Boosting Machine (GBM) el más preciso en el caso de las arcillas con un valor de 0,34 y 6,02 (%) para el  $R^2$  y RMSE, respectivamente. En cuanto a la importancia de las covariables medioambientales se ha detectado que estas varían en función de la propiedad de estudio, por ejemplo, son los índices de vegetación (NDVI, SAVI y EVI) los que mayor importancia tienen en los modelos generados para la arcilla. Sin embargo, en el caso de la arena, el pH o la CIC son algunos índices geomorfológicos como la profundidad del valle o el factor de inclinación y longitud de la pendiente (LS Factor) los de mayor importancia. Por otro lado, la variable de mayor peso para la predicción de la materia orgánica es la precipitación, seguido de la altitud que indican que las zonas más lluviosas y de mayor altitud de Extremadura concentran los valores más altos en materia orgánica. Por tanto, de acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, se puede concluir que el algoritmo de aprendizaje automático Random Forest es el que se repite en más ocasiones como el más preciso para nuestro caso de estudio y que la importancia de las variables varía en función de la propiedad del suelo.

*Palabras clave:* Propiedades del suelo, cartografía, algoritmos de aprendizaje automático, covariables medioambientales.

*Financiación:* Este trabajo de investigación ha sido posible gracias a la financiación concedida por la Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital de la Junta de Extremadura y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional de la Unión Europea a través de la ayuda de referencia IB16052.

*Agradecimientos:* Agradecer al Fondo Social Europeo y a la Junta de Extremadura por la financiación concedida al doctorando Jesús Barrera González (PD18016).

## Comparison of machine learning algorithms for mapping soil properties in Extremadura, Spain

Accurately mapping soil properties is essential for developing future scientific activities and managing the study area effectively. Generating precise soil maps provides a better understanding of the spatial behaviour of soil properties and their relationship with various environmental factors. In the region of Extremadura, soil cartographic information is still limited to small-scale geological maps or outdated and imprecise soil classification maps. This context highlights the need for a more accurate and updated soil mapping that aligns with Extremadura's socio-economic and environmental context. The general goal of this study is to identify the most accurate algorithm for mapping nine soil properties, including soil particle distribution (clay, silt, sand), pH, cation exchange capacity (CEC), nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), and organic matter (OM). Additionally, the specific objective is to analyse the importance of environmental covariates in each case study. To achieve these objectives, the results obtained from six machine learning algorithms –Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS), Cubist, Generalized Linear Model (GLM), and Gradient Boosting Machine (GBM)– have been compared. These machine learning algorithms are among the top 10 algorithms used in soil mapping and prediction in many scientific studies. The study area for this work is Extremadura, covering an area of 41,635 km<sup>2</sup>, characterized by the dominance of agricultural and livestock activities and a lower amount of land allocated to industries. Soil mapping was carried out using over 300 sampling points, varying according to the property studied (e.g., 432 for clay or 385 for CEC). This information was extracted from various sources, such as the soil catalog of Extremadura, the Center for Energy, Environmental and Technological Research (CIEMAT), and various regional and national projects led by the GeoEnvironmental Research Group (GIGA) at the University of Extremadura. In the development of different predictive models for each soil property, 24 environmental covariates have been considered. These covariates include climatic information such as rainfall, temperature, and solar radiation. Furthermore, using the digital elevation model of Extremadura, 15 geomorphological indices have been calculated, such as slope, topographic wetness index, or multi-resolution valley bottom flatness index. In addition, considering the region's floristic diversity and the temporal aspect of the sampling data used in the models, the average value of the last seven years has been calculated for the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), and Enhanced Vegetation Index (EVI). To determine the most accurate machine learning algorithm for each case study, statistical param-

eters such as the coefficient of determination ( $R^2$ ) and the root mean square error (RMSE) have been used. Based on these statistical parameters, the algorithm with the highest  $R^2$  and the lowest RMSE values has been considered the most accurate. The results indicate that the Random Forest (RF) algorithm provides the best results for eight of the nine properties studied. However, for the clay property, the Gradient Boosting Machine (GBM) algorithm is the most accurate, with an  $R^2$  value of 0.34 and an RMSE of 6.02%. The importance of environmental covariates varies depending on the property studied. For example, vegetation indices (NDVI, SAVI, and EVI) have the greatest importance in models generated for clay, while geomorphological indices such as valley depth or the slope-length factor (LS Factor) are more important for sand, pH, or CEC. On the other hand, the variable that holds the most weight in predicting organic matter is rainfall, followed by altitude, indicating that the rainiest and highest areas of Extremadura contain the highest values of organic matter. Therefore, based on the results obtained in this study, it can be concluded that the Random Forest machine learning algorithm is the most accurate one for our case study and that the importance of variables varies depending on the soil property.

**Keywords:** Soil properties, cartography, machine learning algorithms, environmental covariables.

# DIAGNÓSTICO DE LA INEQUIDAD ESPACIAL EN EL ACCESO A LA RED DE AUTOBUSES PÚBLICOS ENTRE LA POBLACIÓN MÁS Y MENOS DESFAVORECIDA-VULNERABLE EN SANTA FE DE LA VERA CRUZ, ARGENTINA

BOSISIO, ANDREA

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina,  
[acbosisio@yahoo.com.ar](mailto:acbosisio@yahoo.com.ar)

MORENO JIMÉNEZ, ANTONIO

Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Autónoma de Madrid, España,  
[antonio.moreno@uam.es](mailto:antonio.moreno@uam.es)

Las infraestructuras de transporte y las políticas de movilidad, provistas en gran medida y reguladas públicamente, determinan el crecimiento urbano, las condiciones de vida de la población y el desempeño de las organizaciones, al facilitar (o entorpecer) la movilidad y el acceso a las oportunidades existentes en la ciudad. De ello podrían ocasionarse discriminaciones socio-espaciales, cuya evitación o corrección requeriría intervenciones públicas.

En el complejo entramado de relaciones existentes en el territorio, la justificación del análisis de accesibilidad se apoya en su importancia como vía para desentrañar la redistribución social de ciertos recursos. Las funciones del territorio como soporte de la organización social son diversas y sus capacidades, reales y potenciales, resultan desiguales, todo lo cual afecta a las oportunidades de uso y transformación del territorio por sus ocupantes.

En la presente contribución se pretenden abordar varias cuestiones que resultan importantes para la ciudadanía y su movilidad potencial en el contexto de la ciudad de Santa Fe (Argentina):

¿Cuál es la distribución espacial de las paradas de autobuses públicos dentro de la ciudad? ¿Ofrecen una cobertura geográfica homogénea o desigual? ¿Qué zonas poseen mejor/peor cobertura y acceso a ese servicio?

¿Qué magnitud o importancia tienen las desigualdades en el acceso espacial al transporte público entre la población más y menos desfavorecida-vulnerable? ¿Se puede hablar de injusticias espaciales al respecto?

Dentro de la ciudad ¿el grado de acceso al mencionado servicio es similar entre los distritos administrativos o por el contrario hay diferencias importantes?

Con la finalidad de establecer la vulnerabilidad y privación de la población de manera sintética se recurrió a los resultados de un estudio previo de Bosisio y Moreno (2020), en el que se aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP), y cuyo resultado destacó un único factor o componente que capturaba más del 73 % de la varianza. La dicotomización de las puntuaciones factoriales mediante el cuartil 1 ( $z = -0,701$ ), permitió separar operativamente dos grupos de radios censales (RC): aquéllos con valores inferiores a ese valor (RC más desfavorecidos) y los guarismos superiores (RC menos desfavorecidos).

Para determinar la proximidad a los servicios de autobús urbano por parte de la población, según su nivel de vulnerabilidad / carencias, se estableció, como alcance óptimo a las paradas de dicho servicio, 300 metros, mediante la delimitación de la "zona próxima" definida por criterios y estándares magistrales. Mediante geoprocursos con SIG por RC, se computó (por estimación) la cuantía de la población dentro y fuera de las zonas próximas a las paradas, según la categoría de superior o inferior vulnerabilidad-carencias.

Con el objeto de verificar la posible relación espacial entre accesibilidad al autobús y vulnerabilidad-carencias se estableció la siguiente hipótesis:  *$H_0 = no$  hay diferencia significativa en la accesibilidad espacial a las paradas del servicio de autobuses públicos entre las zonas de población con más (o menos) vulnerabilidad y privación; es decir, la distribución espacial de los puntos de acceso al servicio de autobuses y de la población no genera discriminación.*

Finalmente, para comprobar la hipótesis de inequidad espacial se recurrió al test de la  $\chi^2$  y a la balanza de la justicia espacial.

Las desigualdades socio-espaciales en la proximidad de la población a las paradas de autobuses públicos, cuantificadas mediante operaciones de geoprocuremento para el conjunto de la ciudad, han podido estimar que dicho servicio en la ciudad de Santa Fe alcanza al 85,88 % de la población total en un radio de 300 m, dejando fuera de esa zona de cobertura al 14,12 %, es decir, 55.249 personas. De ellas, 41.608 (29,02 %) pertenecen al grupo demográfico que sufre mayor vulnerabilidad y privaciones, en tanto 13.642 (5,50 %) corresponden al conjunto complementario con menores carencias.

El cálculo de la  $\chi^2$ , como prueba de independencia con un grado de libertad, permite rechazar  $H_0$  (similitud en la distribución) con un  $\alpha = 0,01$  y concluir que los grupos sociodemográficos más vulnerables / carenciados están significativamente discriminados por residir más en las zonas alejadas de las paradas del servicio de autobuses públicos, en el conjunto de la ciudad.

Con la finalidad de disponer de una visión desagregada y por unidades relevantes de las zonas más discriminadas por inaccesibilidad al sistema de autobuses públicos, se realizó el análisis por distritos administrativos. Los resultados permiten concluir que el acceso al servicio de autobuses públicos en Santa Fe ocasiona discriminaciones intraurbanas, penalizando fundamentalmente a los distritos de la zona norte, zona costera y del límite oeste.



Los hallazgos empíricos obtenidos están en amplia consonancia con lo señalado en otras investigaciones análogas, que han puesto el foco de análisis en la equidad en el sistema de transporte público, y en las que se destaca que la accesibilidad de la población al sistema de transporte y su medición mediante indicadores específicos resultan imprescindibles si se pretende dotar un servicio adecuado a escala municipal.

Las diferentes técnicas estadísticas y cartográficas usadas aquí han permitido medir de manera eficaz la justicia espacial, cotejando un indicador de acceso al transporte público urbano con el grado de vulnerabilidad/carencias de la población, y estableciendo dónde y en qué cuantía son significativas dichas relaciones. Resulta oportuno, por tanto, afirmar que todo ello conforma un marco de análisis valioso, de cara a la formulación de políticas de transporte público intraurbano.

Los análisis realizados y los resultados logrados hacen posible implementar acciones tendientes a ampliar los servicios de transporte urbano, con el fin de dar solución a los problemas de inaccesibilidad y de movilidad reducida que soporta gran parte de la periferia santafesina. Esto daría la posibilidad real a ciudadanos con ubicaciones marginales y más desfavorecidos de ampliar su espacio de desplazamiento y con ello facilitar su acceso a las diferentes oportunidades y equipamientos sean comerciales, sanitarios, educativos, recreacionales, etc., redundando en una mejora notable de su calidad de vida.

Para terminar, cabe subrayar que en la ciudad de Santa Fe se observa una indeseable dualidad zonal entre el centro y la periferia, revelándose como desfavorecida esta última. Futuras mejoras en la accesibilidad a los autobuses, atentas al diagnóstico aquí realizado, contribuirían a la consolidación de un espacio con mayor equidad y cohesión territorial, que fomentaría significativamente la integración social de las áreas marginales.

## BIBLIOGRAFÍA

Bosisio, A. & Moreno Jiménez, A. (2020). Análisis espacial de indicadores de vulnerabilidad y privaciones sociales basado en SIG: el caso de Santa Fe de la Vera Cruz (Argentina). *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)*, 12 (17) Sección I: 1-19. <https://revistageosig.wixsite.com/geosig/geosig-17-2020>

**Palabras clave:** Transporte público urbano, accesibilidad a paradas de autobús, población desfavorecida-vulnerable, inequidad espacial, SIG.

**Financiación:** Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – Universidad Nacional del Litoral (UNL), Argentina.

**Agradecimientos:** A la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – UNL, por el apoyo recibido para la realización de la presente investigación. A la Municipalidad de la Ciudad de Santa Fe, al Instituto Provincial de Estadísticas y Censos (IPEC-INDEC), y al Instituto Geográfico Nacional, por brindar los datos utilizados en los diversos análisis.

## Diagnosis of spatial inequity in access to the public bus network among the poorest and least vulnerable population in Santa Fe de la Vera Cruz, Argentina

Transport facilities and mobility policies, largely provided and regulated by public bodies, determine urban growth, living conditions of the population and performance of organizations, by facilitating (or hindering) mobility and access to services in the city. This could give rise to socio-spatial discrimination, the avoidance or correction of which would imply public intervention.

In the complex network of relationships existing in the territory, the justification for the accessibility analysis is based on its importance as a way to unravel the social redistribution of certain resources. The territory functions, as a support for social organization, are diverse and its capabilities, actual and potential, are unequal, all of which affects the opportunities for use and transformation of the territory by its occupants.

In this contribution, it is intended to address several issues that are important for citizens and their potential mobility in the context of Santa Fe City (Argentina):

What is the spatial distribution of public bus stops within the city? Do they offer homogeneous or uneven geographic coverage? Which areas have the best/worst coverage and access to this service?

What is the magnitude or importance of the inequalities in spatial access to public transport among the most and least deprived-vulnerable population? Can we talk about spatial injustices in this regard?

Within the city, is the degree of access to the aforementioned service similar between the administrative districts or, on the contrary, are there important differences?

For the purpose to synthetically establish the population vulnerability and deprivation, the results of a previous study by Bosisio and Moreno (2020) were used; they applied a Principal Component Analysis (PCA), and found a single factor that captured more than 73% of the variance. The dichotomization of the factor scores through quartile 1 ( $z = -0.701$ ), allowed to operationally separate two groups of census radii (CR): those with values lower than that value (CR more disadvantaged) and those with higher figures (CR less disadvantaged).

To determine the population proximity to the urban bus services, according to their level of deprivation / vulnerability, the optimal distance threshold to the stops was set at 300 meters, by delimiting the defined "near zone" according to experts' criteria and standards. Through geoprocesses with GIS by CR, the population inside and outside the areas close to the stops was computed (by estimation), according to the category of higher or lower deprivation / vulnerability.

In order to verify the possible spatial relationship between accessibility to the bus stops and deprivation / vulnerability, the following hypothesis was set:  $H_0 =$  *there is no significant difference in the spatial accessibility to the public bus service stops between the areas with the most (or less) deprivation / vulnerability; that is, the spatial distribution of the access points to the bus service and of the population does not generate discrimination.*

Finally, to check the hypothesis of spatial inequity, the  $\chi^2$  test and the balance of spatial justice were used.

Socio-spatial inequalities in the population proximity to public bus stops were quantified through GIS geoprocessing operations for the entire city; the results estimate that the bus service in Santa Fe City reaches 85.88% of the total population in a 300 meters distance threshold, leaving 14.12% outside that coverage area, that is, 55,249 people. Of these, 41,608 (29.02%) belong to the demographic group that suffers the greatest vulnerability and deprivation, while 13,642 people (5.50%) belong to the complementary set having fewer deprivation / vulnerability.

The  $\chi^2$  calculation as a test of independence with one degree of freedom allows to reject  $H_0$  (similarity in distribution) and to conclude that the most vulnerable/deprived sociodemographic groups are significantly more present in areas far from the public bus service stops.

To have a vision by disaggregated and relevant units of the most discriminated areas in terms of inaccessibility to the public bus system, the analysis was carried out by administrative districts. The results allow to conclude that access to the public bus service in Santa Fe causes intra-urban discrimination, mainly penalizing the districts of the Northern zone, coastal zone and the Western limit.

Our findings roughly agree with those pointed out by various authors that have studied equity in the public transport system as its main focus of analysis, and highlighted that population accessibility to the transport system and its measurement through specific indicators are essential to provide an adequate service at the municipal level.

The statistical and cartographic techniques used here have made it possible to measure spatial justice effectively, comparing an indicator of access to urban transport with the population vulnerability/deprivation degree, and establishing where and to what extent these relationships are significant. It is appropriate, therefore, to assert that all this forms a valuable analysis framework, to help formulating intra-urban public transport policies.

The analysis carried out and the results obtained make it possible to implement actions aimed at improving urban transport services, to solve the problems of inaccessibility and reduced mobility observed in Santa Fe City periphery. This would give the true possibility to citizens with marginal and disadvantaged locations to improve their travel space and thereby facilitate their access to the different opportunities and facilities, be they commercial, health, educational, recreational, etc., resulting in a noteworthy increase in their quality of life.

In Santa Fe City an undesirable zonal duality is observed between the urban core and the periphery, the latter revealing itself as disadvantaged. Future improvements in accessibility to buses, based on the diagnosis made here, would contribute to shape a space with greater equity and territorial cohesion, which would significantly promote the social integration of marginal areas.

**Keywords:** urban public transport, accessibility to bus stops, disadvantaged-vulnerable groups, spatial inequity, GIS.



# EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA PANDEMIA DE COVID-19 EN EL USO DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN LA CIUDAD DE SANTA FE DE LA VERA CRUZ, ARGENTINA

BOSISIO, ANDREA

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina,  
[acbosio@yahoo.com.ar](mailto:acbosio@yahoo.com.ar)

TALAVERA-GARCÍA, RUBÉN

Departamento de Geografía, Universidad Complutense de Madrid, España,  
[rtalaveragarcia@ucm.es](mailto:rtalaveragarcia@ucm.es)

La pandemia de la COVID-19 ha marcado un antes y un después en multitud de cuestiones en nuestra sociedad, entre los que destaca el impacto en la forma en la que la población se mueve y utiliza los modos de transporte. Estos cambios son la consecuencia de la forma de transmisión del virus, que obligó a que se implementaran medidas de distanciamiento, de restricción de la movilidad y de implantación de la obligatoriedad en el uso de mascarillas. Se propagó entre la población la idea de que el uso del transporte público suponía una actividad con elevado riesgo de contagio al no poderse mantener la distancia de seguridad en un espacio cerrado. En los sectores económicos en los que los trabajadores podían desempeñar sus tareas de forma remota, se implantó o fomentó el teletrabajo, de igual forma que se hizo en la enseñanza. En aquellos sectores en los que no era posible el teletrabajo, los trabajadores optaron por los medios de transporte que les aseguraran un mayor distanciamiento social y mayor sensación de seguridad, como en el vehículo privado o en modos de transporte individuales como bicicletas o patinetes. Además, en aquellos casos en los que la distancia a recorrer lo permitiese se optó por realizar esos desplazamientos a pie. En numerosas ciudades se favoreció esta demanda de movilidad personal con la implantación de medidas destinadas a dar más sección viaria a estos modos de transporte. Entre estas medidas, generalmente de carácter temporal, cabe hacer mención a la peatonalización de calles o la puesta en servicio de carriles bicis, más conocidos en la terminología anglosajona como los *“pop-up bike lane”*. Este cúmulo de circunstancias originó una alteración en la demanda del transporte durante la pandemia y generó la necesidad de su reorganización.

En la ciudad de Santa Fe, como producto de la tardía aprobación definitiva del *Reglamento de Ordenamiento Urbano* el proceso de ocupación del espacio metropolitano fue espontáneo e incontrolado durante décadas, lo cual derivó en que la tendencia de crecimiento de la planta urbana sea hacia el cauce de los ríos que la circundan dentro de su llanura aluvial, en zonas inundables y anegadizas. Su “*área urbana poblada (AUP)*” actualmente posee un consolidado modelo fuertemente centralizado; cuya corona central pierde densidad, volumen edificatorio y presencia de servicios a medida que se aleja del núcleo central. Consecuentemente, la franja periurbana se caracteriza por un reciente y rápido crecimiento demográfico, así como también por su fragmentación, desigualdad y marginalidad socio-espacial, que se observan fundamentalmente en el sector oeste, norte y también en la zona costera, y a las que no es ajena una débil planificación y una regulación poco efectiva de su crecimiento. Plasmándose de este modo un espacio urbano altamente proclive a falencias en la red vial y en el sistema de transporte público. Asimismo, la accesibilidad a la red de autobuses posee una distribución e infraestructura insuficiente para satisfacer la demanda creciente de toda la población en la ciudad (Bosisio y Moreno, 2021), especialmente luego de la pandemia de COVID donde el retorno a la presencialidad y normalidad del servicio se ha topado con incontables problemas.

Dentro de este contexto, en el presente trabajo se pretenden evaluar los cambios en el uso del servicio de movilidad urbana postpandemia, y evidenciar las diferencias en los patrones espacio-temporales de la demanda, tanto de manera general abarcando la totalidad de la red de autobuses, como de forma específica para cada una de las 16 líneas de colectivos (autobuses) que la componen, desagregando la información en diferentes grupos de usuarios.

Partiendo de esas premisas en el presente análisis se utilizará un recurso valioso para el estudio de la movilidad y el sistema de transporte público: las tarjetas inteligentes de transporte (*transport smart cards*) (Gutiérrez *et al.*, 2020, 2019). Estas tarjetas proporcionan información exhaustiva sobre los viajes en el transporte público, generando un volumen de datos elevado en las ciudades cuya utilización es obligatoria, tal es el caso de la tarjeta SUBE en la ciudad de Santa Fe. Estos datos pueden ser muy útiles para los planificadores de tránsito, desde la operación diaria del sistema de tránsito hasta la planificación estratégica a largo plazo de la red (Pelletier *et al.*, 2011; Munizaga y Palma, 2012; Osorio Arjona y García-Palomares, 2017).

Las validaciones de la tarjeta SUBE se registran cuando el usuario ingresa al colectivo, y en este estudio consideraremos los periodos comprendidos entre octubre y noviembre de 2019 (prepandemia) y entre marzo y abril de 2022 (postpandemia). En el momento de la validación, se registra tanto la posición obtenida por GPS, como los datos relativos a la línea y el tipo de descuento aplicado. Los usuarios de la tarjeta SUBE disponen de tres tarifas diferentes en la ciudad de Santa Fe: la tarifa ordinaria o tarifa plana, una tarifa con 55 % de descuento del Atributo Social Federal, y una tercera con descuentos de carácter municipal que alcanza a empleados municipales y estudiantes. Estos datos han sido facilitados por el Ministerio de Transporte de la República de Argentina en formato de texto plano separado por comas (CSV). El volumen de datos registrados es en ambos periodos elevado, con aproximadamente 7 millones de registros en el periodo prepandemia y cerca de 5 millones de regis-

tros en el periodo postpandemia. Con este volumen de datos se recurre a diferentes paquetes disponibles en el lenguaje de programación Python para el tratamiento, análisis y visualización de la información.

A partir de la información procesada, se analiza en primer lugar y de forma agregada los patrones de uso del colectivo a lo largo de la semana y a lo largo de un día. Posteriormente, se analizan dichos patrones de forma desagregada para las 16 distintas líneas existentes, así como para los distintos tipos de las tarifas con el fin de visualizar a los usuarios de acuerdo a su perfil socioeconómico.

Como primer resultado quedó evidenciado como el uso del colectivo ha sufrido un fuerte impacto en el período postpandemia, reduciéndose en aproximadamente dos millones el número de viajes respecto al periodo de normalidad. Los resultados obtenidos demuestran que durante el periodo prepandemia el patrón de viajes a lo largo de la semana se incrementa hasta el día jueves, para posteriormente descender hasta niveles casi inexistentes los domingos. Este patrón es similar tras la pandemia, pero ha cambiado específicamente en que el uso del servicio se incrementa hasta el día miércoles, registrándose para el día jueves un fuerte decrecimiento en el uso del servicio, extendiéndose esta situación hasta el comienzo de la siguiente semana.

El patrón temporal a lo largo de un día en ambos períodos analizados, consolida la existencia de tres horas pico de validaciones de la tarjeta SUBE, la primera a las 7 de la mañana para la entrada al trabajo o escuela, una segunda más marcada a las 12 y una tercera entre las 17 y 18 horas. Este patrón temporal no es homogéneo para todas las líneas de colectivo, siendo las líneas que más validaciones concentran en prepandemia la línea 5 y la línea 2, mientras que para el período postpandemia las mayores validaciones se agrupan en la línea 5 y la línea 18. La línea 5 tiene un trazado que atraviesa la ciudad en sentido norte-sur recorriendo el cordón límite oeste en su totalidad, lugar en el cual se emplazan los barrios con más elevada densidad de población. Mientras que la línea 2 tiene un trazado que une el centro de la ciudad con la zona costera, pasando por la Ciudad Universitaria. En tanto la línea 18 discurre por el eje central de la ciudad uniendo el centro con la zona norte altamente poblada.

Respecto al tipo de validación, el usuario con tarifa ordinaria o plana es el predominante en la prepandemia, mostrando un patrón de uso similar al comentado anteriormente con tres picos a lo largo del día, con predominio del pico de mediodía. Sin embargo, dicho patrón varía para los usuarios con descuentos locales, que mantienen las validaciones en el colectivo durante la mañana, superando en las horas centrales de la mañana a las validaciones con tarifa ordinaria.

En la postpandemia el mayor número de validaciones se registra para usuarios con la tarifa que posee 55 % de descuento del Atributo Social Federal, conservando el mismo patrón de los tres horarios picos.

Los resultados obtenidos permiten a los técnicos de transporte tomar decisiones acerca de las líneas que deben modificar para satisfacer la demanda de determinadas zonas de la ciudad, así como ajustar la frecuencia a lo largo del día. Además, se evidencia la necesidad de tomar medidas para incentivar a la población que no disfruta de ningún tipo de beneficio para que use el transporte público.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bosio, A. & Moreno Jiménez, A. (2021). Calidad del viario urbano y vulnerabilidad social: Un análisis con SIG desde la justicia espacial para el caso de la ciudad de Santa Fe de la Vera Cruz, Argentina. En: Linares, S. *et al.* (eds.), *Libro de Resúmenes del V Congreso Nacional de Tecnologías de Información Geográfica y III Congreso Internacional de Tecnologías de Información Geográfica: Modelización y TIG aplicados a procesos espaciales urbanos y regionales*, 1ª ed., 222-227, Tandil, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. [https://ddb14c24-f630-4ad3-9cc5-fa2b99d8ac4e.filesusr.com/ugd/ca0ce1\\_62480c992e204ad5a62325f6b410e17a.pdf](https://ddb14c24-f630-4ad3-9cc5-fa2b99d8ac4e.filesusr.com/ugd/ca0ce1_62480c992e204ad5a62325f6b410e17a.pdf)
- Gutiérrez-Puebla, J., Benítez, C., García-Palomares, J., Romanillos-Arroyo, G., Rubinstein da Silva, E., Leño, J., Ribeiro, K., Scholl, L., Moya-Gómez, B. & Condeço Melhorado, A. (2020). *Cómo aplicar big data en la planificación del transporte: el uso de datos de GPS en el análisis de la movilidad urbana*. Banco Interamericano de Desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0002487>
- Gutiérrez-Puebla, J., Benítez, C., Leño, J., García-Palomares, J., Condeço Melhorado, A., Mojica, C., Scholl, L., Adler, V., Vera, F., Moya-Gómez, B. & Romanillos-Arroyo, G. (2019). *Cómo aplicar Big Data en la planificación del transporte urbano: El uso de datos de telefonía móvil en el análisis de la movilidad*. Banco Interamericano de Desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0002009>
- Munizaga, M. A. & Palma, C. (2012). Estimation of a disaggregate multimodal public transport Origin – Destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 24, 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2012.01.007>
- Osorio Arjona, J. & García-Palomares, J. C. (2017). Nuevas fuentes y retos para el estudio de la movilidad urbana. *Cuadernos Geográficos*, 56(3), 247-267. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/5352>
- Pelletier, M., Trépanier, M. & Morency, C. (2011). Smart card data use in public transit: A literature review. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, V 19, Issue 4, 557-568. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.12.003>

**Palabras clave:** Transporte público urbano, accesibilidad, COVID-19, autobuses.

**Financiación/Funding:** Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – Universidad Nacional del Litoral (UNL), Argentina. Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i NEWGEOMOB (PID2020-116656RB-I00), financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/. This publication is part of the project NEWGEOMOB (PID2020-116656RB-I00), funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033/.

**Agradecimientos/Acknowledgments:** A la Municipalidad de la Ciudad de Santa Fe, al Instituto Provincial de Estadísticas y Censos (IPEC-INDEC), y al Ministerio de Transporte de la República Argentina, por brindar los datos utilizados en los diversos análisis.



## Evaluation of the effect of the COVID-19 pandemic on the use of public transport in the city of Santa Fe de la Vera Cruz, Argentina

The COVID-19 pandemic has marked a before and after in many aspects of our society, among which stands out the impact on how the population moves and uses transportation modes. These changes are a consequence of the way the virus is transmitted, which forced the implementation of measures such as social distancing, mobility restrictions, and mandatory use of masks. The idea that public transportation represented a high-risk activity for contagion due to the impossibility of maintaining a safe distance in an enclosed space spread among the population. In economic sectors where workers could perform their tasks remotely, teleworking was implemented or encouraged, as was the case in education. In those sectors where remote work was not possible, workers opted for transportation modes that ensured greater social distancing and a greater sense of security, such as private vehicles or individual modes of transportation such as bicycles or scooters. Additionally, in cases where the distance to travel allowed it, people chose to walk. In numerous cities, this demand for personal mobility was favored by the implementation of measures aimed at giving more road space to these transportation modes. These measures, generally of a temporary nature, include pedestrianization of streets or the use of "pop-up bike lanes." This set of circumstances led to a change in transportation demand during the pandemic and generated the need for reorganization.

In the city of Santa Fe, the late final approval of the Urban Planning Regulation led to decades of spontaneous and uncontrolled occupation of the metropolitan space, which resulted in the urban plant's growth trend towards the rivers that surround it within its alluvial plain, in flood-prone and swampy areas. Its currently populated urban area (PAU) has a consolidated, highly centralized model, whose central crown loses density, building volume, and service presence as it moves away from the central core. Consequently, the peri-urban area is characterized by recent and rapid demographic growth, as well as fragmentation, inequality, and socio-spatial marginalization, mainly observed in the west, north, and coastal areas, and not unrelated to weak planning and ineffective regulation of its growth. This creates an urban space highly prone to deficiencies in the road network and public transportation system. Likewise, accessibility to the bus network has an insufficient distribution and infrastructure to meet the growing demand of the entire population in the city (Bosisio and Moreno, 2021), especially after the COVID pandemic, where the return to in-person services and normality has encountered countless problems.

In this context, this work aims to evaluate the changes in the use of urban mobility services post-pandemic and demonstrate the differences in spatial-temporal patterns of demand, both generally covering the entire bus network and specifically for each of the 16 bus lines that compose it, disaggregating the information into different user groups. Based on these premises, this analysis will use a valuable resource for the study of mobility and the public transportation system: transport smart cards (Gutiérrez *et al.*, 2020, 2019). These cards provide comprehensive information on public transportation trips, generating a high volume of data in cities where their use is

mandatory, such as the SUBE card in the city of Santa Fe. This data can be very useful for traffic planners, from the daily operation of the transit system to the long-term strategic planning of the network (Pelletier *et al.*, 2011; Munizaga and Palma, 2012; Osorio Arjona and García-Palomares, 2017).

The validations of the SUBE card are recorded when the user enters the bus, and in this study we consider the periods between October and November 2019 (pre-pandemic) and between March and April 2022 (post-pandemic). At the time of validation, both the GPS position and the data related to the bus line and type of discount applied are recorded. SUBE card users have three different rates in the city of Santa Fe: the ordinary or flat rate, a rate with a 55% discount from the Federal Social Attribute, and a third rate with municipal discounts for municipal employees and students. This data has been provided by the Ministerio de Transporte de la República Argentina in comma-separated plain text format (CSV). The volume of recorded data is high in both periods, with approximately 7 million records in the pre-pandemic period and nearly 5 million records in the post-pandemic period. Different packages available in the Python programming language are used to process, analyze, and visualize the information with this volume of data.

From the processed information, the usage patterns of the bus throughout the week and day are analyzed first in an aggregated manner. Subsequently, these patterns are analyzed in a disaggregated manner for the 16 different existing bus lines as well as for the different types of rates in order to visualize users according to their socio-economic profile.

As a first result, it is evident that the usage of the bus has suffered a strong impact in the post-pandemic period, reducing the number of trips by approximately two million compared to the period of normality. The results obtained demonstrate that during the pre-pandemic period, the pattern of trips throughout the week increases until Thursday, and then descends to almost non-existent levels on Sundays. This pattern is similar after the pandemic, but has specifically changed in that the use of the service increases until Wednesday, with a strong decrease in the use of the service on Thursday, and this situation extends until the beginning of the following week.

The validation patterns for the SUBE card throughout the day in both analyzed periods confirm the existence of three peak hours, the first being at 7:00 am for commuting to work or school, a more marked second peak at noon, and a third one between 5:00 and 6:00 pm. This temporal pattern is not homogeneous across all bus lines, with lines 5 and 2 having the highest validations during the pre-pandemic period, while the highest validations during the post-pandemic period are concentrated in lines 5 and 18. Line 5 traverses the city from north to south, covering the entire western boundary of the city, where the most densely populated neighborhoods are located, while line 2 connects the city center with the coastal zone, passing through the University City. On the other hand, line 18 runs through the central axis of the city, connecting the downtown area with the highly populated northern zone.

Regarding the type of validation, users with the ordinary or flat rate are predominant during the pre-pandemic period, showing a usage pattern similar to the one mentioned above with three peaks throughout the day, with the noon peak being the most prominent. However, this pattern varies for users with local discounts, who maintain validations on the bus during the morning, surpassing the validations with the ordinary rate in the central morning hours.

In the post-pandemic period, the highest number of validations is registered for users with the rate that has a 55% discount from the Federal Social Attribute, maintaining the same pattern of three peak hours.

The obtained results allow transport technicians to make decisions about which bus lines need to be modified to meet the demand of certain areas of the city, as well as adjusting frequency throughout the day. Additionally, it highlights the need to take measures to encourage the population that does not enjoy any type of benefit to use public transportation.

**Keywords:** Urban public transport, accessibility, COVID-19, buses.



# EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL VERANO DE 2022: OLAS DE CALOR, NOCHES TROPICALES Y MALA CALIDAD DEL AIRE POR PM<sub>10</sub> EN LA COMUNIDAD DE MADRID

CAÑADA TORRECILLA, MARÍA ROSA

Universidad Autónoma de Madrid, Ciudad Universitaria de Cantoblanco, 28049, España,  
[rosa.canada@uam.es](mailto:rosa.canada@uam.es)

**E**l verano del año 2022 se ha caracterizado por registrar temperaturas extremas muy elevadas durante el día y durante la noche, evidenciando el continuo proceso de calentamiento que se viene produciendo en las últimas décadas, como consecuencia del forzamiento radiativo. El último Informe del IPCC (2022) pronostica eventos climáticos extremos más frecuentes y severos y en concreto episodios de calor extremo, en la mayoría de las regiones habitadas. En los últimos escenarios de cambio climático elaborados para España por AEMET se proyectan aumentos en la escala anual de las temperaturas máximas de entre 2 °C y 6,4 °C, más acusados en verano, y con incrementos mayores en el interior, zona que estudiamos en este artículo. Una tendencia similar se espera para las temperaturas mínimas, aunque menos acusada que para las máximas (AEMET, 2020). Estos cambios representan una amenaza para la salud humana, que se ve afectada de manera directa por la morbilidad y mortalidad por causas cardiovasculares y respiratorias, estrés térmico y agravamiento de enfermedades crónicas y lesiones, y de manera indirecta por la contaminación del aire.

En el presente trabajo se abordan tres objetivos: en primer lugar, estudiar la frecuencia, intensidad y duración de las olas de calor acaecidas en el verano del 2022 en la Comunidad de Madrid y además la frecuencia de noches tropicales o cálidas, consideradas estas, aquellas que superan los 20 °C. En segundo lugar, analizar la contaminación por PM<sub>10</sub>, durante los episodios detectados de calor intenso y en tercer lugar explicar los patrones de circulación atmosférica responsables de estos fenómenos.

Para llevar a cabo el estudio se han utilizado no sólo las temperaturas máximas diarias sino también las temperaturas mínimas nocturnas, para tener en cuenta los efectos del calor durante la noche, que tiene un impacto más intenso en el bienestar humano. Los datos corresponden a los tres meses estivales de junio, julio y agosto, en doce estaciones de la Comunidad de Madrid, representativas de diferentes zonas

climáticas. Los datos de contaminación por partículas proceden de 42 estaciones, 19 de las cuales son de la red de calidad del aire de la Comunidad de Madrid y 13 de la red de calidad del aire del Ayuntamiento de Madrid. Los patrones de circulación general que explican las olas de calor se han establecido a partir de los mapas sinópticos diarios, y de las características de la masa de aire en altura, utilizando la estación de radiosondeo de Barajas.

La metodología utilizada para el estudio de las olas de calor ha consistido en calcular para cada estación una temperatura umbral que es el resultado de calcular el percentil 90 de las temperaturas máximas diarias de los tres meses de verano. A continuación, se han calculado los episodios cálidos, entendiendo como tales, episodios de al menos tres días consecutivos con temperatura máxima que iguala o supera su temperatura umbral. Se han determinado los días cálidos, considerando como tales aquellos que al menos el 10 % de las estaciones consideradas está dentro de uno de los episodios cálidos. Finalmente se han localizado las olas de calor que son todos los episodios de tres o más días cálidos. Los factores que determinan la intensidad de la ola de calor serán las temperaturas alcanzadas durante la misma, su duración y extensión o el territorio afectado.

Se han empleado técnicas de interpolación espacial tanto para modelar la temperatura umbral, el número de noches cálidas y la contaminación por partículas en toda la Comunidad de Madrid. El recurso a estas técnicas ha permitido desvelar la secuencia temporal de estos fenómenos en las distintas zonas de la Comunidad de Madrid durante varios días, lo que proporciona una apreciación de donde y con que intensidad se sufren sus efectos adversos.

Los resultados alcanzados indican que la temperatura umbral difiere mucho de unas estaciones a otras. Mientras que esta temperatura supera los 40 °C en el sur y este de la Comunidad de Madrid (40,9 °C en Arganda y 40,6 °C en Aranjuez y Alcalá de Henares) en estaciones localizadas en la Sierra, la temperatura umbral es mucho más baja (29,8 °C en el Puerto de Navacerrada y 36 °C en Buitrago de Lozoya). Desde el punto de vista espacial existe una disminución gradual de la temperatura umbral desde el sur y sureste hacia el noroeste, en íntima relación con el aumento de la altitud.

Durante el verano de 2022 se han producido dos olas de calor. La primera ola tuvo lugar entre el 14 y el 18 de junio de 2022, con unas temperaturas máximas que fluctuaron entre los 41,4 °C en Arganda y los 30 °C del Puerto de Navacerrada. Su duración osciló entre 3 y 4 días según las zonas. La segunda ola de calor que tuvo lugar entre los días 12 y 18 de julio, fue más intensa que la del mes de junio. Las temperaturas máximas alcanzaron valores entre 43,6 °C en Arganda y 33,4 °C en el Puerto de Navacerrada. Su duración fue también mayor, entre 5 y 6 días. Los días de olas de calor se caracterizaron por tener noches cálidas con temperaturas mínimas superiores a 20 °C.

En cuanto a la extensión espacial de estos episodios, la ola de calor de junio no afectó a la zona de la sierra de Madrid, sin embargo, la ola de calor de julio se extendió por toda la Comunidad de Madrid.

El porcentaje de noches cálidas es más elevado en el mes de julio en todas las estaciones salvo en Alcalá de Henares que es en agosto. Las cifras más elevadas se

registran en estaciones donde se deja sentir el efecto urbano de isla de calor como en Getafe, Cuatro Vientos y Retiro. El menor número de noches cálidas se produce en el mes de junio en las mismas estaciones.

La circulación atmosférica responsable de estas temperaturas elevadas fue la llegada de masas de aire tropicales, cálidas y secas procedentes del desierto del Sahara. La situación sinóptica de las dos olas de calor fue similar, se dibujó una cresta anticiclónica sobre la Península Ibérica con temperaturas entre 30 °C y 32 °C a 850 hPa (1550-1600 m). Comprender los patrones de circulación atmosférica de estos episodios y su génesis es clave para ayudar en la gestión de los riesgos dentro de un escenario de calentamiento climático del planeta.

La concentración de PM<sub>10</sub> durante los episodios cálidos fue muy desigual. En la ola de calor de junio, se alcanzaron valores diarios que duplican los 50 µg/m<sup>3</sup>, umbral establecido por la legislación europea y española. El peor día fue el 15 de junio en el que ocho estaciones de contaminación llegaron a registrar más de 100 µg/m<sup>3</sup>. En la ola de calor de julio la concentración de partículas no fue tan elevada, salvo en una estación, en el resto, no se superó el límite diario.

La distribución espacial de la contaminación por PM<sub>10</sub> muestra una zona central con los valores más altos, donde a las partículas procedentes del tráfico se unen las correspondientes a las masas de aire africanas y una disminución de los valores hacia el norte y sureste de la Comunidad de Madrid.

*Palabras clave:* Noches cálidas, olas de calor, PM<sub>10</sub>, interpolación espacial, circulación atmosférica, Comunidad de Madrid.

## Evidence of climate change in the summer of 2022: hot weather, tropical nights and poor air quality by PM<sub>10</sub> in the Community of Madrid

The summer of 2022 went characterized by extreme high temperatures either by day or night, evidencing the continuous warming process occurring in last decades as a result of radiative forcing. The latest IPCC Report (2022) forecasts the more frequent and severe extreme weather events, particularly extreme heat episodes in most inhabited regions. In the latest climate change scenarios set for Spain by AEMET, the growth for the annual scale of maximum temperatures is in between 2 °C and 6.4 °C, more pronounced in summer, more acute in the inland, the area under consideration in this paper. A similar trend is expected for minimum temperatures, although less pronounced than for maximum ones (AEMET, 2020). These changes represent a threat to human health, which is directly afflicted by morbidity and mortality from cardiovascular and respiratory causes, heat stress, the worsening of chronic diseases and injuries, and indirectly by air pollution.

This paper addresses three objectives: First, to study the frequency, intensity, and length of heat waves during the summer of 2022 in the Community of Madrid as well as the frequency of tropical or warm nights, considered those that exceed 20 °C. Secondly, to analyze PM<sub>10</sub> pollution during detected episodes of intense heat. And thirdly to explain the atmospheric circulation patterns leading to these phenomena.

For a better development of the heat study, both maximum by day and minimum by night-time temperatures have been used, to take into account the effects of heat during the night, because its more intense impact on human wellbeing. The data corresponds to the three summer months, i.e., June, July, and August, from twelve stations of the Community of Madrid, all of them representative of different climatic zones.

The particulate matter data come from 42 stations, 19 of which are from the Madrid Community's air quality network and 13 from the Madrid City Council's air quality network.

The general circulation patterns that explain the heat waves have been established from the daily synoptic maps, and from the characteristics of upper air data of the Barajas atmospheric sounding station.

Used methodology consists in calculate for each station a threshold temperature that is the result of calculating the 90th percentile of the maximum daily temperatures of the three summer months. Next, warm episodes are calculated when, in at least three consecutive days, the threshold temperature is equaled or exceeded. Warm days have been determined, when, at least 10% of the stations considered, are within one of the warm episodes. Finally, heat waves have been spotted in every episode of three or more warm days. The factors determining the intensity of the heat wave are reached temperatures, length, and extension.

Spatial interpolation techniques have been also used to model the threshold temperature, the number of warm nights and the particulate matter levels in the Community of Madrid. The use of these techniques led us to reveal the temporal sequence of these phenomena in the different areas of the Community of Madrid over several days, which provides an appreciation of where and with what intensity its adverse effects are suffered.

The achieved results show that the threshold temperature differs greatly from one station to another. While this temperature exceeds 40 °C in the south and east of the Community of Madrid (40.9 °C in Arganda and 40.6 °C in Aranjuez and Alcalá de Henares) in stations located in the Sierra, the threshold temperature is much lower (29, 8 °C at Puerto de Navacerrada and 36 °C at Buitrago de Lozoya). From the spatial point of view, there is a gradual decrease in the threshold temperature from the south and southeast to the northwest, closely related to altitude.

During the summer of 2022 there have been two heat waves. The first wave took place between June 14 and 18, 2022, with maximum temperatures that fluctuated between 41.4 °C in Arganda and 30 °C in Puerto de Navacerrada. Its duration oscillated between 3 and 4 days depending on the zones. The second heat wave occurred between July 12 and 18 and was more intense than the previous of June. The maximum temperatures reached values between 43.6 °C in Arganda and 33.4 °C in the Pass of Navacerrada. Its duration was also longer, between 5 and 6 days. The days of heat waves were characterized by having warm nights with minimum temperatures above 20 °C.



As for the spatial extension of these episodes, June's heat wave did not affect the area of the Sierra de Madrid (*mountains*); however, the July heat wave spread throughout the entire Community of Madrid.

The percentage of warm nights is the highest for July in all stations, except in Alcalá de Henares, where was in August. The highest data are recorded in stations where the urban heat island effect is felt, such as Getafe, Cuatro Vientos and Retiro. The lowest number of warm nights occurs in the month of June in the same stations.

The atmospheric circulation responsible for these high temperatures was the advent of tropical warm and dry air masses from the Sahara Desert. The synoptic situation of the two heat waves was similar, an anticyclonic crest was drawn over the Iberian Peninsula with temperatures between 30 °C and 32 °C at 850 hPa (1550-1600 m). Understanding the atmospheric circulation patterns of these episodes as well as their genesis, are the main keys to assist the management of risks within a global warming scenario.

During these warm episodes, the concentration of PM<sub>10</sub> was very uneven. In the June heat wave, daily values reached the double 50 µg/m<sup>3</sup>, the threshold established by European and Spanish legislation. The worst day was June 15, when eight pollution stations recorded more than 100 µg/m<sup>3</sup>. In the July heat wave, the concentration of particles was not so high, with the only exception of a single station. In all the others, daily limits were never exceeded.

The spatial distribution of PM<sub>10</sub> pollution shows a central area with the highest values, where particles from traffic join those corresponding to African air masses and a decrease in values towards the north and southeast of the Community of Madrid.

**Keywords:** Warm night, heat wave, air particulate matter (PM<sub>10</sub>), spatial interpolation, atmospheric circulation, Community of Madrid.



# ESTUDIO DE LA MOVILIDAD INTERURBANA EN LOS CORREDORES DE AUTOBUSES REGIONALES DE MADRID EN EL ESCENARIO POSTCOVID

CARA SANTANA, YERAY

Investigador predoctoral, tGIS, Departamento de Geografía, Facultad de Geografía e Historia, Universidad Complutense de Madrid, C/ Profesor Aranguren, s/n, Ciudad Universitaria, 28040, Madrid, [yecara@ucm.es](mailto:yecara@ucm.es), <https://orcid.org/0000-0002-4192-9698>

MOYA-GÓMEZ, BORJA

Profesor Ayudante Doctor, tGIS, Departamento de Geografía, Facultad de Geografía e Historia, Universidad Complutense de Madrid, C/ Profesor Aranguren, s/n, Ciudad Universitaria, 28040, Madrid, [bmoyagomez@ucm.es](mailto:bmoyagomez@ucm.es), <https://orcid.org/0000-0002-0520-039X>

GARCÍA PALOMARES, JUAN CARLOS

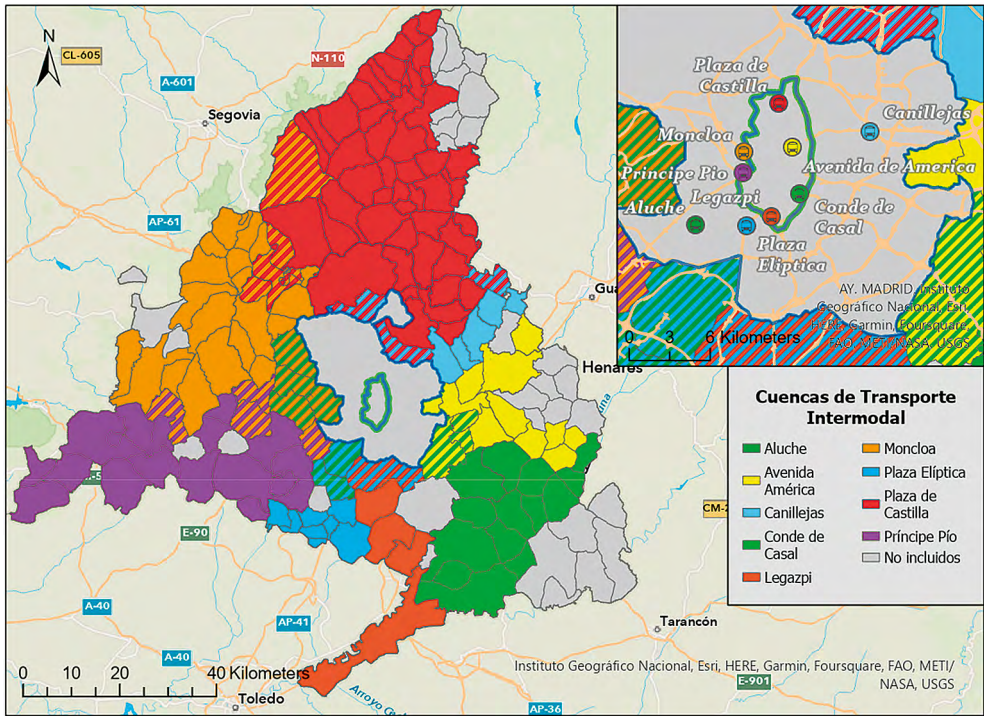
Catedrático, tGIS, Departamento de Geografía, Facultad de Geografía e Historia, Universidad Complutense de Madrid, C/ Profesor Aranguren, s/n, Ciudad Universitaria, 28040, Madrid, [jcgarcia@ucm.es](mailto:jcgarcia@ucm.es), <https://orcid.org/0000-0002-8759-6809>

**E**l modelo de validación a bordo mediante tarjetas inteligentes en el sistema de transporte constituye una fuente importante de Big Data geolocalizado. Dicho modelo genera grandes volúmenes de información, continua en el tiempo y con una elevada desagregación espacial. Estas bases de datos poseen una gran utilidad en el análisis del sistema de transporte de una ciudad, ya sea como registro del funcionamiento pasado, o como fundamento para la proyección del comportamiento futuro. Esta comunicación expone un análisis de los cambios acontecidos en la demanda de viajeros, para los principales corredores de autobuses regionales de Madrid, ocasionados por la pandemia de la COVID-19. El objetivo principal del estudio consiste en establecer qué magnitud alcanzó el descenso en la demanda de viajeros y cómo se ha desarrollado su posterior recuperación en la Comunidad de Madrid. Adicionalmente y como objetivos secundarios, los datos disponibles han permitido estudiar la demanda desagregada por razón de género y grupo etario.

Los datos referentes a cada línea de la red de autobuses interurbanos han sido agregados en cuencas de transporte, compuestas por aquellas líneas que comparten una misma estación intermodal de referencia en la ciudad de Madrid. De este modo, se han establecido 9 cuencas de transporte, que suman un total de 170 líneas de autobuses regionales, que dan servicio a Madrid y otros 148 municipios de la provin-

cia (Figura 1). En este estudio, se han excluido aquellas estaciones que no agrupan más de 5 líneas regionales, además de excluir los servicios de transporte nocturno y los servicios enlazados con otras capitales de provincia gestionadas por el Consorcio Regional de Transportes de Madrid (CRTM). Debe resaltarse que la cuenca de transporte asociada a la estación intermodal de Aluche (verde oscuro), está compartida con otros corredores y no posee municipios con pertenencia exclusiva a dicha cuenca de transporte.

Figura 1. Principales cuencas de transporte por autobús regional.



Fuente: Consorcio Regional de Transportes de Madrid (CRTM). Elaboración propia.

La base de datos empleada en este estudio abarca un período de 5 meses diferentes, con registros horarios de las validaciones realizadas entre 2020 y 2022 (Tabla 1).

Tabla 1. Meses disponibles en la base de datos.

2020												2021												2022											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
X												X											X	X	X										

Elaboración propia.

De este modo, febrero de 2020 es empleado como un mes de referencia anterior a la pandemia de la COVID-19. Febrero y noviembre de 2021 coinciden con meses afectados por diversas restricciones de movilidad y enero y febrero de 2022 representan meses de relativa vuelta a la normalidad.

La variable socioeconómica edad ha sido agrupada en 4 grupos etarios: infantil (0-7 años), joven (7-26 años), adulto (26-65 años) y jubilado (65 años o más), coincidiendo así con la clasificación tarifaria por edad que establece el Consorcio Regional de Transportes de Madrid (CTRM).

Partiendo de la metodología expuesta, se establecieron las siguientes cuestiones de investigación:

¿Qué impacto ocasionó la COVID-19 en el volumen de viajes realizados en autobuses regionales? ¿Se ha recuperado el volumen de viajes previo a la pandemia?

¿Cuál ha sido el impacto ocasionado en cada cuenca de transporte?

¿Cómo afectó la crisis sanitaria al volumen de viajes realizado por los diferentes grupos sociales por razón de género y grupo etario?

Tomando como mes de referencia febrero de 2020, por ser el mes anterior a la pandemia de la COVID-19, el volumen de viajes en el conjunto de las cuencas descendió de media hasta el 57,2 % tras el primer año (febrero 2021) y se recuperó hasta el 79,9 % en el segundo año (febrero 2022). El desempeño global de la demanda media de viajes en el conjunto de los cuatro meses fue del 72,6 % en los corredores analizados, registrando una menor demanda en las cuencas de Avenida América (71,1 %) y Moncloa (71,8 %), frente a los mayores valores de los corredores de Plaza Elíptica (75,3 %) y Canillejas (74,9 %), siendo la diferencia porcentual entre los corredores con más (Plaza Elíptica) y menos viajes (Avenida América) de un 4,2 %.

De forma leve, las cuencas ubicadas al Sur de Madrid como Conde de Casal, Legazpi y Plaza Elíptica presentan una demanda de viajeros superior a las cuencas de transporte ubicadas en los ejes Este y Oeste como Moncloa, Príncipe Pío y Avenida América. Para cada mes analizado, la diferencia de demanda entre la cuenca con mayor y menor demanda tiende a reducirse cuanto mayor es la recuperación de la movilidad general, indicando que no existe un patrón geográfico relevante en la evolución de la movilidad en la Comunidad de Madrid. No obstante, hasta la fecha más reciente en el estudio realizado, la demanda de viajes por autobús interurbano continúa un 18 % por debajo de los niveles prepandemia.

Desagregando el análisis de la demanda en sus diferentes características socioeconómicas, se destacan los siguientes resultados:

En el análisis por género, en el primer año (febrero 2021) se registró en la provincia una demanda media del 52,8 % para los hombres y un 55,5 % de media para las mujeres. En el segundo año (febrero 2022) dichos valores ascendieron hasta el 78 % para los hombres y el 78,1 % para las mujeres. Para ambos sexos, coinciden las cuencas asociadas al intercambiador de Avenida América y Príncipe Pío como las que registraron menos viajes, así como las cuencas de Canillejas y Plaza Elíptica entre las que más viajes registraron. Aunque la diferencia máxima de viajes entre cuencas para el conjunto del estudio fue de un 6,2 % para los hombres y un 4,1 % para las mujeres.

La caída en la demanda de viajes para los autobuses regionales ha resultado mayor entre los hombres que entre las mujeres. No obstante, las mujeres constituyen el colectivo más numeroso de los usuarios de los autobuses interurbanos con el 57 % de las validaciones, por lo que en términos absolutos, se han registrado menos validaciones de media en mujeres (1,7 millones) que de hombres (1,3 millones). También cabe destacar una mayor diferencia de demanda entre cuencas de transporte para hombres que para mujeres, si bien se observó que las cuencas con mayor y menor demanda para ambos géneros son similares. Esto podría indicar una mayor estabilidad geográfica en la demanda general de viajes para las mujeres que para los hombres, donde las tendencias son coincidentes para ambos géneros, pero dichas tendencias se manifiestan con mayor fuerza entre los hombres.

En el análisis por grupo etario asociado a la tarifa del Consorcio Regional de Transportes de Madrid se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 2).

**Tabla 2.** Principales indicadores de demanda de viajes por grupo etario.

Tarifa	Demanda mensual en la Comunidad de Madrid					Demanda global por cuenca de transporte		
	feb-21	nov-21	ene-22	feb-22	Global	Mayor demanda	Menor demanda	Diferencia
Infantil	52,5%	96,1%	53,7%	64,0%	66,6%	Conde de Casal	Plaza de Castilla	27,14%
Joven	57,4%	99,8%	70,1%	88,4%	78,9%	Legazpi	Aluche	8,1%
Adulto	62,0%	76,6%	68,7%	76,1%	70,8%	Plaza Elíptica	Avenida América	7,6%
Jubilado	34,5%	67,8%	61,1%	69,1%	58,1%	Avenida América	Plaza de Castilla	7,3%

Elaboración propia.

De la tabla anterior cabe destacar al conjunto de los jóvenes como el colectivo con la mayor recuperación de la movilidad general. Por el contrario, es el grupo de los jubilados el colectivo que, tras presentar la mayor caída en su movilidad general, menos variaciones ha presentado en la progresiva recuperación de la movilidad general. Respecto a la demanda global por cuencas, no se ha detectado un patrón común por grupo etario para los corredores con mayor y menor demanda de viajes. Sin embargo, sí se ha detectado una mayor estabilidad en la diferencia de demanda entre cuencas de transporte cuanto mayor es la edad del grupo etario.

El estudio presentado consistió en un primer análisis de las principales tendencias de la movilidad regional en la Comunidad de Madrid, tras los confinamientos decretados por la COVID-19 a través del uso de una base de datos geolocalizados. Se confirma que el Big Data basado en las validaciones de tarjetas inteligentes de transporte constituye una herramienta fiable, continua y asequible para analizar los patrones de movilidad urbana, aunque requieren de un proceso laborioso de exploración y depuración del dato no exento de posibles omisiones como cualquier otra fuente de datos. Además, es recomendable complementar estos datos con otras estadísticas que contextualicen la realidad presente en el área de estudio abarcada, dada la relación existente entre el contexto territorial de una ciudad y los patrones de movilidad de sus ciudadanos.

A pesar del elevado nivel de agregación geográfico y socioeconómico utilizado en este estudio, se han conseguido determinar las mayores diferencias de movilidad

acontecidas en Madrid entre 2020 y 2022 para los autobuses regionales. Estas tendencias han servido para establecer la hoja de ruta a seguir en las sucesivas fases del proyecto de investigación en curso. En dicha investigación, se profundizará en una mayor desagregación temporal, geográfica y socioeconómica de los datos, así como en la inclusión del resto de modos de transporte gestionados por el Consorcio Regional de Transportes de Madrid. Los resultados obtenidos servirán de apoyo para analizar la realidad socioeconómica y geográfica de la Comunidad de Madrid en el escenario postcovid, con el fin de estudiar posibles procesos de desigualdad social a través de la movilidad urbana.

*Palabras clave:* Movilidad interurbana, Big Data, tarjetas inteligentes, COVID-19.

*Financiación:* Esta publicación es parte del proyecto PID2020-116656RB-I00 (NEWGEOMOB) financiado por MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033 y del proyecto PCI2020-120706-2 (DARUMA), financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033, dentro del programa de colaboración científica internacional EIG-CONCERT-JAPAN.

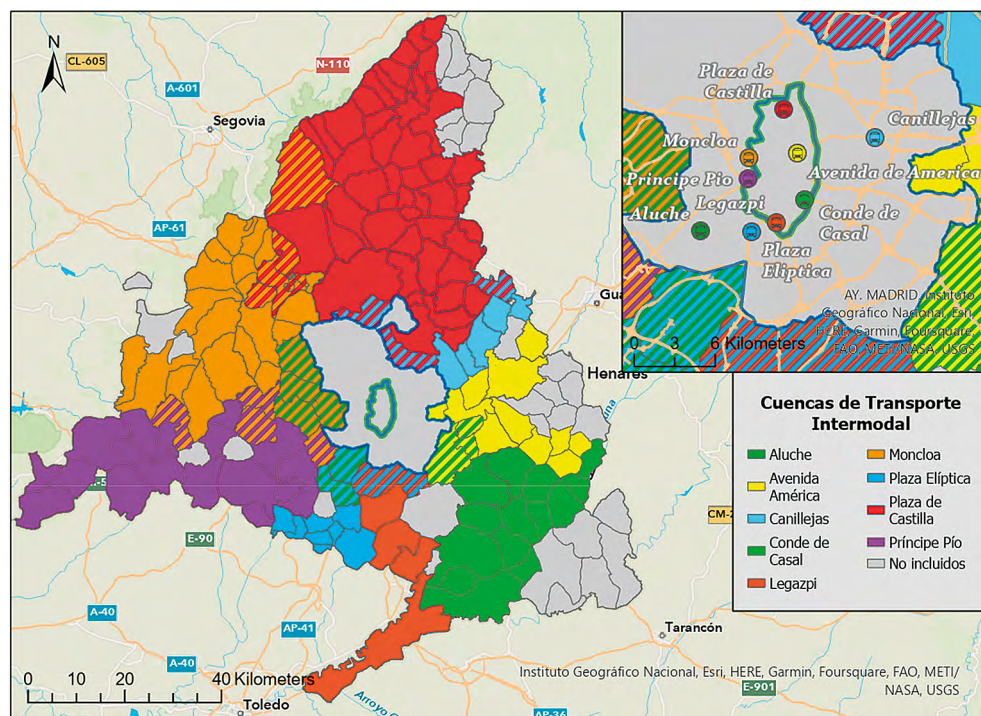
## Study of interurban mobility in the regional bus corridors of Madrid in the post-covid scenario

The on-board validation model using smart cards in the transportation system is an important source of geolocalized Big Data. This model generates large volumes of information, continuous over time and with a high spatial disaggregation. These databases are very useful in the analysis of a city's transportation system, either as a record of past performance or as a basis for projecting future behavior. This paper presents an analysis of the changes in passenger demand, for the main regional bus corridors of Madrid, caused by the COVID-19 pandemic. The main objective of the study is to establish the magnitude of the decline in passenger demand and how its subsequent recovery has developed in the Community of Madrid. Additionally and as secondary objectives, the available data have allowed us to study the demand disaggregated by gender and age group.

The data referring to each line of the interurban bus network have been aggregated into transport basins, composed of those lines that share the same intermodal reference station in the city of Madrid. Thus, 9 transport basins have been established, totaling 170 regional bus lines, serving Madrid and 148 other municipalities in the province (Figure 1). In this study, those stations that do not group more than 5 regional lines have been excluded, in addition to excluding night transport services and services linked to other provincial capitals managed by the Regional Transport Consortium of Madrid (CRTM). It should be noted that the transport basin associated with the Aluche intermodal station (dark green) is shared with other corridors and has no municipalities belonging exclusively to that transport basin.



Figure 1. Main regional bus transportation basins. Source: Madrid Regional Transport Consortium (CRTM).



Own elaboration.

The database used in this study covers a period of 5 different months, with hourly records of validations performed between 2020 and 2022 (Table 1).

Table 1. Months available in the database.

2020												2021												2022											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	X												X										X	X	X										

Own elaboration.

Thus, February 2020 is used as a reference month prior to the COVID-19 pandemic. February and November 2021 coincide with months affected by various mobility restrictions and January and February 2022 represent months of relative return to normality.

The socioeconomic variable age has been grouped into 4 age groups: children (0-7 years), youth (7-26 years), adult (26-65 years) and retired (65 years and over), thus coinciding with the fare classification by age established by the Regional Transport Consortium of Madrid (CRTM).



Based on the above methodology, the following research questions were established:

What impact did COVID-19 have on the volume of trips made on regional buses, and has the pre-pandemic volume of trips been recovered?

What has been the impact on each transportation basin?

How did the health crisis affect the volume of travel by different social groups by gender and age group?

Taking February 2020 as the reference month, as it was the month prior to the COVID-19 pandemic, travel volume in the basins as a whole declined on average to 57.2% after the first year (February 2021) and recovered to 79.9% in the second year (February 2022). The overall performance of average trip demand over the four months as a whole was 72.6% in the corridors analyzed, with lower demand recorded in the Avenida América (71.1%) and Moncloa (71.8%) catchment areas, compared to higher values in the Plaza Elíptica (75.3%) and Canillejas (74.9%) corridors, with the percentage difference between the corridors with the most (Plaza Elíptica) and fewest trips (Avenida América) being 4.2%.

In a slight way, the corridors located in the South of Madrid such as Conde de Casal, Legazpi and Plaza Elíptica show a higher passenger demand than the corridors located in the East and West axes such as Moncloa, Príncipe Pío and Avenida América. For each month analyzed, the difference in demand between the basin with the highest and lowest demand tends to reduce the greater the recovery of general mobility, indicating that there is no relevant geographical pattern in the evolution of mobility in the Community of Madrid. However, as of the most recent date in the study, the demand for intercity bus travel continues to be 18% below pre-pandemic levels.

Disaggregating the analysis of demand into its different socioeconomic characteristics, the following results stand out:

In the analysis by gender, in the first year (February 2021) an average demand of 52.8% for men and 55.5% for women was recorded in the province. In the second year (February 2022) these values rose to 78% for men and 78.1% for women. For both sexes, the catchment areas associated with the Avenida América and Príncipe Pío interchanger coincided as the ones that recorded the fewest trips, and the Canillejas and Plaza Elíptica catchment areas were the ones that recorded the most trips. However, the maximum difference in trips between the basins for the study as a whole was 6.2% for men and 4.1% for women.

The drop in travel demand for regional buses was greater for men than for women. However, women constitute the largest group of intercity bus users with 57% of the validations, so that in absolute terms, there have been fewer validations on average among women (1.7 million) than among men (1.3 million). Also noteworthy is a greater difference in demand between transport basins for men than for women, although it was observed that the basins with the highest and lowest demand for both genders are similar. This could indicate greater geographic stability in overall travel demand for women than for men, where trends are coincident for both genders, but such trends are more pronounced among men.

In the analysis by age group associated with the Madrid Regional Transport Consortium fare, the following results were obtained (Table 2).

Tabla 2. Main travel demand indicators by age group.

Tarifa	Demanda mensual en la Comunidad de Madrid					Demanda global por cuenca de transporte		
	feb-21	nov-21	ene-22	feb-22	Global	Mayor demanda	Menor demanda	Diferencia
Infantil	52,5%	96,1%	53,7%	64,0%	66,6%	Conde de Casal	Plaza de Castilla	27,14%
Joven	57,4%	99,8%	70,1%	88,4%	78,9%	Legazpi	Aluche	8,1%
Adulto	62,0%	76,6%	68,7%	76,1%	70,8%	Plaza Elíptica	Avenida América	7,6%
Jubilado	34,5%	67,8%	61,1%	69,1%	58,1%	Avenida América	Plaza de Castilla	7,3%

Own elaboration.

From the table above, it is worth highlighting the group of young people as the group with the greatest recovery in general mobility. On the other hand, it is the group of retired persons that, after showing the greatest drop in general mobility, has shown the least variation in the progressive recovery of general mobility. With respect to overall demand by basin, no common pattern by age group has been detected for the corridors with the highest and lowest travel demand. However, a greater stability in the difference in demand between transport basins has been detected the older the age of the age group.

The study presented consisted of a first analysis of the main trends of regional mobility in the Community of Madrid, after the confinements decreed by COVID-19 through the use of a geolocalized database. It is confirmed that Big Data based on smart transport card validations constitutes a reliable, continuous and affordable tool for analyzing urban mobility patterns, although they require a laborious process of exploration and debugging of the data not exempt from possible omissions like any other data source. In addition, it is advisable to complement these data with other statistics that contextualize the reality present in the study area covered, given the relationship between the territorial context of a city and the mobility patterns of its citizens.

Despite the high level of geographical and socioeconomic aggregation used in this study, we have managed to determine the greatest differences in mobility in Madrid between 2020 and 2022 for regional buses. These trends have served to establish the roadmap to be followed in the successive phases of the ongoing research project. In this research, a greater temporal, geographical and socioeconomic disaggregation of the data will be carried out, as well as the inclusion of the other modes of transport managed by the Madrid Regional Transport Consortium. The results obtained will serve as support for analyzing the socioeconomic and geographic reality of the Community of Madrid in the postcovid scenario, in order to study possible processes of social inequality through urban mobility.

**Keywords:** Interurban mobility, Big Data, smart cards, COVID-19.

# IDENTIFICACIÓN DE SOLARES Y CARACTERIZACIÓN DE LOS ESPACIOS PRODUCTIVOS DE ANDALUCÍA MEDIANTE LA REUTILIZACIÓN DE FUENTES DE INFORMACIÓN ADMINISTRATIVAS

CASTILLA HIGUERO, EDUARDO

Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, Calle Leonardo Da Vinci nº 21, 41071, España,  
[eduardo.castilla@juntadeandalucia.es](mailto:eduardo.castilla@juntadeandalucia.es)

COPANO ORTIZ, LUIS

Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, Calle Leonardo Da Vinci nº 21, 41071, España,  
[luis.copano@juntadeandalucia.es](mailto:luis.copano@juntadeandalucia.es)

MERCHÁN JIMÉNEZ ANDRADES, JOSÉ IGNACIO

Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, Calle Leonardo Da Vinci nº 21, 41071, España,  
[josei.merchan@juntadeandalucia.es](mailto:josei.merchan@juntadeandalucia.es)

MORENO MUÑOZ, JOSÉ ANTONIO

Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, Calle Leonardo Da Vinci nº 21, 41071, España,  
[josea.moreno.munoz@juntadeandalucia.es](mailto:josea.moreno.munoz@juntadeandalucia.es)

PARDO PÉREZ, EMILIO JOSÉ

Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, Calle Leonardo Da Vinci nº 21, 41071, España,  
[emilioj.pardo@juntadeandalucia.es](mailto:emilioj.pardo@juntadeandalucia.es)

**E**l presente trabajo se enmarca dentro del proyecto Espacios Productivos de Andalucía (ESPAND) cuyo objetivo principal es dar a conocer la distribución territorial de estos espacios, la localización de las empresas y establecimientos situados en su interior y la caracterización tanto de los propios espacios productivos a partir del empleo, como de las parcelas en función del tipo de uso recogido en la información catastral, lo que permite identificar los solares disponibles para su edificación.

Se trata de un proyecto colaborativo entre distintos entes del sector público, coordinado por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA) con el apoyo de centros directivos y entes instrumentales de la Junta de Andalucía como la Secretaría General de Investigación e Innovación, la Secretaría General de Industria y Minas, la Consejería de Fomento, Articulación del Territorio y Vivienda, la Agencia

de Innovación y Desarrollo de Andalucía (IDEA), la Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía (AVRA), la Agencia Andaluza de la Energía (AAE), la Agencia Digital de Andalucía (ADA) o la Agencia Pública de Puertos de Andalucía (APPA), así como Puertos del Estado a través de las Autoridades Portuarias de Huelva, Bahía de Algeciras, Málaga y Almería-Motril.

El proyecto se enmarca dentro de la economía del conocimiento, donde el concepto de reutilización de la información del sector público (RISP) presenta un importante potencial económico, ya que constituye una base esencial para la generación de nuevos productos y servicios digitales que generen beneficios tanto para los ciudadanos, por medio de la mejora de la transparencia respecto a las actividades que realizan las administraciones públicas, como para las empresas, a través de una mejor accesibilidad a la información que permita la aplicación de nuevas tecnologías para la toma de decisiones. La difusión de los datos del proyecto proporcionará un alto valor añadido puesto que la información permitirá caracterizar los espacios productivos de Andalucía a partir de los diferentes usos de las parcelas catastrales, identificando aquellas que son solares y, por tanto, susceptibles de soportar nuevas actividades industriales y científico-tecnológicas.

Como fuentes de información utilizadas destacan diversas infraestructuras de datos producidas por el IECA como son la capa de espacios productivos de los Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (DERA), el Directorio de Empresas y Establecimientos con Actividad Económica en Andalucía, el Callejero Digital de Andalucía Unificado (CDAU), así como la base de datos cartográfica y alfanumérica de la Dirección General del Catastro o la información proporcionada por empresas de suministros como son la infraestructura eléctrica (líneas y subestaciones), gasoductos y cobertura de redes ultrarrápidas. Finalmente, la propia Infraestructura de Datos Espaciales de Andalucía (IDEAndalucía) proporciona el soporte necesario para la publicación de los servicios web de los conjuntos de datos espaciales y la implementación de la tecnología de visores.

La metodología de trabajo consta de varias fases en cuanto al tratamiento y análisis de la información, que se ha realizado mediante tecnologías libres y de código abierto como la base de datos espacial PostgreSQL+PostGIS, el Sistema de Información Geográfica QGIS y Mapea, API para la construcción de visualizadores web de mapas.

## FASE 1. IDENTIFICACIÓN DE LOS ESPACIOS PRODUCTIVOS

Los espacios productivos normalmente lo constituyen una misma unidad urbanística donde se ubican, de forma mayoritaria, empresas y establecimientos pertenecientes a los sectores secundario y terciario y que comparten infraestructuras y servicios. Comúnmente se denominan Polígonos Industriales, Parques industriales y Parques Empresariales. Si las actividades están relacionadas con el transporte y logística, los espacios productivos engloban a Ciudades del Transporte, Centros Logísticos, Zonas de Actividad logística (ZAL) y Plataformas Logísticas. Cuando la actividad del espacio productivo se centra en el desarrollo de proyectos de innovación específicos y ligados al propio espacio, se constituyen los Parques Científico-Tecnológicos.

Su identificación consiste en documentar, inventariar y delimitar gráficamente los espacios productivos en Andalucía y la generación de una tabla espacial de tipo vectorial que se integra en el producto cartográfico DERA. Los datos integrados en el Inventario del Sistema de Espacios Productivos de Andalucía (SESPA) son revisados por medio de otras fuentes de información como son los instrumentos de planeamiento urbanístico, el Inventario Toponómico de Asentamientos de la Comunidad de Andalucía (ITACA), el Sistema de Información de Poblaciones de Andalucía, el Catálogo de Suelo Industrial de Andalucía, otros inventarios y catálogos realizados en el ámbito de la administración local y la Distribución Espacial de las Tipologías Constructivas Catastrales en Andalucía, producto derivado de la información catastral.

La delimitación geométrica de los polígonos se realiza mediante fotointerpretación utilizando como base de referencia cartográfica la ortofotografía del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) más reciente, con una escala de digitalización 1:2.500 y precisiones geométricas y posicionales correspondientes a las exigidas a las de una cartografía 1:5.000, así como el ajuste geométrico, siempre que sea posible, a los límites de las parcelas catastrales.

## **FASE 2. MEJORA DE VIALES Y PORTALES EN LOS ESPACIOS PRODUCTIVOS**

El CDAU es el conjunto de datos alfanuméricos y geográficos de vías y portales de todos los municipios de Andalucía, siendo un proyecto colaborativo (diputaciones, ayuntamientos, Emergencias 112 Andalucía) que está en continuo proceso de actualización y mejora mediante la resolución de incidencias que se gestionan mediante una plataforma de mantenimiento del dato. Dentro de sus tareas habituales se incorporaron otras relacionadas con el proyecto ESPAND con el objetivo de conseguir, en fases posteriores, una mejor y más completa geolocalización de las empresas y establecimientos con actividad económica, donde se priorizó la resolución de vías y portales ubicados en el interior de los espacios productivos.

## **FASE 3. GEOCODIFICACIÓN DEL DIRECTORIO DE EMPRESAS Y ESTABLECIMIENTOS CON ACTIVIDAD ECONÓMICA DE ANDALUCÍA**

Se trata de geocodificar las direcciones postales (más de 700 mil de las que casi un 6 % están ubicadas en espacios productivos) contenidas en el Directorio de Empresas y Establecimientos con Actividad Económica de Andalucía, que proceden de una serie de registros administrativos como son, entre otros, las Cuentas de cotización de la Seguridad Social, el Directorio central de empresas del Instituto Nacional de Estadística (INE) o el Registro Mercantil. Al proceder la información de diversas fuentes, es necesario realizar un proceso previo de normalización de direcciones mediante la utilización de la herramienta aLink para, posteriormente, realizar la geocodificación, para lo cual se ha desarrollado una plataforma para el tratamiento de datos, denominada GeoEst, donde es posible sistematizar los procesos de búsqueda de direcciones correctas asegurando la transparencia y su trazabilidad.

Para realizar la geocodificación se han utilizado diversas fuentes, principalmente CDAU, aunque también otras como la información de callejero contenidas en ArcGIS, OpenStreetMap (OSM) y Catastro. El procedimiento consiste en geocodificar las direcciones a partir de todas las fuentes disponibles y emplear un algoritmo de selección que determina cuál es la coordenada más adecuada en base a dos criterios: la fuente de procedencia de las coordenadas obtenidas (siendo CDAU fuente prioritaria) y la precisión del proceso de enlace, tomando en primer lugar las coordenadas geocodificadas a portal exacto, a continuación las relativas a portal cercano y, por último, las referenciadas al centro o inicio de la vía.

#### **FASE 4. CARACTERIZACIÓN DE LOS ESPACIOS PRODUCTIVOS**

Tras la geocodificación se procede a la caracterización de los espacios productivos en base a dos variables: el estado de desarrollo físico del espacio productivo (consolidado, en consolidación, trazado y planificado) y, para aquellos en los que ya exista actividad, por medio del análisis del empleo de los establecimientos y de la actividad económica que desarrollan según la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE 2009), para establecer 4 categorías: Científico-Tecnológico, Industria y Comercio, Logístico y Servicios.

#### **FASE 5. OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PARCELAS CATASTRALES UBICADAS EN ESPACIOS PRODUCTIVOS**

Se parte de la capa geográfica de parcelas de la Dirección General del Catastro, que se relaciona con la tabla espacial de espacios productivos, generada en la primera fase del proyecto, mediante la superposición de ambas. Así, se obtienen todas aquellas parcelas catastrales contenidas completamente dentro de un espacio productivo o que buena parte de su superficie esté contenida en el mismo y, con carácter general, se descartan las que contengan menos del 10 % de su superficie en su interior. En el caso de aquellas parcelas obtenidas cuyos polígonos formen parte de más de un espacio productivo, se adscriben a aquel en el que posea mayor superficie.

Una vez se ha determinado qué parcelas se incluyen como pertenecientes a los espacios productivos y se ha creado su tabla espacial, es necesario cruzar sus registros con los relativos a las tablas del registro 11 (parcela), registro 14 (construcción) y registro 15 (inmueble) de Catastro.

Para la caracterización de las parcelas es necesario obtener la superficie total de la misma y, para cada bien inmueble, su uso principal (campo *grupo\_bim*, siendo el código 'M' el uso que se asimila con los solares), su coeficiente de participación dentro de la parcela a la que pertenece y su superficie, cuyo valor se obtiene a partir de una estimación por medio de la explotación de los datos catastrales. Con esta información, es posible conocer los distintos usos existentes en la parcela y los porcentajes dedicados a cada uso, siendo de interés en esta fase inicial del proyecto, los usos industrial y solar, recogiendo el resto de usos agrupados en una misma categoría. La tabla resultante también se cruza con el registro 14, ya que esta tabla nos permite conocer la actividad que se ejerce en cada una de las construcciones existentes en

los bienes inmuebles, si bien en esta versión del producto no se ha utilizado para la caracterización final de las parcelas.

## FASE 6. DIFUSIÓN DE RESULTADOS

La difusión de los datos generados en el proyecto ESPAND se realiza por medio de la web del IECA (<https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/espacios-productivos/index.htm>) donde se ofrece un visor con herramientas de navegación, búsqueda y filtrado tanto de las áreas industriales (incluidas infraestructuras y parcelas catastrales), como de los establecimientos y empresas ubicadas en las mismas, mediante una consulta interactiva. Además está disponible la información en formatos shape y formatos interoperables siguiendo el estándar OGC y reutilizables, como el servicio de visualización wms y el servicio de descarga wfs. En este último, los usuarios disponen también de información tabulada sobre usos y superficies de los distintos espacios productivos y las parcelas incluidas en estos, así como datos de referencia y georreferenciados tanto de los citados espacios y parcelas como de instalaciones eléctricas, gasísticas o de telecomunicaciones.

El visor web de mapas está basado en la API Mapea, de tecnología propia de la Junta de Andalucía, que lideran conjuntamente la ADA y el IECA, que nace como alternativa open source para homogeneizar tecnológicamente los visualizadores, con énfasis en la retrocompatibilidad y simplicidad de uso.

A modo de resumen, se han identificado 2.302 espacios productivos en Andalucía localizados en 542 municipios, clasificados según su estado en consolidados, en consolidación, trazados y planificados, y se han georreferenciado dentro de los mismos unos 40.000 establecimientos. Existen más de 9.000 hectáreas de solares en estos espacios, lo que representa el 26 % de la superficie total, siendo Sevilla, con casi 2.300 hectáreas la provincia con mayor superficie, seguida de Córdoba con 1.458 y Granada con 1.369. Si atendemos a los espacios identificados como consolidados o en consolidación (76 %), en los que ya existe actividad productiva, contienen casi 6.000 hectáreas de solares, lo que representa una cuarta parte del total de la superficie, por lo que existe suelo industrial sin edificar disponible para el inicio inmediato de la actividad productiva, puesto que disponen de las infraestructuras básicas para su funcionamiento. Como dato característico, y por ser una dinámica cada vez más extendida en los espacios productivos, decir que 149 hectáreas tienen uso deportivo, 107 cultural y 110 ocio-hostelería, lo que suma un total de 366 hectáreas, siendo Sevilla la provincia con mayor superficie en esas tres categorías (183 hectáreas), que representan el 50 % del total en Andalucía.

Este proyecto gozará de un mantenimiento continuo lo que permitirá que el conjunto de espacios productivos de Andalucía y la caracterización de las parcelas catastrales esté en constante revisión en cuanto a denominaciones, perimetrado, tipologías, usos principales y otros datos de interés que, junto a la georreferenciación de la actividad económica, dotará de inteligencia al sistema y permitirá depurar incoherencias en los conjuntos de datos que integra.

Por otro lado, desde la perspectiva del usuario, se pone a su disposición una herramienta que permite interaccionar con los datos y en la que a través de un potente buscador, se puede interrogar al sistema para que, por ejemplo, potenciales inversores hagan un diagnóstico del mejor lugar para ubicar una empresa en función de las características que ofrece el espacio, sus infraestructuras, la identificación de parcelas/ solares edificables por superficie y algunos otros parámetros.

*Palabras clave:* Direcciones, espacios productivos, geocodificación, parcelas catastrales, solares, visores.

*Financiación:* El proyecto Espacios Productivos de Andalucía (ESPAND) es una actividad integrada en el Sistema Estadístico y Cartográfico de Andalucía que se financia a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). El Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía ha sido distinguido por este proyecto con el Premio Asedie 2022, por la Asociación Multisectorial de la Información (ASEDIE), y con el Premio Socinfo Digital, por la Revista Sociedad de la Información Digital, en su convocatoria de premios Andalucía TIC en el apartado de Gobierno Abierto.

*Agradecimientos:* Este proyecto ha sido liderado por el IECA por medio de un equipo interadministrativo multidisciplinar formado por estadísticos, geógrafos, ingenieros en geomática e informáticos en los que han colaborado casi 40 personas procedentes de diversos organismos de la Junta de Andalucía, las Autoridades Portuarias de Huelva, Bahía de Algeciras, Málaga y Almería-Motril, y el Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Andalucía Occidental.

## Identification of undeveloped plots and characterization of industrial areas in Andalusia by the reuse of administrative data sources.

This paper is framed within the Inventory and Characterization of Industrial Areas of Andalusia (ESPAND) project, whose main objective is to provide information on the territorial distribution of these spaces, the location of the companies and establishments located within and the characterization of the industrial areas themselves based on employment, as well as on the plots according to the type of use collected in the cadastral information, which also allows identifying the plots available for development.

This is a collaborative project between different public sector entities, coordinated by the Institute of Statistics and Cartography of Andalusia (IECA) with the support of several Departments of the Regional Government of Andalusia such as the General Secretariat of Research and Innovation, the General Secretariat of Industry and Mines, the Department of Development, Articulation of Territory and Housing, the Innovation and Development Agency of Andalusia (IDEA), the Housing and Rehabilitation Agency of Andalusia (AVRA), the Andalusian Energy Agency (AAE), the Digital Agency of An-



dalusia (ADA) or the Public Ports Agency of Andalusia (APPA), as well as State Ports through the Port Authorities of Huelva, Bahía de Algeciras, Málaga and Almería-Motril.

The project is framed within the knowledge economy, where the concept of reuse of public sector information (RISP) presents an important economic potential, since it constitutes an essential basis for the generation of new digital products and services that generate benefits both for citizens, by improving transparency regarding the activities carried out by public administrations, and for companies, through better accessibility to information that allows the application of new technologies for decision making. The dissemination of the project data will provide a high added value since the information will make it possible to characterize the productive spaces of Andalusia based on the different uses of the cadastral plots, identifying those that are undeveloped and, therefore, susceptible of supporting new industrial and scientific-technological activities.

The sources of information used in this project include various data infrastructures systems produced by the IECA such as the layer of productive spaces of the Spatial Reference Data of Andalusia (DERA), the Directory of Companies and Establishments with Economic Activity in Andalusia, the Unified Digital Street Map of Andalusia (CDAU), as well as the cartographic and alphanumeric database of the General Directorate of Cadastre or the information provided by supply companies such as electricity infrastructure (lines and substations), gas pipelines and coverage of ultrafast networks. Finally, the Spatial Data Infrastructure of Andalusia (IDEAndalusia) itself provides the necessary support for the publication of the web services of the spatial data sets and the implementation of viewer technology.

The work methodology consists of several phases in terms of information processing and analysis, which has been carried out using free and open source technologies such as the PostgreSQL+PostGIS spatial database, the QGIS Geographic Information System and Mapea, API for the construction of web map viewers.

## PHASE 1. IDENTIFICATION OF INDUSTRIAL AREAS

Industrial areas are usually developed as urban industrial units by city planning in Andalusia. These areas are used by companies and establishments belonging mainly to the secondary and tertiary economic sectors and share infrastructures and services.

The identification consists of documenting, inventorying and graphically delimiting the industrial areas in Andalusia and the generation of a vectorial spatial table that is integrated into the DERA cartographic product. The data integrated in the Inventory of the System of Productive Spaces of Andalusia (SESPA) are reviewed by means of other sources of information such as the urban planning instruments, the Toponymic Inventory of Settlements of the Community of Andalusia (ITACA), the Information System of Populations of Andalusia, the Industrial Land Catalog of Andalusia, other inventories and catalogs carried out in the field of local administration and the Spatial Distribution of Cadastral Building Typologies in Andalusia, a product derived from cadastral information.

The geometric delimitation of the polygons is carried out by photointerpretation using the most recent orthophotography of the National Aerial Orthophotography Plan (PNOA) as a cartographic reference base, with a digitalization scale of 1:2,500

and geometric and positional accuracies corresponding to those required for a 1:5,000 mapping, as well as the geometric adjustment, whenever possible, to the limits of the cadastral parcels.

## **PHASE 2. IMPROVEMENT OF THE DIGITAL STREET MAP OF ANDALUSIA (CDAU) IN THE INDUSTRIAL AREAS**

CDAU is the set of alphanumeric and geographic data of streets and street numbers of all the municipalities of Andalusia, being a collaborative project (provincial councils, city councils, Emergencies 112 Andalusia) meaning it works as a continuous process of updating and improvement managed through an online data maintenance platform. Within its usual tasks, other tasks related to the ESPAND project were incorporated with the aim of achieving, in later phases, a better and more complete geolocation of companies and establishments with economic activity, where priority was given to the improvement of information related to streets and street numbers located inside the industrial areas.

## **PHASE 3. GEOCODING OF THE DIRECTORY OF COMPANIES AND ESTABLISHMENTS WITH ECONOMIC ACTIVITY IN ANDALUSIA**

The aim is to geocode the postal addresses (more than 700 hundred thousand of which almost 6% are located in industrial areas) contained in the Directory of Companies and Establishments with Economic Activity in Andalusia, which come from a series of administrative records such as, among others, the Social Security Contribution Accounts, the Central Directory of Companies of the National Statistics Institute (INE) or the Mercantile Register. As the information comes from different sources, it is necessary to carry out a prior address normalization process by using the aLink tool in order to subsequently carry out the geocoding, for which a data processing platform has been developed, called GeoEst, where it is possible to systematize the processes of searching for correct addresses, ensuring transparency and traceability.

Several sources have been used to perform the geocoding, mainly CDAU, but also others such as street map information contained in ArcGIS, OpenStreetMap (OSM) and Cadastre. The procedure consists of geocoding the addresses from all available sources and using a selection algorithm that determines which is the most appropriate coordinate based on two criteria: the source of origin of the coordinates obtained (CDAU being a priority source) and the accuracy of the linking process, taking first the coordinates geocoded to the exact street number, then those related to the nearby street number and, finally, those referenced to the center or beginning of the street.

## **PHASE 4. CHARACTERIZATION OF INDUSTRIAL AREAS**

After the geocoding, the industrial areas are characterized based on two variables: the state of physical development of the productive space (consolidated, in consolidation, traced and planned) and, for those in which there is already activity, by analyzing the employment of the establishments and of the economic activity they carry out according to the National Classification of Economic Activities (CNAE 2009),

to establish 4 categories: Scientific-Technological, Industry and Commerce, Logistics and Services.

## PHASE 5. OBTAINING AND CHARACTERIZING CADASTRAL PARCELS LOCATED IN INDUSTRIAL AREAS

The starting point is the geographic layer of parcels of the General Directorate of Cadastre, which is related to the spatial table of productive spaces, generated in the first phase of the project, by superimposing both of them. Thus, all those cadastral parcels completely contained within an industrial area or that a good part of their surface area is contained within the same are obtained and, in general, those containing less than 10% of their surface area within the same are discarded. In the case of those plots obtained whose polygons form part of more than one productive space, they are assigned to the one with the largest surface area.

Once it has been determined which parcels are included as belonging to the industrial areas and their spatial table has been created, it is necessary to cross-reference their records with those related to the tables of registry 11 (parcel), registry 14 (construction) and registry 15 (real estate) of Cadastre.

For the characterization of the parcels it is necessary to obtain the total area of the parcel and, for each property, its main use (grupo\_bim field, being the code 'M' the use that is assimilated with the plots), its participation coefficient within of the parcel to which it belongs and its area, whose value is obtained from an estimate through the exploitation of cadastral data. With this information, it is possible to know the different existing uses in the parcel and the percentages dedicated to each use, being of interest in this initial phase of the project, the industrial and plot uses, collecting the rest of the uses grouped in the same category. The resulting table is also crossed with registry 14, since this table allows us to know the activity carried out in each of the existing constructions in the real estate, although in this version of the product it has not been used for the final characterization of the parcels.

## PHASE 6. DISSEMINATION OF RESULTS

The dissemination of the data generated in the ESPAND project is carried out through the IECA website (<https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/espacios-productivos/index.htm>) where a map viewer is offered with navigation, search and filtering tools for both industrial areas (including infrastructures and cadastral parcels) and the establishments and companies located in them, by means of an interactive query. The information is also available in shape and interoperable formats following the OGC standard and reusable, such as the wms visualization service and the wfs download service. In the latter, users also have at their disposal tabulated information on uses and surfaces of the different industrial areas and the parcels included in them, as well as reference and georeferenced data both on the mentioned areas and parcels and of electrical, gas or telecommunication installations.

The web map viewer is based on the API Mapea, a proprietary technology by the Regional Government of Andalusia, jointly led by the ADA and the IECA, which

was created as an open source alternative to homogenize technologically the map viewers, with emphasis on backward compatibility and simplicity of use.

By way of summary, 2,302 industrial areas have been identified in Andalusia located in 542 municipalities, classified according to their status as consolidated, in consolidation, traced and planned, and some 40,000 establishments have been georeferenced within them. There are more than 9,000 hectares of plots in these spaces, representing 26% of the total area, with Seville, with almost 2,300 hectares, being the province with the largest area, followed by Cordoba with 1,458 and Granada with 1,369. If we consider the spaces identified as consolidated or in consolidation (76%), in which there is already productive activity, they contain almost 6,000 hectares of plots, which represents a quarter of the total area, so there is industrial undeveloped plots available for the immediate start of the productive activity, since they have the basic infrastructures for its operation. As a characteristic fact, and because it is an increasingly widespread dynamic in industrial areas, 149 hectares are used for sports, 107 for culture and 110 for leisure-hospitality, making a total of 366 hectares, with Seville being the province with the largest area in these three categories (183 hectares), which represent 50% of the total in Andalusia.

This project will be continuously maintained, which will allow the set of industrial areas in Andalusia and the characterization of the cadastral parcels to be constantly revised in terms of names, perimeters, typologies, main uses and other data of interest which, together with the georeferencing of economic activity, will provide intelligence to the system and will allow the debugging of inconsistencies in the data sets that it integrates.

On the other hand, from the user's perspective, a tool is made available that allows interaction with the data and through a powerful search engine, the system can be interrogated so that, for example, potential investors can make a diagnosis of the best place to locate a company based on the characteristics offered by the space, its infrastructure, the identification of parcels/plots that can be built on by land surface and some other parameters.

**Keywords:** Addresses, industrial areas, geocoding, cadastral parcels, undeveloped plots, map viewers.

# ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO DE LOS MUNICIPIOS TURÍSTICOS EN CANTABRIA EMPLEANDO LA TÉCNICA DE LOS VECINOS PRÓXIMOS

CONDE ORIA, FRANCISCO

Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio, Universidad de Cantabria,  
Av. de los Castros, 44, 39005 Santander, España, [francisco.conde@unican.es](mailto:francisco.conde@unican.es),  
<https://orcid.org/0000-0002-9706-6369>

ARANSAY GONZÁLEZ, RAQUEL

Departamento de transporte público, iPlan Movilidad, Calle del Hierro 33, 28045 Madrid, España,  
[raquel\\_aran@hotmail.es](mailto:raquel_aran@hotmail.es)

La Primera Ley de la Geografía formulada por el por el geógrafo Waldo Tobler (1970) revela que *“Todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las cosas más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes”*. Por tanto, ¿es aplicable la Primera Ley de la Geografía al Turismo? La respuesta es afirmativa. La actividad turística, con una de cada seis personas viajando al año, presenta una fuerte dependencia espacial. La ubicación de las infraestructuras turísticas en el territorio parte de la existencia de una serie de atractivos y de factores de localización efectivos (Ruda, 2016; Sánchez *et al.*, 2017). No obstante, cuando se procede a gestionar los destinos, las técnicas utilizadas para determinar y caracterizar el espacio turístico se basan en variables cualitativas y cuantitativas, sin tener en cuenta la componente espacial. Es necesario revertir esta situación y que la organización territorial se adapte más a la propia realidad turística, teniendo en cuenta el entorno próximo y proponiendo elementos de transformación hacia un turismo más enfocado (Mercadé *et al.*, 2018).

Con las técnicas estadísticas de autocorrelación espacial, como el análisis de agrupamiento (*Grouping Analysis*), se pueden agrupar los municipios con rasgos turísticos similares para ejecutar un planeamiento turístico intermunicipal. Esta técnica estadística multivariante también es conocida como análisis de patrones espaciales, clúster o conglomerados. Resulta útil para explicar el turismo y su distribución territorial, que no es ni uniforme, ni aleatoria, en base a una serie de características comunes (Anselin *et al.*, 2006).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) tienen capacidad para aplicar estas técnicas de análisis geoespacial. Los SIG dividen un conjunto de objetos en

grupos de forma que los objetos pertenecientes a un mismo grupo sean muy semejantes entre sí y muy diferentes al resto de agrupaciones. Es decir, que el grupo esté cohesionado internamente, y que quede aislado de los demás (Longley & Batty, 1996). Para ello, es necesario, que, en primer lugar, se elija, o no, una restricción espacial (pueblos, municipios, capitales...) y una técnica (Triangulación de Delaunay o Vecinos Próximos). Después, se deben introducir las variables turísticas que se quieren analizar para calcular el número de agrupamientos óptimo por medio del coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Esta proporción, que refleja la similitud de cada variable dentro de un grupo y las diferencias entre grupos, mide el grado de cohesión y eficacia de los agrupamientos (Ruda, 2016).

Los SIG crean un gráfico de conectividad con las relaciones de vecindad entre las entidades teniendo en cuenta la estructura espacial de los núcleos y de las variables introducidas. En estas relaciones, se genera un árbol de expansión mínima, divisible en dos ramas lo más homogéneas posibles internamente y diferenciadas entre sí. La rama menos análoga, y con más diferencias, podrá seguir dividiéndose, para obtener un tercer grupo y sucesivos, minimizando la falta de similitud con los clústeres resultantes, hasta llegar a un número de grupos óptimo (Sánchez *et al.*, 2017; Martín *et al.*, 2020).

Un buen ejemplo para estos análisis es el de la comunidad de Cantabria ya que presenta un fuerte contraste entre los espacios montañosos del interior y sus 220 km de costa (Consejería de Cultura, Turismo y Deporte, 2020). La región cuenta con una amplia oferta de infraestructuras que atraen a 2 millones de viajeros cada año. Lejos de los masivos circuitos turísticos del mediterráneo, el turismo supone un 11,4 % del empleo y un 10,9 % del PIB (INE, 2019). Son cifras en progresión para una comunidad con pasado agrario e industrial, que tiene tradición turística desde mediados del siglo XIX cuando la Familia Real acudía a darse baños de ola a las playas del Sardinero (Santander).

Partiendo de la hipótesis de que las actuales divisiones administrativas de Cantabria no coinciden con su realidad turística, el objetivo de este trabajo es definir una zonificación turística basada en sus características turísticas para mejorar el planeamiento y gestión del turismo y las actividades recreativas. Para ello, se emplea la herramienta *Grouping Analysis*, disponible en ArcMap 10.7.1 de ArcGIS Desktop, que es desarrollada por el *Environmental Systems Research Institute* (Esri).

A la hora de elegir, o no, una restricción espacial para realizar los agrupamientos, sí se opta por esta. Como se pretende que los agrupamientos municipales tengan en cuenta el territorio próximo, se emplea una restricción puntual como son los centroides de las 102 capitales de los municipios. No se elige los municipios u otra entidad poligonal porque el número de municipios vecinos con los que se trabaja es variable y hace inviable el estudio: mientras que unos municipios no tienen entidades vecinas y no comparten ni un borde o vértice con otro municipio, y, por tanto, eliminan las opciones de contigüidad, otros, acumulan hasta 10 municipios vecinos. Respecto a la técnica a elegir se opta por los Vecinos Próximos (Cressie, 2015), que selecciona las entidades cercanas tomando como referencia la distancia euclidiana entre los centroides de las capitales municipales. Pese a que la Triangulación de Delaunay per-

mite construir vecinos naturales de un conjunto de objetos mediante la poligonación de Thiessen, la disposición espacial de los municipios de Cantabria no garantiza el agrupamiento de entidades sin vecinos.

Aunque inicialmente se tuvo en cuenta hasta un total de 15 variables para el cálculo, se excluyeron las 5 con menor determinación, empleándose solo las siguientes: número de restaurantes (2020), empresas de turismo activo (2020) y plazas en alojamientos hoteleros y extrahoteleros (2020), del Instituto Cántabro de Estadística (ICANE); altitud de los municipios, del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG); temperatura media del mes de agosto (2019), de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMet); museos, centros y exposiciones (2014), del proyecto de Cartografía Cultural de Cantabria; longitud de las playas, de la Guía de Playas del Ministerio; y, distancias a las playas y autovías más cercanas, de la herramienta ViaMichelin.

Tras varias pruebas con las 10 variables seleccionadas, el mejor resultado, que tiene en cuenta los ocho vecinos más próximos, genera once asociaciones de municipios con un coeficiente de determinación alto ( $R^2=0,838$ ). Cinco de estos agrupamientos, ubicados en la costa, están formados por uno (Santander, Ribamontán al Mar y San Vicente de la Barquera) y dos municipios (Arnuero y Noja, Laredo y Santoña). También se forma un grupo de seis municipios que se extiende hacia Cartes en el interior. Junto a este aparece un agrupamiento mixto costa-interior de 42 municipios con valores muy próximos a la media de los 102. También se encuentran por el interior, los cuatro grupos restantes. Estos son: dos de cuatro y siete municipios, en la zona occidental (Liébana); uno de once, al sur (Campoo); y otro de veinte, entre el centro y oriente, que va desde Arenas hasta Soba. Se cumple la hipótesis de partida, Cantabria está subdividida en numerosas y variadas regiones turísticas, diferentes de las que establecen los límites.

Los resultados muestran el potencial de cálculo de los SIG cuando se emplea la técnica de los vecinos más próximos para crear espacios turísticos homogéneos. En este caso, se han empleado los centroides de las capitales municipales como restricción espacial. Se observa que los principales recursos turísticos dependen de las playas y la oferta de restauración y alojamiento, que junto con las empresas de turismo activo y los museos, centros y exposiciones tienen mayor determinación en los cálculos. No ocurre así con las plazas en alojamientos rurales, los bienes de interés cultural, local e inventariados, la cantidad de lluvia y la superficie protegida, que se excluyeron por su baja determinación.

Se observa que el turismo está claramente consolidado en la costa cantábrica, donde se definen correctamente los grupos, mientras que va perdiendo peso según se avanza hacia el interior, con grupos más heterogéneos y extensos, como el de 42 municipios. De hecho, la evolución mensual con las llegadas de turistas muestra como el grueso de visitantes se concentra en el tiempo y espacio, intensificando los procesos de turistificación y costerización de la comunidad.

La materialización de los agrupamientos muestra la idoneidad de emplear técnicas con restricciones espaciales frente a otras técnicas con mayor potencialidad en el análisis de variables, pero que no tienen en cuenta estas restricciones (análisis factorial, análisis de correspondencias y regresión múltiple). Los agrupamientos obtenidos

forman espacios continuos y con conexión que dan lugar a una correcta promoción turística y puesta en marcha de políticas turísticas adaptadas. No obstante, hay ciertas limitaciones en el cálculo, debido a que se han tenido que eliminar las variables menos representativas renunciando a conocer mejor los agrupamientos en la zona del interior, que guardaban más relación con esta zona.

Tanto en el caso del turismo, como en otras áreas (epidemiología, criminología, seguridad, prevención, etc.), no hay un resultado ni un procedimiento perfecto. Es necesario realizar numerosas pruebas hasta encontrar la combinación y configuración de variables, restricciones y técnicas que mejor se adapte al objeto de estudio. En este trabajo, se propone un conjunto de variables turísticas y un método de identificación de grupos homogéneos como herramienta de análisis. Las regiones surgidas de este análisis pueden servir como punto de partida para el planeamiento supramunicipal y estudios futuros sobre turismo y otros ámbitos (industria, ganadería, infraestructuras, salud, servicios...) realizando nuevos agrupamientos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anselin, L., Syabri, I. & Kho, Y. (2006). GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. *Geographical Analysis*, 38(1), 5-22. <https://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x>
- Consejería de Cultura, Turismo y Deporte, Dirección de Turismo (2023). Disponible en [www.turismodecantabria.com](http://www.turismodecantabria.com) [Consulta: 04-04-2023].
- Cressie, N. A. (2015). *Statistics for Spatial Data*. Revised Edition. Nueva York: Wiley Classics Library.
- INE (2019). Instituto Nacional de Estadística. Disponible en [www.ine.es](http://www.ine.es) [Consulta: 04-04-2023]
- Longley, P. & Batty, M. (1996). *Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment*. New York: John Wiley & Sons.
- Martín-Delgado, L. M., Sánchez-Martín, J. M. & Rengifo-Gallego, J. I. (2020). An Analysis of Online Reputation Indicators by Means of Geostatistical Techniques – The Case of Rural Accommodation in Extremadura, Spain. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4), 208. <https://doi.org/10.3390/ijgi9040208>
- Mercadé Aloy, J., Magrinyà Torner, F. & Cervera Alonso de Medina, M. (2018). Descifrando la forma urbana: un análisis de patrones de agrupamiento basado en SIG. *GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 22, 3-19. <https://doi.org/10.21138/GF.612>
- Ruda, A. (2016). Exploring tourism possibilities using GIS-based spatial association methods. *Geographia Technica*, 11(2), 87-101. [https://doi.org/10.21163/GT\\_2016.112.09](https://doi.org/10.21163/GT_2016.112.09)
- Sánchez Martín, J. M., Rengifo Gallego, J. I. & Sánchez Rivero, M. (2017). Caracterización espacial del turismo en Extremadura mediante análisis de agrupamiento (Grouping Analysis). Un ensayo técnico. *Geofocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 19, 207-235. <https://doi.org/10.21138/GF.490>
- Tobler, W. R. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46, 234. <https://doi.org/10.2307/143141>

**Palabras clave:** Turismo, territorio, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Cantabria, análisis de agrupamiento, vecinos próximos.



## Grouping Analysis of tourist municipalities in Cantabria using the K-Nearest Neighbours' technique

The First Law of Geography formulated by the geographer Waldo Tobler (1970) reveals that *"Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things"*. Therefore, is the First Law of Geography applicable to Tourism? The answer is yes. Tourist activity, with one in six people traveling a year, is heavily dependent on space. The location of tourist infrastructure in the territory is part of the existence of a series of attractions and effective localization factors (Ruda, 2016; Sánchez et al., 2017). However, the techniques used to determine and characterize tourist space are based on qualitative and quantitative variables, regardless of the spatial component, when management destinations. It is necessary to reverse this situation and make the territorial organization more adapted to the tourist reality itself, considering the nearby environment and proposing elements of transformation towards a more focused tourism (Mercadé et al., 2018).

The municipalities with similar tourist features can be grouped together to conduct inter-municipal tourism planning with statistical techniques for spatial autocorrelation, such as Grouping Analysis. This multivariate statistical technique is also known as spatial pattern analysis, cluster or conglomerate analysis. It is useful to explain tourism and its territorial distribution, which is neither uniform, nor random. It is based on several common characteristics (Anselin et al., 2006).

Geographic Information Systems (GIS) have the capacity to apply these geostatistical analysis techniques. GIS divide a set of objects into groups so that the objects belonging to the same group are remarkably like each other and quite different from the other groups. That is to say, the group is internally cohesive, and that it is isolated from the others (Longley & Batty, 1996). In the first place it is necessary to choose, or not, a spatial restriction (towns, municipalities, capitals...) and a technique (Delaunay Triangulation or K-Nearest Neighbours). Then, the tourist variables must be introduced to calculate the number of optimal groupings by means of the coefficient of determination ( $R^2$ ). This ratio, which reflects the similarity of each variable within a group and the differences between groups, measures the degree of cohesion and effectiveness of clusters (Ruda, 2016).

GIS create a connectivity graph with neighbourhood relationships between entities considering the spatial structure of the cores and the variables introduced. In these relationships, a minimum spanning tree is generated, divisible into two branches as homogeneous as possible internally and differentiated from each other. The less analogous branch, and with more differences, can be divided, to obtain a third group and successive, minimizing the lack of similarity with the resulting clusters, until reaching an optimal number of groups (Sánchez et al., 2017; Martín et al., 2020).

The community of Cantabria is a good example for these analyses. It presents a strong contrast between the mountainous spaces of the interior and its 220 km of coastline (Consejería de Cultura, Turismo y Deporte, 2020). The region has a wide range of infrastructure that attracts 2 million travellers each year. Tourism, far from the massive tourism circuits of the Mediterranean, accounts the 11.4% of employment and the 10.9% of GDP (INE, 2019). There are records in progression for a community with

an agrarian and industrial past. Cantabria had a tourist tradition since the mid-19th century when the Royal Family went to take a wave bath at the Sardinero' beaches (Santander).

Based on the hypothesis that the current administrative divisions of Cantabria do not coincide with its tourist reality, the objective of this work is to define a tourist zoning based on its tourist characteristics to improve the planning and management of tourism and recreational activities. To do this, we use the Grouping Analysis tool, available in ArcMap 10.7.1 of ArcGIS Desktop, which is developed by the Environmental Systems Research Institute (Esri).

When it is necessary to choose, or not, a spatial constraint to perform groupings, we choose this one. As it is intended that municipal groupings consider the nearby territory, a specific restriction is used, as are the centres of the 102 capitals of the municipalities. Municipalities or other polygonal entities are not chosen because the number of neighbouring municipalities with which they work is variable and make the study unviable. While some municipalities do not have neighbouring entities and do not share a border or vertex with another municipality, and, therefore, eliminate contiguity options, others, accumulate up to 10 neighbouring municipalities. Regarding the technique to be chosen, the K-Nearest Neighbours is chosen (Cressie, 2015). It selects the nearby entities based on the Euclidean distance between the centres of the municipal capitals. Even though the Delaunay Triangulation allows the construction of natural neighbours of a set of objects through the polygonization of Thiessen, the spatial arrangement of the municipalities of Cantabria does not guarantee the grouping of entities without neighbours.

The 5 variables with the least determination were excluded, although a total of 15 were initially considered for the calculation. Only the following were used: number of restaurants (2020), active tourism companies (2020) and places in hotels and extra-hotels (2020), of the *Instituto Cántabro de Estadística (ICANE)*; altitude of municipalities, of the *Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)*; average temperature for the month of August (2019), of the *Agencia Estatal de Meteorología (AEMet)*; museums, centers and exhibitions (2014), of the *Cartografía Cultural Cantabria* project; length of beaches, from the *Guía de Playas del Ministerio*; and, distances to the nearest beaches and motorways, from the *ViaMichelin* tool.

After several tests with the 10 selected variables, the best result, which considers the eight nearest neighbours, generates eleven associations of municipalities with a high coefficient of determination ( $R^2=0.838$ ). Five of these groupings, located on the coast, consist of one (Santander, Ribamontán al Mar and San Vicente de la Barquera) and two municipalities (Arnuero and Noja, Laredo and Santoña). It also forms a group of six municipalities that extends to Cartes in the interior. Along with this, there is a mixed coastal-inland grouping of 42 municipalities with values very close to the average of 102. They are also found inside, the remaining four groups. These are: two of four and seven municipalities, in the western zone (Liébana); one of eleven, to the south (Campoo); and another of twenty, between the centre and the east, going from Arenas to Soba. The starting hypothesis is fulfilled, Cantabria is subdivided into numerous and varied tourist regions, different from those that set the limits.

The results show the potential for calculating GIS when using the k-nearest neighbours' technique to create homogeneous tourist spaces. In this case, the centres of

municipal capitals have been used as a spatial restriction. It is observed that the main tourist resources depend on the beaches and the offer of catering and accommodation, which together with active tourism companies and museums, centres and exhibitions have greater determination in the calculations. This is not the case with places in rural accommodation, goods of cultural, local and inventoried interest, the amount of rain and the protected area, which were excluded because of their low determination.

It is observed that tourism is clearly consolidated in the Cantabrian coast, where groups are correctly defined, while it is losing weight as it advances inland, with more heterogeneous and extensive groups, such as the group of 42 municipalities. In fact, the monthly evolution with the arrivals of tourists shows how the bulk of visitors is concentrated in time and space, intensifying the processes of turistification and costerization of the community.

The materialization of groupings shows the suitability of using techniques with spatial constraints compared to other techniques with greater potentiality in the analysis of variables, which do not consider these constraints (factorial analysis, correspondence analysis and multiple regression). The groups obtained create continuous and connected spaces that result in a correct tourism promotion and implementation of adapted tourist policies. However, there are certain limitations in the calculation, because the less representative variables have been removed by refusing to know better the clusters in the interior area, which were more related to this zone.

There is neither a perfect result nor a perfect procedure in the case of tourism and other areas (epidemiology, criminology, security, prevention, etc.). Numerous tests are needed to find the combination and configuration of variables, constraints and techniques that best suit the object of study. In this paper, we propose a set of tourist variables and a method of identifying homogeneous groups as an analysis tool. The regions arising from this analysis can serve as a starting point for supramunicipal planning and future studies on tourism and other fields (industry, livestock, infrastructure, health, services...) by carrying out new groupings.

**Keywords:** Tourism, territory, Geographic Information Systems (GIS), Cantabria, grouping analysis, k-nearest neighbours.



# RESILIENCIA REGIONAL: UN ANÁLISIS DE LA ECONOMÍA REGIONAL PORTUGUESA

FERREIRA, MÁRCIO

Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT) e Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP), Porto, Portugal, [marcioferreira16@hotmail.com](mailto:marcioferreira16@hotmail.com)

SÁ MARQUES, TERESA

Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT) e Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP), Porto, Portugal, [teresasamarques@gmail.com](mailto:teresasamarques@gmail.com)

**E**n los últimos años hemos vivido tiempos difíciles y desafiantes, que han puesto a prueba a todas las naciones. Portugal no es una excepción y viene experimentando una inestabilidad/crisis económica consecutiva, que somete al país a una presión económica y social constante. En estos tiempos revueltos, en los que los países se enfrentan a las consecuencias de la pospandemia, a una crisis energética (provocada por la guerra entre Rusia y Ucrania) y a la necesidad de estar preparados para posibles catástrofes naturales (ejemplo: el terremoto de Turquía y Siria), la noción de resiliencia, la necesidad de ser resilientes se convierte en esencial para hacer frente a estas crisis y retos que ponen a prueba a las economías y las sociedades. Estas cuestiones se abordan cada vez más en las agendas políticas nacionales e internacionales, donde se desarrollan planes de resiliencia, apoyados por los gobiernos y la Unión Europea (Ejemplo: Plan de Recuperación y Resiliencia realizado por Portugal).

Este estudio pretende analizar la capacidad de resistencia y recuperación económica de las regiones portuguesas (NUT III) a lo largo de las últimas décadas y analizar la crisis vivida por Portugal, a partir de indicadores de PIB y Empleo. El objetivo es identificar los periodos recesivos a los que se ha enfrentado Portugal y demostrar las diferentes capacidades de resistencia de las regiones portuguesas, buscando tipificar las dinámicas y trayectorias exitosas. Se seleccionaron el PIB y el Empleo, basándose en las prácticas de la comunidad científica en materia de evaluación de la resiliencia económica de los territorios. El PIB suele utilizarse ampliamente, ya que se considera una medida estándar del desarrollo económico de las regiones. También se consideró el empleo, porque establece una relación directa de la crisis económica sobre la población, permitiendo contabilizar el número de personas empleadas en la región en los periodos anterior y posterior a la crisis.

En primer lugar, a escala nacional, se realizó un análisis de los ciclos económicos del PIB y del Empleo, a través del análisis de sus series temporales, para identificar los periodos de recesión y recuperación de la economía. En este sentido, se realizaron gráficos de evolución para ambos indicadores, donde se pudieron identificar los puntos de transición en el ciclo económico nacional y establecer los periodos que serían analizados.

Antes de pasar al análisis de la resiliencia regional, es importante tener presente la estructura económica regional portuguesa en términos de PIB y empleo. En general, se observa una fuerte segmentación territorial, con un pequeño número de regiones que concentran gran parte de la capacidad económica y del empleo, mientras que las demás regiones muestran una gran debilidad económica. La estructura regional puede sistematizarse del siguiente modo:

- En un primer grupo, tenemos las dos áreas metropolitanas que concentraban en 2000, el 52 % del PIB y el 44 % del empleo, polarizando el Área Metropolitana de Lisboa el 36 % y el 27 %, y el Área Metropolitana de Porto el 16 % y el 17 %, respectivamente. Cabe destacar que el peso del Área Metropolitana de Lisboa es muy superior al del Área Metropolitana de Porto. Entre 2000 y 2019 no hubo cambios en esta asimetría metropolitana.
- En un segundo grupo, tenemos un territorio extenso, con una gran vulnerabilidad económica, pero que internamente muestra grandes diferencias: En primer lugar, tenemos, por orden de importancia, los NUT III de Cávado, Ave, Algarve, Aveiro y Coimbra, que representaban en 2000 el 18 % del PIB y el 20 % del empleo del país (en 2019, respectivamente, el 19 % y el 20 %); luego vienen Alto Minho, Tâmega e Sousa, Viseu Dão Lafões, Leiria, Oeste, Médio Tejo, Lezíria do Tejo, Madeira y Azores con el 20 % del PIB y el 25 % del empleo en 2000 (en 2019, respectivamente el 20 % y el 23 %); por último, tenemos nueve NUT III, que sólo concentran el 10 % del PIB y el 11 % del empleo (en 2019, respectivamente el 9 % y el 11 %).

Con esta evidente segmentación territorial, es interesante comprender cómo reaccionan los distintos territorios ante los choques externos. Cualquier recesión en las dos áreas metropolitanas se refleja a nivel nacional, de ahí que sea importante entender su grado de resiliencia y capacidad de recuperación. Pero dada la fragilidad económica de gran parte del país, también es pertinente comprender los impactos de los choques, y más concretamente saber si estas zonas resisten y se recuperan y, de alguna manera, consiguen revitalizarse, o si han mostrado sucesivamente pérdidas e incapacidad para recuperarse.

Luego, se examinó el comportamiento de las regiones a lo largo de estos períodos identificados, para comprender los momentos de entrada y salida de cada crisis. En este sentido, se realizó un análisis detallado de cada año, donde fue posible mapear la dinámica anual del comportamiento regional e identificar los momentos en que las regiones entraron y salieron de la crisis (si entraron y salieron de la crisis antes que el país, al mismo tiempo que el país, después del país, o si no entraron en crisis, o si entraron en crisis, pero no lograron recuperarse).

Tras estos análisis, se construyeron índices de resistencia y recuperación para comprender su dinámica y establecer comparaciones entre los periodos recesivos y los periodos de recuperación regional. Estos índices miden la diferencia entre el crecimiento (o declive) de las regiones en relación con el crecimiento (o declive) del país. En resumen, si el valor del índice de resistencia es positivo significa que la región se ve menos afectada por la recesión en comparación con el país. Si el valor es negativo, significa que la región se ha visto más afectada que el país. La misma lógica se aplica al índice de recuperación.

A continuación, los resultados se organizan en una matriz de dispersión. De esta manera se pueden identificar cuatro tipologías de comportamiento: las regiones resilientes tienen una buena resistencia y una buena recuperabilidad en comparación con el país; las regiones tienen una buena resistencia, pero una mala recuperabilidad; las regiones tienen una buena recuperabilidad pero una mala resistencia; las regiones menos resilientes tienen una mala resistencia y una mala recuperabilidad en comparación con el país.

Finalmente, de forma complementaria, se seleccionó un conjunto de indicadores económicos, y se realizó un Análisis de Componentes Principales, para entender su relación con los resultados obtenidos con la elaboración del índice de resistencia y recuperabilidad económica.

Este estudio nos permitió obtener algunas conclusiones que nos permitirán continuar con una investigación más amplia.

Los principales resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Desde 1960 Portugal experimentó siete recesiones del PIB. En relación con el empleo existe un problema asociado a las rupturas en las series, que dificulta la lectura de los datos. Sólo se estabilizó a partir de 1998. En este siglo, identificamos dos periodos recesivos en el PIB: 2002-2003 y 2008-2013. En cuanto al Empleo, identificamos dos periodos recesivos: 2002-2005 y 2008-2013. Si consideramos la recesión de COVID-19 podemos ampliar el número de periodos recesivos a 3 en cada indicador.
- Concluimos que el mercado laboral tarda más en recuperarse que la recuperación económica real. Se puede decir que Portugal sufre el fenómeno de la “recuperación sin empleo”.
- La primera crisis (2002) no fue expresiva a nivel nacional y tuvo impactos territorialmente asimétricos, mientras que la segunda crisis (2008) tuvo fuertes ecos a nivel nacional y en términos regionales. En la primera crisis hubo una mayor resistencia, tanto en PIB como en Empleo. La recuperación fue más favorable en PIB que en Empleo, ya que hubo una mayor dificultad para recuperar el Empleo perdido en la crisis. La crisis de 2008 fue, con mucho, mucho más intensa, con una duración mayor y un impacto muy intenso en términos territoriales.
- Las regiones portuguesas tienen capacidades de resiliencia y recuperación distintas, lo que confirma la heterogeneidad y desigualdad territorial existente en Portugal. Esto se comprobó tras relacionar los resultados con la estructura económica regional, donde fue posible identificar perfiles territoriales que comparten características que pueden justificar las diferentes capacidades regionales de resiliencia.

- Con la profundización del análisis, donde los índices de resiliencia y recuperación se cruzaron con un conjunto de variables económicas, para encontrar diferentes perfiles territoriales, concluimos que
- a) Las áreas metropolitanas portuguesas se vieron muy afectadas por la crisis de 2008, pero también demostraron tener grandes capacidades de recuperación. Esto podría justificarse por su estructura económica diversificada y su considerable tamaño a nivel nacional. Su capacidad de recuperación proviene de su tamaño y elasticidad, se contraen en recesión y se expanden en recuperación. En términos de actividades económicas, pierden y luego se ajustan;
  - b) el noroeste de Portugal, que tiene una base económica fuertemente especializada en la industria textil, ha mostrado resiliencia, donde mostraron resistencia y una fuerte capacidad de recuperación en términos de PIB;
  - c) las regiones costeras, tienen una débil resiliencia en PIB, pero una fuerte resiliencia en Empleo. La recuperación en términos de empleo puede explicarse por la dinámica positiva de los sectores de la agricultura, la industria química y el turismo;
  - d) las regiones del interior de Portugal mostraron una capacidad de recuperación significativa tanto en términos de empleo como de PIB. Esto se justifica, en parte, por sus estructuras de empleo mayoritariamente terciarias y por sus pequeñas variaciones, ya que se trata de regiones con una base económica estancada que tienen poco empleo que perder y bajos niveles de PIB.

*Palabras clave:* Resiliencia regional, economía regional, crisis, resistencia, recuperación, Portugal.

## Regional resilience: an analysis to the Portuguese regional economy

In recent years we have been experiencing difficult and challenging times, which have put all nations to the test. Portugal is no exception and has been experiencing consecutive economic instability/crisis, which put the country under constant economic and social pressure. In these troubled times, where the countries are facing the consequences of the post-pandemic, an energy crisis (caused by the war between Russia and Ukraine) and the need to be prepared for possible natural disasters (example: the earthquake in Turkey and Syria), the notion of resilience, the need to be resilient, become essential to deal with these crisis and challenges that test economies and societies. These issues are increasingly being addressed in national and international political agendas, where resilience plans are being developed, supported by governments and the European Union (Example: Recovery and Resilience Plan made by Portugal).

This study aims to analyse the resistance and economic recovery capacity of the Portuguese regions (NUT III) over the last decades and to analyse the crisis experi-



enced by Portugal, based on GDP and Employment indicators. The aim is to identify the recessionary periods that Portugal has faced and to demonstrate the different resilience capabilities of the Portuguese regions, seeking to typify the dynamics and successful trajectories. GDP and Employment were selected, based on the practices of the scientific community regarding the evaluation of the economic resilience of territories. GDP is usually widely used, as it is considered a standard measure of the economic development of regions. Employment was also considered, because establishes a direct relationship of the economic crisis on the population, allowing to count the number of people employed in the region in the periods before and after the crisis.

Firstly, on a national scale, an analysis of the economic cycles of GDP and Employment was carried out, through the analysis of their time series, to identify the periods of recession and recovery of the economy. In this sense, evolution graphs were made for both indicators, where it was possible to identify the transition points in the national economic cycle and establish the periods that would be analysed.

Before we move on to the analysis of regional resilience, it was important to have in mind the Portuguese regional economic structure in terms of GDP and employment. Overall, a strong territorial segmentation is evident, with a small number of regions concentrating much of the economic capacity and employment, while the other regions display great economic weakness. The regional structure can be systematised as follows:

- In a first group, we have the two metropolitan areas that concentrated in 2000, 52% of GDP and 44% of employment, with Lisbon Metropolitan Area polarising 36% and 27%, and Porto Metropolitan Area 16% and 17%, respectively. It is notable that the weight of Lisbon Metropolitan Area is much higher than the Porto Metropolitan Area. Between 2000 and 2019 there was no change in this metropolitan asymmetry.
- In a second group, we have an extensive territory, with a great economic vulnerability, but internally showing great differences: First, we have, in order of importance, the NUT III of Cávado, Ave, Algarve, Aveiro and Coimbra, which represented in 2000 18% of the GDP and 20% of employment in the country (in 2019, respectively 19% and 20%); then comes Alto Minho, Tâmega e Sousa, Viseu Dão Lafões, Leiria, Oeste, Médio Tejo, Lezíria do Tejo, Madeira and Azores with 20% of GDP and 25% of employment in 2000 (in 2019, respectively 20% and 23%); Lastly, we have nine NUT III, which only concentrate 10% of GDP and 11% of employment (in 2019, respectively 9% and 11%).

With this evident territorial segmentation, it is interesting to understand how the different territories react to external shocks. Any recession in the two metropolitan areas is reflected at the national level, hence it is important to understand their degree of resilience and ability to recover. But given the economic fragility of much of the country, it is also pertinent to understand the impacts of the shocks, and more specifically to know if these areas resist and recover and, in some way, manage to revitalise themselves, or if they have successively shown losses and an inability to recover.

Then, after the identification of the regional economic structure of Portugal, the behaviour of the regions throughout these identified periods were examined, to understand the moments of entry and exit of each crisis. In this sense, a detailed analysis

of each year was carried out, where it was possible to map the annual dynamics of regional behaviour and identify the moments in which the regions entered and exited the crisis (whether they entered and exited the crisis before the country, at the same time as the country, after the country, or whether they did not enter into crisis at all, or whether they entered into crisis but failed to recover).

Following these analyses, resistance and recovery index were constructed to understand their dynamics and to make comparisons between recessive periods and periods of regional recovery. These indexes measure the difference between the growth (or decline) of regions relative to the growth (or decline) of the country. In short, if the value of the resilience index is positive it means that the region is less affected by the recession compared to the country. If the value is negative, it means that the region has been more affected than the country. The same logic applies for the recovery index.

The results are then organised in a scattering matrix. This way four typologies of behaviour can be identified: resilient regions have good resistance and good recoverability compared to the country; regions have good resistance but poor recoverability; regions have good recoverability but poor resistance; less resilient regions have poor resistance and recoverability compared to the country.

Finally, in a complementary way, a set of economic indicators were selected –weight and variations of GDP and Employment in various NACE sectors (Statistical Classification of Economic Activities) of the Portuguese economy– and a Principal Components Analysis was carried out, to understand their relationship with the results obtained with the elaboration of economic resistance and recovery index.

This study allowed us some conclusions that will allow us to continue with a broader investigation.

The main results obtained were the following:

- Since 1960 Portugal experienced seven recessions in GDP. In relation to employment there is a problem associated with breaks in series, which hinders the reading of the data. It only stabilised from 1998 onwards. In this century, we identify two recessionary periods in GDP: 2002-2003 and 2008-2013. Regarding Employment, we identify two recessionary periods: 2002-2005 and 2008-2013. If we consider the recession of COVID-19 we can extend the number of recessionary periods to 3 in each indicator.
- We conclude that the labour market takes longer to recover than actual economic recovery. It can be said that Portugal suffers from the phenomenon of “jobless recovery”.
- The first crisis (2002) was not expressive at a national level and had territorially asymmetric impacts, while the second crisis (2008) had strong echoes at national level and in regional terms. In the first crisis there was a greater resistance, both in GDP and Employment. The recovery was more favourable in GDP than in Employment, since there was a greater difficulty in recovering the Employment lost in the crisis. The 2008 crisis was, by far, much more intense, with a longer duration and a very intense impact in territorial terms.
- The Portuguese regions have distinct resilience and recovery capacities, confirming the heterogeneity and territorial inequality existing in Portugal. This was proven

after relating the results to the regional economic structure, where it was possible to identify territorial profiles that share characteristics that can justify the different regional resilience capacities.

- With the deepening of the analysis, where the indexes of resilience and recovery were crossed with a set of economic variables, to find different territorial profiles, we concluded that:
  - a) Portuguese metropolitan areas were very affected by the 2008 crisis, but also proved to have great recovery capacities. This could be justified by their diversified economic structure and considerable size at the national level. Their resilience comes from their size and elasticity, they contract in recession and expand in recovery. In terms of economic activities, they lose and then adjust;
  - b) the north-west of Portugal, which has an economic base strongly specialised in the textile industry, has shown resilience, where they showed resistance and a strong capacity to recover in terms of GDP;
  - c) the coastal regions, have weak resilience in GDP, but strong resilience in Employment. The recovery in terms of Employment can be explained by the positive dynamics of the Agriculture, Chemical Industry and Tourism sectors;
  - d) Portugal's inland showed significant resilience capacities in both employment and GDP. This is justified, in part, by their mostly tertiary employment structures and minor variations, as they are regions with a stagnant economic base that have little employment to lose and low GDP levels.

**Keywords:** Regional resilience; Regional economy; Crisis; Resistance; Recovery; Portugal.

**Funding:** This research is financed by national funds through FCT – Foundation for Science and Technology, I.P., under the doctoral scholarship: 2020.07947.BD. This research was supported by the Centre for Geography and Spatial Planning Studies (CEGOT), financed by national funds through the Foundation for Science and Technology (FCT) with the reference UIDB/04084/2020.



# VARIABILIDAD GEOGRÁFICA DEL USO DE CAMAS HOSPITALARIAS EN CHILE

FUENZALIDA, MANUEL

Departamento de Geografía, Universidad Alberto Hurtado, Chile,  
mfuenzal@uahurtado.cl

Chile en comparación con los países OCDE (2019) muestra un menor número de médicos ( $2,6 \times 1.000$  hab. *versus*  $3,6 \times 1.000$  hab.), menor número de enfermeras ( $2,9 \times 1.000$  hab. *versus*  $8,8 \times 1.000$ ) y menor tasa de camas hospitalarias ( $2 \times 1.000$  hab. *versus*  $4,4 \times 1000$ ). El número de hospitales públicos y la disponibilidad de camas hospitalarias son claramente insuficientes para las nuevas necesidades de atención que se originan a partir del proceso de transición demográfica en el país (Fuenzalida *et al.*, 2021).

Desde un punto de vista de la salud pública, si bien es posible reconocer que existe una inevitable desigualdad en el acceso geográfico a una cama de hospital debido a la localización discreta de los hospitales (i.e. en un lugar concreto de un territorio), surge el legítimo interés de conocer si la atención hospitalaria depende en gran medida de dónde se vive dentro del país. Lo importante sería descartar/confirmar si en Chile tenemos pacientes mejores o peores situados(as) para aprovechar el suministro de camas hospitalarias en base a sus necesidades o preferencias.

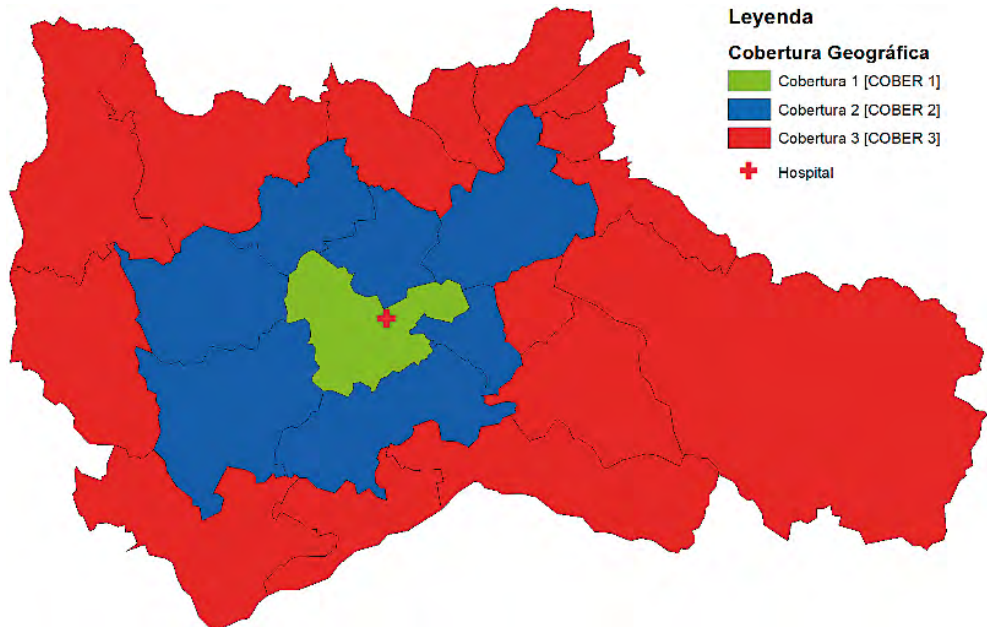
La pregunta de investigación se centra en la utilización de las camas hospitalarias públicas y en las formas como ésta contribuye a comprender la variabilidad geográfica del acceso a la atención hospitalaria en Chile, a partir de una perspectiva de utilización de servicios que reciba el paciente y del lugar donde se reciba la atención.

Se utiliza el Informe Estadístico de Egreso Hospitalario, de los años 2015 a 2019 y se seleccionan 177 hospitales públicos que prestan atenciones a alguna de las siguientes patologías: Tumores (C00-D48), Enfermedades del sistema circulatorio (I00-I99), Enfermedades del sistema respiratorio (J00-J99), Enfermedades del sistema digestivo (K00-K93) y Enfermedades del sistema genitourinario (N00-N99).

El total de egresos hospitalarios fueron clasificados en tres niveles de cobertura geográfica en base al lugar de residencia del paciente (informada por el paciente), siendo éstos: local (COBER 1), adyacente (COBER 2) y no adyacente (COBER 3). Sigue el modelo teórico-espacial expresado en la figura 1, que se basa en la idea de considerar las relaciones de vecinos próximos que comparten bordes, en este caso utilizando una contigüidad de tipo reina, en todas direcciones posibles.

COBER 1 corresponde a aquellos pacientes que residen en el mismo lugar donde está localizado el hospital en el que recibieron atención. COBER 2 corresponde a aquellos pacientes que residen en lugares adyacentes a donde está localizado el hospital que prestó la atención. COBER 3 corresponde a pacientes que residen en lugares no adyacentes a donde está localizado el hospital.

*Figura 1. Modelo teórico-espacial de cálculo de cobertura geográfica de camas hospitalarias públicas en Chile.*



Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se procedió a realizar un análisis clúster de una base de datos que estaba compuesta por Egresos, Camas, Camas UTI, Camas UCI, Cobertura local, Cobertura adyacente y Cobertura no adyacente. Las cuatro primeras variables están expresadas en número totales y las tres últimas están expresadas en porcentaje. Usando las variables anteriores se procedió a agrupar mediante el método de *K-Means* disponible en la librería *Scikit-Learn de Anaconda Python 3.8*.

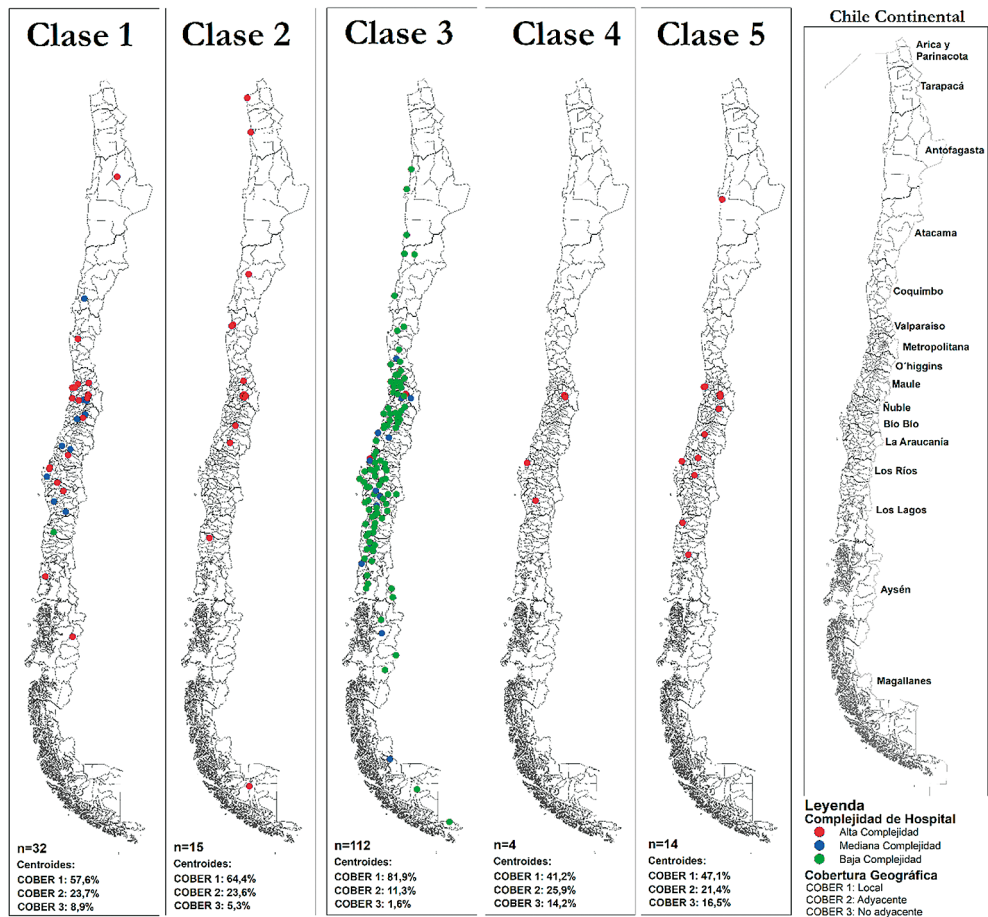
Tomando en cuenta los 177 hospitales públicos, los resultados permitieron obtener los centroides y respectivos tamaños de las clases que se observan en el cuadro 1. Las cinco clases resultantes son coherentes con la distribución de los distintos niveles de complejidad hospitalaria y su localización a lo largo del territorio nacional (ver figura 2).

**Cuadro 1.** Centroides y respectivos tamaños de las clases

Clase	Egresos	Camas	UTI	UCI	COBER1	COBER2	COBER3	Tamaño
1	21.232,1	155,7	8,8	4,6	57,6	23,7	8,9	32
2	42.943,3	331,5	17,7	11,3	64,4	23,6	5,3	15
3	3.508,7	37,1	0,3	0,0	81,9	11,3	1,6	112
4	99.119,3	784,0	47,8	34,3	41,2	25,9	14,2	4
5	64.566,4	514,9	34,4	22,9	47,1	21,4	16,5	14

Fuente: elaboración propia.

*Figura 2.* Distribución territorial de los hospitales según clase.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados permiten confirmar que en Chile tenemos pacientes mejores situados(as) para aprovechar el suministro de camas hospitalarias en base a sus necesidades o preferencias. Esto se debe, por un lado, a que la distribución espacial de las instalaciones hospitalarias generalmente está en desequilibrio dentro del país. Las comunas ubicadas en las partes centrales, con una mayor cantidad de población, presentan un mayor acceso, sin embargo, esto difiere en las zonas marginales urbanas y rurales, cuestión que está en sintonía que los hallazgos alcanzados en otras latitudes como los trabajos de Cheng *et al.* (2016), Valdés-Hernández *et al.* (2018), Pan *et al.* (2019), Cano-Fernández y Esteban-Galarza (2021).

El factor de la movilidad y la distancia al centro hospitalario es diametral a la hora de comprender la articulación entre la infraestructura de salud y el territorio, ya que mientras más lejos las instalaciones hospitalarias públicas se encuentra, menos frecuencia existe en el uso de una cama, dada las escasas oportunidades y los limitados servicios en territorios periféricos o rurales (Camarero y Oliva, 2019).

El resultado tiene una relevancia importante a la hora de comprender la estructura del sistema de referencia y contrarreferencia para el acceso a una cama hospitalaria sobre todo cuando no es la complejidad del centro de salud lo que importa sino la existencia del mismo. De esta forma, avanzar en equidad territorial implica buscar estructuras que acerquen los hospitales a las personas aun cuando estén en territorios que carezcan de ellos. Se debe tener presente que cerca de un 75% de población nacional se encuentra afiliada al seguro público de salud, lo cual, presenta un conjunto de problemáticas, sobre cómo poder gestionar y asignar de manera eficiente los recursos con los que cuentan los centros de salud y, que cumpla con la oportunidad de atención de los pacientes (García-Huidobro *et al.*, 2018).

## BIBLIOGRAFÍA

- Camarero, L. & Oliva, J. (2019). Thinking in rural gap: mobility and social inequalities. *Palgrave Communications*, 5(1).
- Cano-Fernández, F. J. & Esteban-Galarza, M. (2021). Equidad en la Accesibilidad Geográfica a los Hospitales. El Caso del País Vasco. *Revista de Estudios Andaluces*, 144-172.
- Cheng, G., Zeng, X., Duan, L., Lu, X., Sun, H., Jiang, T. & Li, Y. (2016). Spatial difference analysis for accessibility to high level hospitals based on travel time in Shenzhen, China. *Habitat International*, 53, 485-494.
- Fuenzalida, M., Trebilcock, M. P., Landon, P. & Maturana, F. (2021) Análisis de patrones territoriales de la estructura poblacional por edad a nivel subnacional en Chile. *Interciencia*, 46(9/10), 376-382.
- García-Huidobro, D., Barros, X., Quiroz, A., Barría, M., Soto, G. & Vargas, I. (2018). Modelo de atención integral en salud familiar y comunitaria en la atención primaria chilena. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 42, e160.
- OECD (2019). *Health at a Glance 2019: OECD Indicators*. París: OECD Publishing. <http://doi.org/10.1787/4dd50c09-en>
- Pan, H., Zhen, L. & Jing, L. (2019). Equity and Efficiency in Spatial Distribution of Basic Public Health Facilities: A Case Study from Nanjing Metropolitan Area. *Urban Policy and Research*, 37(2), 243-266.



Valdés-Hernández, J., Reyes-Pablo, A. E., Canún-Serrano, S. & Navarrete-Hernández, E. (2018). Estudio de variabilidad geográfica de las hospitalizaciones potencialmente evitables en México durante tres quinquenios. *Gaceta médica de México*, 154(4), 448-461.

*Palabras clave:* Geografía de la Salud, Egresos hospitalarios, Chile.

## Geographic variability of the use of hospital beds in Chile

Compared to OECD countries (2019), Chile shows a lower number of doctors ( $2.6 \times 1,000$  inhab. versus  $3.6 \times 1,000$  inhab.), a lower number of nurses ( $2.9 \times 1,000$  inhab. versus  $8.8 \times 1,000$ ), and a lower rate of hospital beds ( $2 \times 1,000$  inhab. versus  $4.4 \times 1,000$ ). The number of public hospitals and the availability of hospital beds need to be increased for the new care needs that originate from the demographic transition process in the country (Fuenzalida et al., 2021).

From a public health point of view, although it is possible to recognize that there is an inevitable inequality in geographic access to a hospital bed due to the discrete location of hospitals (i.e. in a specific place in a territory), the legitimate interest to know if hospital care depends to a large extent on where you live within the country. The important thing would be to rule out/confirm whether in Chile, we have better or worse-situated patients to take advantage of the supply of hospital beds based on their needs or preferences.

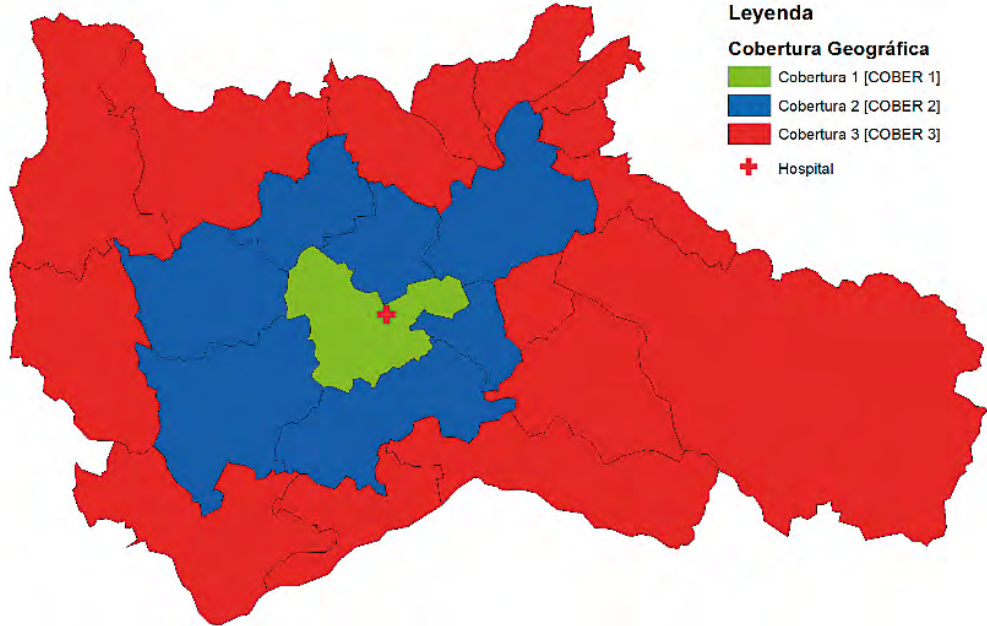
The research question focuses on the use of public hospital beds and on how this contributes to understanding the geographic variability of access to hospital care in Chile from a perspective of the use of services received by the patient and where care is received.

To know the behavior of the figures for hospital discharges, causes of hospitalization, and commune of residence, the Statistical Report of Hospital Discharge will be used, from the years 2015 to 2019, whose report is mandatory for all health establishments in the national territory, regardless of its public or private character. From this universe, 177 public hospitals that provide care for Tumors (C00-D48), Circulatory system diseases (I00-I99), Respiratory system diseases (J00-J99), Digestive system diseases (K00-K93) and Diseases of the genitourinary system (N00-N99).

Total hospital discharges were classified into three levels of geographic coverage based on the patient's place of residence (informed by the patient), these being: local (COBER 1), adjacent (COBER 2) and non-adjacent (COBER 3). It follows the spatial-theoretical model expressed in figure 1, which is based on the idea of considering near neighbor relationships that share edges, in this case using a queen-type contiguity, in all possible directions.

COBER 1 corresponds to those patients who reside in the same place as the hospital where they received care. COBER 2 corresponds to those patients who reside in places adjacent to where the hospital that provided the care is located. COBER 3 corresponds to patients who reside in places not adjacent to where the hospital is located.

Figure 1. Theoretical-spatial model for calculating the geographic coverage of public hospital beds in Chile.



Source: self made.

Subsequently, a cluster analysis of a database was carried out that was made up of Discharges, Beds, ICU Beds, ICU Beds, Local Coverage, Adjacent Coverage and Non-adjacent Coverage. The first four variables are expressed in total numbers and the last three are expressed in percentage. Using the previous variables, we proceeded to group using the K-Means method available in the Anaconda Python 3.8 Scikit-Learn library.

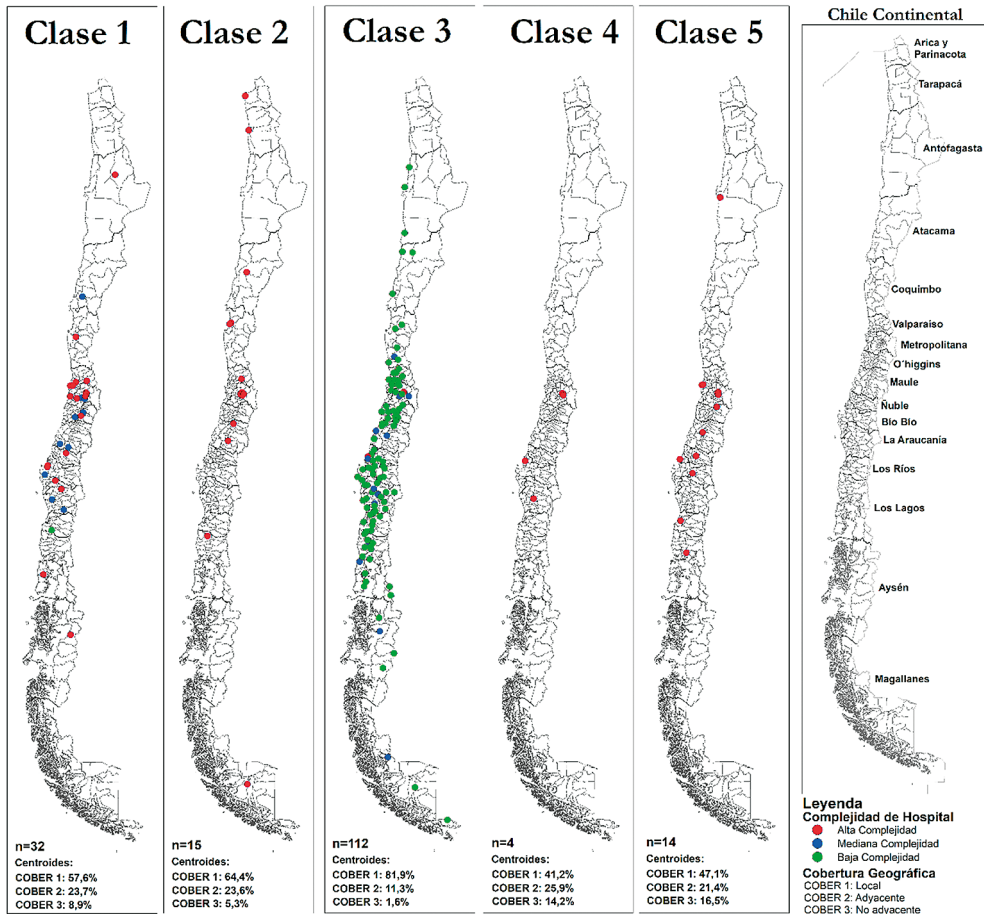
Taking into account the 177 public hospitals, the results allowed obtaining the centroids and respective sizes of the classes that are observed in Table 1. The five resulting classes are consistent with the distribution of the different levels of hospital complexity, and its location throughout the national territory (see figure 2).

Table 1. Centroids and respective sizes of the classes

Class	Discharges	Beds	UTI	UCI	COBER1	COBER2	COBER3	Size
1	21,232.1	155.7	8.8	4.6	57.6	23.7	8.9	32
2	42,943.3	331.5	17.7	11.3	64.4	23.6	5.3	15
3	3,508.7	37.1	0.3	0.0	81.9	11.3	1.6	112
4	99,119.3	784.0	47.8	34.3	41.2	25.9	14.2	4
5	64,566.4	514.9	34.4	22.9	47.1	21.4	16.5	14

Source: self made.

Figure 2. Territorial distribution of hospitals by class.



Source: self made.

The results confirm that in Chile we have better situated patients to take advantage of the supply of hospital beds based on their needs or preferences. This is due, on the one hand, to the fact that the spatial distribution of hospital facilities is generally unbalanced within the country. The communes located in the central parts, with a greater amount of population, present a greater access, however, this differs in the urban and rural marginal areas, an issue that is in tune with the findings reached in other latitudes such as the works of Cheng *et al.* (2016), Valdés-Hernández *et al.* (2018), Pan *et al.* (2019), Cano-Fernández y Esteban-Galarza (2021).

The factor of mobility and distance to the hospital center is diametrical when it comes to understanding the articulation between the health infrastructure and the territory, since the further away the public hospital facilities are, the less frequency there is in the use of a bed, given the few opportunities and limited services in peripheral or rural territories (Camero and Oliva, 2019).

The result is highly relevant when it comes to understanding the structure of the referral and counter-referral system for access to a hospital bed, especially when it is not the complexity of the health center that matters, but rather its existence. In this way, advancing in territorial equity implies looking for structures that bring hospitals closer to people even when they are in territories that lack them. It should be borne in mind that about 75% of the national population is affiliated with public health insurance, which presents a set of problems, on how to efficiently manage and allocate the resources available to health centers. and, that it meets the opportunity for patient care (García-Huidobro *et al.*, 2018).

**Keywords:** Health Geography, Hospital discharge, Chile.

# IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES PARA LA INTRODUCCIÓN DE SISTEMAS AGROFORESTALES EN EUROPA

GABOUREL LANDAVERDE, ANTHONY  
[gabourel@unex.es](mailto:gabourel@unex.es)

BARRENA GONZÁLEZ, JESÚS  
[jesusbarrena@unex.es](mailto:jesusbarrena@unex.es)

LAVADO CONTADOR, J. FRANCISCO  
[frlavado@unex.es](mailto:frlavado@unex.es)

SCHNABEL, SUSANNE  
[schnabel@unex.es](mailto:schnabel@unex.es)

Instituto Universitario de Investigación para el Desarrollo Territorial Sostenible,  
Facultad de Filosofía y Letras, Av. de la Universidad s/n, Cáceres, 10003, España.

La transición hacia una agricultura resiliente y un uso más eficiente de la tierra en Europa es necesaria para mitigar los riesgos ambientales presentes en el territorio. Es preciso evaluar la extensión geográfica de estos riesgos para determinar qué cubiertas y usos del suelo están más amenazados, debido a la intensidad de las prácticas agrícolas y al cambio climático.

Se ha observado que los sistemas agroforestales son más resilientes a las presiones externas (Pimbert, 2016; Wilson y Lovell, 2016), y son más complejos en las escalas de paisaje, finca y parcela (Lawson *et al.*, 2019). Estos sistemas combinan arbolado y agricultura en la misma tierra, están presentes en la mayoría de las regiones biogeográficas de Europa, y suman una extensión total de 125.874 km<sup>2</sup> (Schnabel *et al.*, 2022), representando un 7,3 % de las tierras agrícolas utilizadas.

Para desarrollar futuros escenarios de uso del suelo y estrategias de resiliencia, debe realizarse un análisis de los riesgos ambientales a escala europea para identificar las zonas que concentran un elevado número de riesgos. Para estas zonas, se deben proporcionar soluciones para mitigar los riesgos asociados a diferentes elementos del medio natural: suelo, agua, clima y biodiversidad. El objetivo de este trabajo es proponer una metodología para evaluar dichos riesgos y detectar áreas potenciales para introducir sistemas agroforestales en Europa.

La selección de áreas potenciales para la introducción de sistemas agroforestales se basa en un enfoque espacial que consta de cuatro pasos: (1) selección de áreas

potenciales a partir de la superficie agrícola total de Europa, (2) análisis de los riesgos ambientales en las áreas potenciales, (3) evaluación de elementos leñosos en las zonas en riesgo y, por último, (4) definición de las zonas prioritarias.

Para la selección de las áreas potenciales en Europa, se estimó la superficie total de las áreas agrícolas de interés, pertenecientes a los 27 Estados miembros de Unión Europea (UE), el Reino Unido y Suiza. Para calcular la superficie total se contabilizaron diferentes tipos de cobertura/uso del suelo distribuidos espacialmente en los países seleccionados: tierras de cultivo, cultivos permanentes y pastizales.

Para obtener la superficie agrícola total se utilizó el mapa base de la plataforma de modelización *Land-Use based Integrated Sustainability Assessment (LUISA)* de 2018, que consiste en una versión modificada y mejorada del mapa *CORINE Land Cover* de 2018, desarrollado y producido por el Joint Research Centre (JRC) de la Comisión Europea (por ejemplo, tiene 17 categorías artificiales de uso/cubierta del suelo en lugar de las 11 de CORINE) (Batista & Pigaiani, 2021).

En esta fase del análisis se tuvieron en cuenta los espacios naturales protegidos, ya que estas superficies no están sujetas a cambios de uso o cobertura del suelo debido a acuerdos o convenios legales, por lo que no pueden considerarse aptas para introducir prácticas agroforestales y se excluyeron del total estimado de áreas potenciales. Para calcular estas superficies se utilizaron los mapas de la Red Natura 2000 (EEA, 2022b) y de sitios RAMSAR (SISR, 2022). En Suiza, los espacios naturales protegidos se obtuvieron de la Red Esmeralda de Zonas de Especial Interés para la Conservación (FOEN, 2018).

El mapa base LUISA se utilizó para extraer los tipos de uso y cobertura del suelo consideradas para determinar las áreas agrícolas potenciales. Las tierras de cultivo incluyen: tierras de labor en secano (59,1 % de la superficie agrícola total), terrenos regados permanente (2,3 %) y arrozales (0,4 %). Los cultivos permanentes incluyen: viñedos (2,0 %), frutales (1,5 %) y olivares (2,6 %). El tercer grupo está conformado por praderas (26 %) y pastizales naturales (6,1 %).

Según el análisis espacial realizado, la superficie total de las áreas agrícolas potenciales, de la UE-27, el Reino Unido y Suiza, es de 1.539.185 km<sup>2</sup>. La diferencia entre la superficie inicial y final, una vez sustraídos del total los espacios naturales protegidos, ascendía a 185.856 km<sup>2</sup>. Según la distribución de las áreas potenciales por países, Francia (15,6 %), España (12,1 %), Alemania (10,9 %), Polonia (9,5 %) y el Reino Unido (8,9 %) concentraban la mayor parte de la superficie potencial agrícola total, abarcando en conjunto el 57 % de la superficie total.

En cuanto al análisis de riesgos, se consideraron un total de 11 indicadores medioambientales en relación con los suelos, la biodiversidad, el agua y el cambio climático. Los valores de estos indicadores se obtuvieron a partir de productos cartográficos elaborados a escala europea o nacional y disponibles como datos públicos o bajo demanda. Con el fin de evaluar los efectos de esos riesgos, se definieron umbrales para cada indicador, identificando los límites por encima o por debajo de los cuales la sostenibilidad se ve comprometida en las áreas potenciales.

El Observatorio del Suelo de la Unión Europea reportó que los tipos más comunes de degradación del suelo en Europa son la pérdida de carbono orgánico del suelo, la

pérdida de biodiversidad del suelo y la erosión del suelo por el agua (ESDAC, 2023). Estos procesos tienen un impacto significativo en la salud del suelo, lo que se traduce en una reducción de la productividad de los cultivos, un aumento de la erosión del suelo y una degradación de la calidad del agua.

En cuanto a los indicadores, se utilizaron mapas a escala europea de erosión hídrica (Panagos *et al.*, 2015) y de erosión eólica (Borrelli *et al.*, 2017) para evaluar la pérdida de suelo en tierras agrícolas, considerando como zonas en riesgo aquellas con pérdidas de suelo superiores a  $2 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . En el caso de Suiza, se utilizó el mapa de riesgo de erosión para tierras de cultivo (FOAG, 2019), expresado en las mismas unidades que los de escala europea.

En cuanto al carbono orgánico del suelo (COS) en suelos agrícolas (Lugato, Bampa *et al.*, 2014; Lugato, Panagos *et al.*, 2014), se estimó la proporción entre las cantidades observadas y las reservas potenciales de COS. Las zonas que mostraban una proporción inferior a 0,4 se definieron como zonas en riesgo, ya que esas zonas estarían un 60 % por debajo de su capacidad para almacenar COS en condiciones óptimas, tal como se indica en el Observatorio del Suelo de la UE (2023).

Para evaluar los riesgos relacionados con la biodiversidad, se utilizaron los siguientes productos cartográficos: mapa de indicadores de control natural de plagas (Rega *et al.*, 2018) y mapa de potencial de polinización de cultivos (Vallecillo *et al.*, 2020). En ambos casos se establecieron los dos quintiles inferiores de la distribución de los valores observados, como umbral para definir las zonas en riesgo. Esto significa que las zonas con valores más bajos tienen un mayor riesgo de brotes de plagas y de reducción del rendimiento de los cultivos, debido a un menor potencial de control de plagas y de polinización, respectivamente.

Las amenazas potenciales a la biodiversidad del suelo (Orgiazzi *et al.*, 2016) también se evaluaron en este análisis. Para crear este mapa se analizaron un total de 13 amenazas potenciales a la biodiversidad del suelo, como la contaminación industrial, el sellado, la explotación humana, entre otros; con el fin de evaluar el potencial de tres componentes principales de la biodiversidad del suelo: los microorganismos del suelo, la fauna del suelo y las funciones biológicas. El riesgo potencial se clasificó en cinco clases utilizando el método de clasificación por quintiles: niveles bajo, bajo-moderado, moderado, moderado-alto y alto. Las zonas incluidas en los niveles moderado-alto y alto se consideraron zonas de riesgo.

La cobertura geográfica de los mapas de biodiversidad excluía, en algunos casos, países como Croacia, Chipre y Suiza, lo que generó una falta de datos para estas zonas. Para solucionar este problema, se calcularon los valores medios de las áreas potenciales de cada una de las regiones biogeográficas de Europa y se asignaron a las áreas potenciales de las mismas regiones biológicas de los países que carecían de datos.

Para evaluar los riesgos relacionados con el agua en Europa, se utilizó el mapa mundial de zonas de riego (FAO, 2013) con el fin de identificar el porcentaje de zonas regadas con respecto a la superficie agrícola total. Como umbral de riesgo, se definió que las regiones en las que se regaba más del 25 % de la superficie agrícola total, se establecerían como áreas potenciales bajo riesgo, ya que superar este límite podría dar lugar a un uso crítico de este recurso natural.



Además, se utilizaron los mapas de concentración de nitrógeno en los suelos agrícolas europeos (EEA, 2022a) Land and Soil Systems (ETC/ULS) y el mapa suizo de aportes de nitrógeno en las aguas (FOEN, 2015) para determinar si existían niveles excesivos de este elemento en el suelo y el agua. El Observatorio del Suelo de la UE identificó el exceso de nitrógeno como un tipo de degradación del suelo y definió un umbral crítico de más de 50 kg N ha<sup>-1</sup> para identificar las zonas en riesgo (ESDAC, 2023).

Para realizar un análisis de los riesgos asociados al cambio climático, se eligieron variables específicas como la temperatura media anual, el índice de aridez y la frecuencia de las sequías. Comparando las condiciones climáticas actuales con las condiciones futuras previstas en múltiples escenarios, se realizó una estimación del cambio neto.

En lo que respecta a la temperatura media anual, las zonas que registraron un aumento de entre 2 y 4 °C se definieron como zonas potenciales bajo riesgo, ya que los sistemas agroforestales soportan un aumento de la temperatura media de hasta 4 °C según reportaron Hart *et al.* (2012).

Los conjuntos de datos climáticos se descargaron del Servidor de Cambio Climático Copernicus (Wouters, 2021; Wouters *et al.*, 2021), de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2019) y del proyecto de datos climáticos Word Clim 2.1 (Fick y Hijmans, 2017). Los datos reales se estimaron a partir de los valores medios del periodo 1970-2000, mientras que las proyecciones futuras se calcularon para diferentes periodos: 2021-2040 y 2041-2060. Se consideraron diferentes escenarios climáticos para estimar el cambio neto entre el clima actual y las proyecciones futuras.

Tras combinar los indicadores ambientales, se elaboraron mapas de calor para cuantificar la concentración de los riesgos ambientales y conocer su distribución espacial. Los datos se analizaron teniendo en cuenta las distintas regiones biogeográficas presentes en Europa: Alpina, Atlántica, Mar Negro, Boreal, Continental, Mediterránea, Panónica y Esteparia. Se determinó que las zonas que presentaban una elevada concentración de riesgos eran prioritarias para introducir sistemas agroforestales.

También se realizó un análisis por categorías de uso/cobertura del suelo teniendo en cuenta la concentración de los riesgos asociados a las tierras de cultivo, los cultivos permanentes y los pastos, por separado. Este análisis resultó útil para identificar las categorías en peligro y determinar las acciones adecuadas necesarias para introducir sistemas agroforestales y mitigar los riesgos ambientales.

Una vez identificadas las posibles zonas de riesgo, se utilizaron los elementos leñosos descritos por Schnabel *et al.* (2022) e identificados en la encuesta sobre coberturas/uso del suelo LUCAS (*Land Use/Cover Area frame Survey*) para detectar, mediante diferentes técnicas de análisis espaciales, cuáles de las áreas potenciales contenían estos elementos y podían considerarse ya como sistemas agroforestales.

Además, se utilizó el mapa europeo de elementos leñosos, de alta resolución, creado por el Copernicus Land Monitoring Service (2019). Estos elementos del paisaje son cruciales para la biodiversidad y ofrecen información sobre la fragmentación del hábitat, lo que permite un potencial de restauración directa. Además, sirven como un vínculo vital para la protección contra peligros y la infraestructura verde.



## BIBLIOGRAFÍA

- Batista, F. & Pigaiani, C. (2021). *LUISA Base Map 2018*. European Commission, Joint Research Centre (JRC). <http://data.europa.eu/89h/51858b51-8f27-4006-bf82-53eba35a142c>
- Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L. & Panagos, P. (2017). A New Assessment of Soil Loss Due to Wind Erosion in European Agricultural Soils Using a Quantitative Spatially Distributed Modelling Approach. *Land Degradation & Development*, 28(1), 335-344. <https://doi.org/10.1002/ldr.2588>
- Copernicus Land Monitoring Service (2019). *Small Woody Features 2015* [Land item]. <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/small-woody-features/small-woody-features-2015>
- EEA (2019). *Projected change in meteorological drought frequency between the present (1981-2010) and the mid-century 21st century (2041-2070) in Europe, under two emissions scenarios – European Environment Agency* [Figure]. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-change-in-meteorological-drought>
- EEA (2022a). *Concentrations of nitrogen and phosphorus in European agricultural soils – European Environment Agency* [Data]. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/concentrations-of-nitrogen-and-phosphorus>
- EEA (2022b). *Natura 2000 data – The European network of protected sites – European Environment Agency* [Data]. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/natura-14>
- ESDAC (2023). *EU Soil Observatory*. EUSO dashboard sources. <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/euso/euso-dashboard-sources>
- FAO (2013). *Global map of irrigated areas*. AQUASTAT – FAO's Global Information System on Water and Agriculture. <https://www.fao.org/aquastat/en/geospatial-information/global-maps-irrigated-areas/latest-version>
- Fick, S. E. & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- FOAG (2019). *Erosion risk map for arable land, with average soil erosion in tonnes/(ha\*year) – Opendata.swiss* [Map]. <https://opendata.swiss/en/dataset/erosionsrisikokarte-der-schweiz-mittlerer-bodenabtrag-in-tonnen-hajahr>
- FOEN, F. O. for the E. (2015). *Water: Geodata*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/themen/thema-wasser/wasser--daten--indikatoren-und-karten/wasser--geodaten-und-karten/wasser--geodaten.html>
- FOEN, F. O. for the E. (2018). *Biodiversity: Geodata*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/daten--indikatoren--karten/umwelt--und-geodaten-des-bafu/verfuegbare-geodaten-des-bafu/biodiversitaet--geodaten.html>
- Hart, K., Bartel, A., Menadue, H., Sedy, K., Fredih-Larsen, A. & Hjerp, P. (2012). Methodologies for Climate Proofing Investments and Measures under Cohesion and Regional Policy and the Common Agricultural Policy: Identifying the climate risks related to rural areas and adaptation options. *Rep. DG Clim*.
- Lawson, G., Dupraz, C. & Watté, J. (2019). Can Silvoarable Systems Maintain Yield, Resilience, and Diversity in the Face of Changing Environments? En *Agroecosystem Diversity. Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality* (pp. 145-168). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00009-1>
- Lugato, E., Bampa, F., Panagos, P., Montanarella, L. & Jones, A. (2014). Potential carbon sequestration of European arable soils estimated by modelling a comprehensive set of management practices. *Global Change Biology*, 20(11), 3557-3567. <https://doi.org/10.1111/gcb.12551>

- Lugato, E., Panagos, P., Bampa, F., Jones, A. & Montanarella, L. (2014). A new baseline of organic carbon stock in European agricultural soils using a modelling approach. *Global Change Biology*, 20(1), 313-326. <https://doi.org/10.1111/gcb.12292>
- Orgiazzi, A., Panagos, P., Yigini, Y., Dunbar, M. B., Gardi, C., Montanarella, L. & Ballabio, C. (2016). A knowledge-based approach to estimating the magnitude and spatial patterns of potential threats to soil biodiversity. *Science of The Total Environment*, 545-546, 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.092>
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L. & Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*, 54, 438-447. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>
- Pimbert, M. (2016). Agroecology as an Alternative Vision to Conventional Development and Climate-smart Agriculture. *Development*, 58, 286-298. <https://doi.org/10.1057/s41301-016-0013-5>
- Rega, C., Bartual, A. M., Bocci, G., Sutter, L., Albrecht, M., Moonen, A.-C., Jeanneret, P., van der Werf, W., Pfister, S. C., Holland, J. M. & Paracchini, M. L. (2018). A pan-European model of landscape potential to support natural pest control services. *Ecological Indicators*, 90, 653-664. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.075>
- Schnabel, S., Rubio Delgado, J., Lavado Contador, J. F., Van De Wiel, M. & Eden, J. (2022). *State-of-the-art of the sector and GIS mapping. D1.4 of the AGROMIX project funded under the Grant Agreement 862993 of the H2020 EU programme.* <https://agromixproject.eu/project/#how-we-work>
- SISR (2022). *Inicio | Servicio de Información sobre Sitios Ramsar.* <https://rsis.ramsar.org/es>
- Vallecillo, S., Notte, A. L., Polce, C., Bendito, E. G. & Maes, J. (2020). *INCA – Crop Pollination.* <http://data.europa.eu/89h/650331f3-e7ce-427b-8011-bd2c8f40599c>
- Wilson, M. & Lovell, S. (2016). Agroforestry – The Next Step in Sustainable and Resilient Agriculture. *Sustainability*, 8(6), 574. <https://doi.org/10.3390/su8060574>
- Wouters, H. (2021). *Downscaled bioclimatic indicators for selected regions from 1979 to 2018 derived from reanalysis [Data set].* Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/CDS.FE90A594>
- Wouters, H., Berckmans, J., Maes, R., Vanuytrecht, E. & De Ridder, K. (2021). *Downscaled bioclimatic indicators for selected regions from 1950 to 2100 derived from climate projections [Data set].* Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/CDS.0AB27596>

**Palabras clave:** Riesgos ambientales, coberturas/ usos del suelo, cambio climático, Sistemas de Información Geográfica.

**Financiación/Funding:** Este trabajo ha sido posible gracias al proyecto de investigación “AGROforestry and MIXed farming systems – Participatory research to drive the transition to a resilient and efficient land use in Europe” (AGROMIX), financiado en virtud del acuerdo de subvención 862993 del programa H2020 de la UE.

Así mismo, el doctorando Víctor Anthony Gabourel Landaverde es beneficiario de la convocatoria de ayudas para Formación del Profesorado Universitario (FPU) de 2020, financiadas por el Ministerio de Universidades (ref. FPU20/03568).

**Agradecimientos/Acknowledgements:** Agradezco a mis directores y a mis demás compañeros de trabajo por su respaldo científico para la consecución de este trabajo. Así mismo, agradezco a aquellos investigadores que me han facilitado los datos necesarios para realizar este estudio.

## Identification of potential areas to introduce agroforestry systems in Europe

The transition to resilient farming and more efficient land use in Europe is needed to mitigate environmental risks present in agricultural areas. The geographical extension of these risks must be assessed to identify which land covers and land uses are more endangered, due to the intensity of agricultural practices and climate change.

It has been reported that agroforestry systems are more resilient to external pressures (Pimbert, 2016; Wilson & Lovell, 2016), and they are more complex at the landscape, farm, and plot scales (Lawson *et al.*, 2019). These systems combine trees and agriculture on the same land, and they are present in the majority of the biogeographical regions of Europe, amounting to a total extension of 125,874 km<sup>2</sup> (Schnabel *et al.*, 2022), which represents 7.3% of utilized agricultural land.

To develop future scenarios for land use and resilience strategies, an environmental risk assessment must be performed on a European scale to identify areas concentrating a high number of risks. For these areas, solutions must be proposed to mitigate risks associated with different environmental elements: soil, water, climate, and biodiversity. The objective of this work is to propose a methodology to assess those risks and spot potential areas to introduce agroforestry systems in Europe.

The selection of priority areas for introducing agroforestry systems is based on a spatial approach which consists of four steps: (1) selection of suitable potential areas from the total agricultural area in Europe, (2) analysis of environmental risks in the potential areas, (3) evaluation of woody features in the areas under risk and, finally, (4) definition of priority areas.

Suitable potential areas were estimated from the total agricultural land of the European Union 27 Member States, the United Kingdom and Switzerland. Croplands, permanent crops, and pastures were accounted to estimate the total agricultural area, which are land cover/land use types spatially distributed in the selected countries.

The Land-Use based Integrated Sustainability Assessment (LUISA) base map from 2018 was used to obtain the potential areas, which is a modified and improved version of the CORINE land cover 2018 map, developed and produced by the Joint Research Centre (JRC) of the European Commission (e.g., it has 17 artificial land use/cover categories instead of 11 in CORINE) (Batista & Pigaiani, 2021).

Nature conservation areas were considered at this stage of the analysis since these surfaces are not subject to land use or land cover changes due to legal agreements or conventions, so they cannot be considered suitable to introduce agroforestry practices and were subtracted from the estimated total agricultural land. The Natura 2000 Network (EEA, 2022b) and the RAMSAR sites maps (SISR, 2022) were used to calculate these areas. In Switzerland those nature protected sites were obtained from the Emerald Network of Areas of Special Conservation Interest (FOEN, 2018).

The LUISA base map was used to extract land use and land cover classes considered to determine the potential areas. Cropland classes included non-irrigated arable land (59.1% of the total agricultural area), permanently irrigated arable land (2.3%) and rice fields (0.4%). Permanent crops included vineyards (2.0%), fruit trees

and berry plantations (1.5%) and olive groves (2.6%). The third group consisted of pastures (26%) and natural grasslands (6.1%).

Based on the spatial analysis performed, the suitable potential areas for the EU-27, the United Kingdom and Switzerland was 1,539,185 km<sup>2</sup>. The difference between the initial and final surfaces, once the natural protected sites were subtracted from the total, amounted to 185,856 km<sup>2</sup>. According to the distribution of potential areas by country, France (15.6%), Spain (12.1%), Germany (10.9%), Poland (9.5%) and the United Kingdom (8.9%) concentrated most of the total agricultural potential area, comprising together 57% of the total surface.

As for the risks analysis, a total of 11 environmental indicators were regarded as risks in relation to soils, biodiversity, water, and climate change. Values of these indicators were gathered from cartographic products developed at European or national scales and are available as public data or under demand. To evaluate the effects of those risks, threshold values were defined for each indicator, identifying the limits above or below which sustainability is compromised in potential areas.

The European Union Soil Observatory reported that the most common types of soil degradation in Europe are the loss of soil organic carbon, the loss of soil biodiversity, and soil erosion by water (ESDAC, 2023). These processes have a significant impact on soil health, resulting in reduced crop productivity, increased soil erosion, and degraded water quality.

Maps at European scale of Soil erosion by water (Panagos *et al.*, 2015) with a negative impact on ecosystem services, crop production, drinking water and carbon stocks. The European Commission's Soil Thematic Strategy has identified soil erosion as a relevant issue for the European Union, and has proposed an approach to monitor soil erosion. This paper presents the application of a modified version of the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and soil erosion by wind (Borrelli *et al.*, 2017) there is still a lack of knowledge, which limits the understanding about where, when and how heavily wind erosion is affecting European arable lands. Currently, the challenge is to integrate the insights gained by recent pan-European assessments, local measurements, observations and field-scale model exercises into a new generation of regional-scale wind erosion models. This is an important step to make the complex matter of wind erosion dynamics more tangible for decision-makers and to support further research on a field-scale level. A geographic information system version of the Revised Wind Erosion Equation was developed to (i) were used to assess soil loss in agricultural lands, considering as areas under risk those with soil losses greater than 2 t ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. In the case of Switzerland, the erosion risk map for arable land (FOAG, 2019), expressed in the same units as the one at European scale, was utilized.

As for soil organic carbon (SOC) stocks in agricultural soils (Lugato, Bampa *et al.*, 2014; Lugato, Panagos *et al.*, 2014) when data are required at European level, important margins of uncertainty still exist due to the representativeness of local data at large scale or different assumptions and information utilized for running models. In this context, a pan-European (EU + Serbia, Bosnia and Herzegovina, Montenegro, Albania, Former Yugoslav Republic of Macedonia and Norway, potential and actual SOC stocks were considered to estimate SOC ratios. Areas showing a ratio less than 0.4 were defined as areas under risk, as those areas would be 60% below their capacity to store SOC under optimal conditions as outlined by the (ESDAC, 2023).

To evaluate biodiversity risks, two maps were used: one reflecting the natural pest control (Rega *et al.*, 2018) and another the crop pollination potential (Vallecillo *et al.*, 2020). For both maps, the lower two quintiles of the values' distribution were used to identify areas under risk. This means that areas with lower values have a higher risk of pest outbreaks and reduced crop yields due to lower potential for supporting natural pest control services and pollinators, respectively.

Potential threats to soil biodiversity (Orgiazzi *et al.*, 2016) were also evaluated in this analysis. To create this map a total of 13 potential threats to soil biodiversity were analysed, such as industrial pollution, sealing, human exploitation, among others, to assess the potential for three major components of soil biodiversity: soil microorganisms, soil fauna, and biological functions. Potential risk was ranked into five classes using the quantile classification method: low, low-moderate, moderate, moderate-high, and high levels. Areas falling into moderate-high and high levels were considered as areas under risk.

The geographical coverage of the biodiversity maps sometimes excluded countries such as Croatia, Cyprus, and Switzerland, leading to a lack of data for these areas. To address this issue, the mean values of the potential areas for each of the biogeographical regions in Europe were calculated and assigned to the potential areas of the same biological regions in the countries lacking data.

To assess water-related risks in Europe, the global map of irrigated areas (FAO, 2013) was used to identify regions where more than 25% of the total agricultural land was irrigated, as exceeding this limit could lead to a critical use of this natural resource.

In addition, the nitrogen concentration map of European agricultural soils (EEA, 2022a) Land and Soil Systems (ETC/ULS and the Swiss map of nitrogen inputs into waters (FOEN, 2015) were utilized to determine whether excessive levels of this element existed in the soil and water. The EU Soil Observatory identified nitrogen surplus as one type of soil degradation and defined a critical threshold of over 50 kg N ha<sup>-1</sup> to identify areas under risk (ESDAC, 2023).

To conduct an analysis of the risks associated with climate change, specific variables such as the average annual temperature, aridity index, and drought frequency were chosen. By comparing present climate conditions with projected future conditions across multiple scenarios, an estimation of the net change was performed.

Regarding annual mean temperature, areas reporting an increase between 2 and 4 °C would be defined as areas under risk, since agroforestry systems remain robust within an average temperature increase of up to 4 °C (Hart *et al.*, 2012).

Climate datasets were obtained from the Copernicus Climate Change Service (Wouters, 2021; Wouters *et al.*, 2021), the European Environmental Agency (EEA, 2019) and the Word Clim 2.1 climate data project (Fick & Hijmans, 2017). Actual data was estimated from the mean values for the period of 1970-2000, while future projections were calculated for different periods: 2021-2040 and 2041-2060. Different climate scenarios were considered to estimate the net change between present climate and future projections.

After combining the environmental indicators, heat maps were produced to highlight the intensity of environmental risks. Data was analysed considering the different biogeographical regions present in Europe: Alpine, Atlantic, Black Sea, Boreal, Conti-

mental, Mediterranean, Pannonian and Steppic. Areas resulting in a high concentration of risks were determined as priority areas to introduce agroforestry systems.

An analysis was also performed by land use/land cover category considering the concentration of the risks associated to croplands, permanent crops, and pasture lands separately. This analysis was useful to identify endangered categories and determine the appropriate actions necessary to introduce agroforestry systems and mitigate environmental risks.

Once the potential areas under risk were identified, the woody features described by Schnabel *et al.*, 2021, using the Land Use/Cover Area frame Survey (LUCAS), were used to detect which of the potential areas contained these features and could be already considered as agroforestry areas, using different spatial analysis techniques.

Moreover, the High-Resolution Small Woody Features dataset, created by the Copernicus Land Monitoring Service (2019), was utilized. These landscape elements are crucial for biodiversity and offer insights into habitat fragmentation, allowing for direct restoration potential. Additionally, they serve as a vital link to hazard protection and green infrastructure.

**Keywords:** Environmental risks, land uses/land cover, climate change, Geographic Information Systems.

# APROXIMACIÓN A LA ACCESIBILIDAD DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN EL TRAYECTO DESDE COLLADO VILLALBA A MADRID

GUTIÉRREZ GALLEGO, JOSÉ ANTONIO

Escuela Politécnica de Cáceres (despacho 36) Calle Trujillo 13, 10003, España, [jagutier@unex.es](mailto:jagutier@unex.es)

ORTIZ GARCÍA, JORDI

Facultad de Derecho (Cáceres), Avenida de las letras s/n, 10004, España, [jortiz@unex.es](mailto:jortiz@unex.es)

ARRATE CIFUENTES, RICARDO

Calle Sancho Panza 4,28430 Alpedrete (Madrid), España, [rarratec@alumnos.unex.es](mailto:rarratec@alumnos.unex.es)

**E**l transporte de personas se ha convertido en un factor de suma importancia para el desarrollo de las ciudades en todos sus aspectos, economía, competitividad... Un sistema de transporte eficiente es la base de una buena movilidad y accesibilidad y, elemento a considerar para el establecimiento no solo del lugar de residencia de los ciudadanos sino también de la ubicación de las empresas.

Collado Villalba es una ciudad media que se encuentra ubicada en la Sierra Noroeste de Madrid, a 39 km de la capital, siendo la más poblada de todas las ciudades que la rodean, configurándose como punto estratégico en lo que movilidad se refiere, tanto en conexiones viarias como ferroviarias.

Su ubicación la convierte en un nodo importante de comunicación –tanto público como privado– bien sea por su conexión directa con la autopista A6, bien por la existencia en la misma de dos estaciones de autobuses interurbanos y una estación de cercanías de Renfe, aunque también tienen parada trenes de media y larga distancia. Todo ello sin olvidar que se ha convertido en el punto de atracción y conectividad local, con municipios como Galapagar, El Escorial, San Lorenzo de El Escorial, Morzarzal, por la existencia de un Hospital Universitario, e incluso con alguno más alejado como Las Rozas o Majadahonda, por no disponer el hospital local de todas las especialidades médicas, lo que hace necesario el desplazamiento a estas localidades e incluso en ocasiones a Madrid capital.

Los principales motivos que originan los desplazamientos son trabajo, estudio y ocio, los cuales, por un lado, generan una mayor concentración de ciudadanos en horas punta y por otro, un aumento de la frecuencia de autobuses, que hacen que se produzca una congestión del tráfico, pues las vías no soportan la afluencia de tráfico

generada (vehículos privados y transporte público), lo que conlleva la generación de problemas derivados como: pérdida de bienestar por la contaminación ambiental producida en todos sus medios (contaminación por ruido, por emisión de gases, residuos de los vehículos...) pérdidas económicas y mayor consumo energético por los retrasos producidos, la siniestralidad...

La A6 es la principal infraestructura de acceso a Madrid desde el Noroeste (aunque no la única). Está bien conservada, se beneficia de continuas mejoras (la última en los años 2022-23 en la que se ha ampliado el número de carriles en las incorporaciones en ambos sentidos de la radial M-40 con la A-6 a la altura de Pozuelo de Alarcón). Además, está dotada con doble carril para vehículos de alta ocupación (BUS-VAO), lo que hace que probablemente sea la más utilizada tanto por el transporte público como privado.

Collado Villalba es una ciudad dormitorio, con una densidad de población de unos 2700 hab/km<sup>2</sup>, donde se hace necesario abordar el problema de la movilidad y los desplazamientos, origen (Collado Villalba) destino (Madrid), siendo el objetivo de este trabajo determinar la accesibilidad desde la ciudad de Collado Villalba a Madrid capital.

La tendencia en la movilidad interurbana en Collado Villalba viene motivada, por un lado, como ocurre en otras muchas localidades, por la necesidad de desplazarse por motivo de trabajo, estudio y ocio, y por otro, por una necesidad de consumir el menor tiempo posible en el desplazamiento (para cubrir mayores distancias desde el domicilio). Lo que, dicho de otra forma, se traduce en un aumento de los desplazamientos entre la periferia y Madrid y sobre todo un aumento de esos desplazamientos en determinadas horas (dimensión espacial y temporal).

Estos desplazamientos, de forma generalizada, se realizan en vehículo privado como medio de transporte más adaptable a las necesidades de los ciudadanos, pues es el que facilita más autonomía frente a cualquier otro medio, y porque el transporte interurbano no ofrece una calidad que le haga ser competitivo.

El aumento de las distancias, y las buenas condiciones de las infraestructuras favorecen el uso del vehículo privado, dado que este, nos permite el denominado puerta a puerta, a pesar que en determinadas ocasiones conlleve un incremento del gasto, ya que, en muchos casos, en el destino, se hace necesaria la utilización de las zonas de estacionamiento de pago, el uso de los garajes privados o incluso el alquiler de plazas de garaje, todo ello preferible, por estos usuarios, antes que la intermodalidad e incomodidad del transporte público.

Para analizar la accesibilidad se ha prestado especial atención a la variable tiempo, como principal coste de los desplazamientos. Evidentemente, el tiempo que se ha considerado, como coste efectivo de la accesibilidad, es el que se tarda en llegar desde el origen de los desplazamientos (centro de masas poblacional de Collado Villalba) a los destinos principales (servicios demandados por los ciudadanos en sus desplazamientos habituales, ocio, trabajo, etc.).

Para estimar este tiempo se han utilizado distintas APIs de mapas y navegación, que ofrecen datos actualizados y precisos del tráfico en una hora determinada, del



tiempo que se tarda desde los centros poblacionales a las diferentes estaciones de transporte público de Collado Villalba y, desde estas, a Madrid, así como de las distintas rutas posibles que se pueden utilizar. Además, disponen de grandes bases de datos de horarios y líneas de transporte que les permiten realizar cálculos más precisos en relación a las horas de llegada y la duración del viaje, lo que ayuda a identificar horas punta, congestiones de tráfico e incidencias en los itinerarios.

Por otro lado, los sistemas de información geográfica permiten analizar y visualizar la información geoespacial, por lo que han servido de base para plasmar de manera gráfica los datos y los resultados, así como para analizar las diferentes rutas determinando cuáles son las más eficientes, de forma que ayudan a tomar decisiones para la mejora del servicio. Además, ayudan a analizar la demanda a lo largo de las diferentes paradas y horas para ajustar los horarios de las líneas.

A través de los datos obtenidos de fuentes públicas, artículos e investigaciones *ad hoc* para el presente estudio, se ha podido recopilar información sobre la conectividad entre Collado Villalba y Madrid capital, de sus flujos de movilidad y de la equidad en el transporte público. Todo ello con el fin de comprender los patrones de movilidad de las personas y evaluar las capacidades de las infraestructuras de transporte.

Además, el hecho de utilizar diferentes fuentes de datos aporta un valor extra y más preciso a la información objeto del presente trabajo, como es la ubicación del puesto de trabajo, el propósito del viaje o los datos demográficos de los viajeros. Datos obtenidos con diferentes perspectivas y enfoques, que ayudan a la identificación de patrones y a reducir riesgos de errores y sesgos en el análisis, lo que a su vez proporciona una visión más completa que ayuda a la toma de decisiones más informada.

Por último, se comprobó la efectividad de cada uno de los sistemas de transportes públicos, para analizar si se puede pensar que existe competencia entre el transporte público y el privado y aportar soluciones que fomenten la utilización de los sistemas más eficientes y sostenibles en el acceso a Madrid. La comodidad y dinamismo que ofrece el vehículo particular puede que no sea comparable con el transporte colectivo, sin embargo, este último ofrece otras características que pueden compensar aquellas bondades.

Si se planifica adecuadamente el transporte, se pueden tomar decisiones más precisas sobre cómo invertir en infraestructuras que aborden las necesidades de acceso, conexión y organización urbana.

**Palabras clave:** Accesibilidad, transporte público, movilidad, sistemas información geográfica.

## Approach to the accessibility of public transportation on the route from Collado Villalba to Madrid

The transportation of people has become a highly important factor for the development of cities in all aspects, such as economy and competitiveness. An efficient transportation system is the basis for good mobility and accessibility, and it is an element to consider for establishing not only the citizens' place of residence but also the location of companies.

Collado Villalba is a medium-sized city located in the Northwest Sierra of Madrid, 39 km from the capital, and is the most populated of all the surrounding cities, becoming a strategic point in terms of mobility, both in road and rail connections.

Its location makes it an important communication node –both public and private– either due to its direct connection to the A6 highway, or by the existence of two intercity bus stations and a Renfe commuter rail station, although medium and long-distance trains also stop there. This is without forgetting that it has become the point of attraction and local connectivity, with municipalities such as Galapagar, El Escorial, San Lorenzo de El Escorial, Moralarzal, due to the existence of a university hospital, and even with more distant ones such as Las Rozas or Majadahonda, as the local hospital does not have all medical specialties, making it necessary to travel to these localities and even to the capital, Madrid.

The main reasons for travel are work, study, and leisure, which, on the one hand, generate a greater concentration of citizens during peak hours and, on the other hand, an increase in the frequency of buses, leading to traffic congestion since the roads cannot support the traffic flow generated (private vehicles and public transportation). This leads to problems such as loss of well-being due to environmental pollution produced in all its forms (noise pollution, emission of gases, vehicle waste...), economic losses, and greater energy consumption due to delays, accidents...

The A6 is the main access infrastructure to Madrid from the Northwest (although not the only one). It is well-preserved and benefits from continuous improvements (the latest being in the years 2022-23, where the number of lanes on the incorporations in both directions of the radial M-40 with the A-6 at the height of Pozuelo de Alarcón has been expanded). Additionally, it is equipped with a double lane for high occupancy vehicles (BUS-VAO), making it likely the most used by both public and private transportation.

Collado Villalba is a dormitory city with a population density of about 2700 inhabitants/km<sup>2</sup>, where it is necessary to address the problem of mobility and travel, origin (Collado Villalba) destination (Madrid), being the objective of this work to determine the accessibility from the city of Collado Villalba to Madrid capital.

The trend in interurban mobility in Collado Villalba is motivated, on the one hand, as in many other localities, by the need to travel for work, study, and leisure, and on the other hand, by a need to consume as little time as possible in travel (to cover greater distances from home). This, in other words, translates into an increase in travel

between the periphery and Madrid, and above all an increase in those journeys at certain times (spatial and temporal dimension).

These trips, in a generalized way, are made by private vehicle as the most adaptable means of transport to the needs of citizens, as it provides more autonomy than any other means, and because interurban transport does not offer a quality that makes it competitive.

The increase in distances, and the good conditions of the infrastructure favor the use of the private vehicle, given that it allows us the so-called door-to-door, even if in certain occasions it entails an increase in expenses since, in many cases, in the destination, the use of paid parking areas, private garages, or even renting parking spaces is necessary, all of which is preferable for these users than the intermodality and discomfort of public transport.

To analyze accessibility, special attention has been paid to the variable of time, as the main cost of travel. Obviously, the time that has been considered, as an effective cost of accessibility, is the time it takes to get from the origin of travel (the population center of Collado Villalba) to the main destinations (services demanded by citizens in their usual travels, leisure, work, etc.).

To estimate this time, different map and navigation APIs have been used, which offer updated and precise data on traffic at a specific time, the time it takes from population centers to the different public transport stations in Collado Villalba and from these to Madrid, as well as the different possible routes that can be used. In addition, they have large databases of schedules and transport lines that allow for more precise calculations regarding arrival times and travel duration, which helps identify peak hours, traffic congestion, and incidents in itineraries.

On the other hand, geographic information systems allow for the analysis and visualization of geospatial information, so they have served as a basis for graphically displaying data and results, as well as for analyzing different routes to determine which are the most efficient, thus helping to make decisions for service improvement. In addition, they help to analyze demand along different stops and hours to adjust line schedules.

Through data obtained from public sources, articles, and *ad hoc* research for this study, information has been collected on the connectivity between Collado Villalba and Madrid capital, its mobility flows, and equity in public transport. All of this in order to understand people's mobility patterns and evaluate the capacities of transport infrastructures.

In addition, the use of different data sources provides extra and more accurate value to the information subject to this work, such as the location of the workplace, the purpose of the trip, or the demographic data of the travelers. Data obtained from different perspectives and approaches that help identify patterns and reduce risks of errors and biases in analysis, which in turn provides a more complete vision that helps make more informed decisions.

Finally, the effectiveness of each of the public transport systems was checked to analyze whether competition between public and private transport can be thought of and provide solutions that promote in accessing Madrid. The comfort and dynamism

offered by private vehicles may not be comparable to collective transport; however, the latter offers other features that can compensate for those benefits.

If transportation is adequately planned, more precise decisions can be made on how to invest in infrastructures that address access, connection, and urban organization needs.

**Keywords:** Accessibility, public transportation, mobility, geographic information systems.

# EL USO DE LAS TIG PARA EL DESARROLLO DE POLÍTICAS PÚBLICAS EN MATERIA DE SEGURIDAD EN EL MEDIO RURAL

GUTIÉRREZ GALLEGO, JOSÉ ANTONIO

Universidad de Extremadura. Escuela Politécnica, Av. Universidad s/n, CP 10003, Cáceres, España,  
[jagutier@unex.es](mailto:jagutier@unex.es)

ORTIZ GARCÍA, JORDI

Universidad de Extremadura, Facultad de Derecho. Av. Universidad s/n, CP 10003, Cáceres, España,  
[jortiz@unex.es](mailto:jortiz@unex.es)

RUFO REY, MIGUEL ÁNGEL

Universidad de Extremadura, Facultad de Derecho. Av. Universidad s/n, CP 10003, Cáceres, España,  
[mruforey@alumnos.unex.es](mailto:mruforey@alumnos.unex.es)

NIETO MASOT, ANA

Universidad de Extremadura. Facultad de Filosofía y Letras, Av. Universidad s/n, CP 10003, Cáceres, España, [ananieto@unex.es](mailto:ananieto@unex.es)

**D**urante estos últimos años, la preocupación por parte de operadores políticos y sociales respecto al mundo rural ha aumentado de manera exponencial en España. La falta de servicios públicos y la despoblación de las zonas rurales han provocado que las administraciones hayan apostado por la creación y elaboración de normas que tienen como finalidad mejorar el bienestar de las personas que residen en estas áreas rurales. La transformación de los servicios públicos y el aumento de los recursos socioeconómicos son algunas de las medidas puestas en marcha por los gobiernos regionales para mejorar la calidad de vida de las personas que viven en el medio rural.

Desafortunadamente, los servicios policiales continúan siendo un reto para las administraciones en el medio rural a pesar que las nuevas normas aprobadas para hacer frente al reto demográfico han apostado por incorporar medidas para mejorar los servicios de emergencias en estas zonas. Se tratan de dos herramientas jurídicas que ya fueron aprobadas por leyes nacionales años atrás, con escasos o nulos resultados. Se trata de la colaboración y asociación de los servicios policiales entre municipios. Estos modelos policiales han sido incorporados por los gobiernos regionales de Castilla-La Mancha o Extremadura en sus nuevas leyes para mejorar el desarrollo del medio rural y frenar la continua fuga de personas en estos lugares (art. 26 de la Ley 2/2021, de 7 de mayo, de Medidas Económicas, Tributarias frente a la Despoblación y para el

Desarrollo del Medio Rural en Castilla La-Mancha y art. 71 de la Ley 3/2022, de 17 de marzo, de medidas ante el reto demográfico y territorial de Extremadura).

Como ya hemos apuntando anteriormente, la asociación de servicios policiales entre municipios, también conocido como mancomunación, son medidas desarrolladas en los primeros gobiernos democráticos de nuestro país. A modo de ejemplo, la primera y única ley de Fuerzas y Cuerpos de Seguridad en España (Ley Orgánica 2/1986, de 30 de marzo, de Fuerzas y Cuerpos de Seguridad) ya recogía estas medidas en su Disposición Adicional Quinta. Sin embargo, su implementación por distintas Comunidades Autónomas provocó que finalmente el Tribunal Constitucional considerase inconstitucional algunas de los modelos puestos en marcha sobre esta cuestión, lo que provocó que durante años estos modelos policiales fueron desapareciendo, a pesar del esfuerzo de instituciones como la Federación Española de Municipios y Provincias, quienes a través de su Comisión de Seguridad y Convivencia Ciudadana desarrollaron un borrador de reglamento para la creación de mancomunidades de servicios de policial local en el año 2009 para fomentar estas herramientas, como medida para mejorar los servicios policiales en zonas rurales.

Hoy de nuevo distintos gobiernos regionales vuelven a incorporar estas medidas en su legislación, como es el caso de Extremadura. La Ley 7/2017, de coordinación de Policías Locales de Extremadura recoge en sus artículos 20 y 21 la posibilidad de asociación y colaboración de municipios para la prestación de servicios policiales. Sin embargo, los datos ofrecidos en el año 2022 por la Junta de Extremadura muestran su escasa relevancia entre los municipios extremeños. Las principales causas que apuntan responsables políticos y policiales son: falta de recursos personales o materiales y falta de solidaridad entre los distintos municipios, a pesar que muchos de los servicios policiales de la región extremeña carecen de servicios policiales las 24 horas del día o fines de semana, como apunta el Centro de Atención de Urgencias y Emergencias 112 de la Junta de Extremadura, las medidas no parecen ser del agrado de los responsables políticos de ámbito local.

Por todo ello, el objeto principal de este trabajo es conocer la situación actual de los servicios policiales en la Comunidad Autónoma de Extremadura y la posibilidad de implementar estos modelos policiales en la región extremeña, teniendo en cuenta criterios de equidad en la distribución espacial de los recursos. Además, este trabajo ha permitido obtener objetivos secundarios de enorme interés criminológico como la identificación del número de municipios con y sin servicios policiales y el número de efectivos policiales por municipio en Extremadura.

La metodología utilizada en esta investigación ha consistido en un estudio geoestadístico y exploratorio de los servicios policiales en la región extremeña mediante el uso del software libre Qgis, a partir de los datos oficiales ofrecidos por la Junta de Extremadura sobre municipios y efectivos policiales de policía local que cuenta la región extremeña en el 2023. En este caso, el uso de los sistemas de información geográfica ha resultado esencial para el análisis, visualización y planificación de la distribución equitativa de los servicios policiales. Los sistemas información geográfica han permitido generar modelos muy eficaces durante la crisis sanitaria y económica provocada por una pandemia mundial del SARS-coV-2.

Respecto a los principales resultados del estudio, los sistemas de información geográfica nos han permitido corroborar la falta de equidad de los servicios policiales en determinadas zonas de la región, apreciándose importantes diferencias entre las dos provincias extremeñas, debido especialmente al tamaño de los municipios, lo que impediría o dificultaría la implementación de nuevos modelos policiales como la asociación y colaboración en municipios de la región, principalmente en áreas consideradas jurídicamente rurales (art. 19 Decreto 115/2020). Por lo tanto, las políticas públicas de seguridad en el medio rural aprobadas durante en estos dos últimos años, y concretamente en la Comunidad Autónoma de Extremadura, parecen ser poco eficaces y eficientes atendiendo a la distribución geográfica de los servicios policiales.

Además, como complemento a este trabajo. Durante el último trimestre del año 2022, se ha llevado a cabo una micro estudio en el noroeste de la provincia de Cáceres, con el objetivo de corroborar los problemas de seguridad que tiene en las zonas rurales la Comunidad Autónoma de Extremadura. En esta investigación se ha utilizado una metodología cuantitativa, mediante la elaboración de una encuesta sobre percepción de inseguridad y miedo al delito en la localidad de Cilleros, cuyas principales conclusiones apuntan a la necesidad de una mayor presencia policial y baja percepción de inseguridad. Concretamente, los resultados del trabajo afirman que un 16 por ciento de las personas encuestadas tienen sentimiento de inseguridad o miedo al delito en el municipio, pero más de un 60 por ciento de las personas encuestadas piden o solicitan una mayor presencia policial en el municipio. Cabe indicar que zona está conformada por un conjunto de municipios de escasa población, nula presencia policial y próximo a la frontera con Portugal. El trabajo de campo se realizó durante el último trimestre del año 2022 por alumnado del Grado en Criminología de la Universidad de Extremadura. En definitiva, una investigación que muestra la necesidad de un análisis en profundidad por parte de las administraciones regionales y locales.

*Palabras clave:* Servicios Policiales, Asociación, Colaboración, Rural y Seguridad.

## The use of GIT for the development of public policies on security in rural areas

In recent years, concern on the part of political and social operators regarding the rural world has increased exponentially in Spain. The lack of public services and the depopulation of rural areas have led administrations to create and develop regulations aimed at improving the welfare of people living in these rural areas. The transformation of public services and the increase of socioeconomic resources are some of the measures implemented by regional governments to improve the quality of life of people living in rural areas.

Unfortunately, police services continue to be a challenge for the administrations in rural areas despite the fact that the new regulations approved to face the demographic challenge have opted to incorporate measures to improve emergency services in these areas. These are two legal tools that were already approved by national laws years ago, with little or no results. These are the collaboration and association of police services between municipalities. These police models have been incorporated by the regional governments of Castilla La-Mancha or Extremadura in their new laws to improve the development of the rural environment and to stop the continuous flight of people in these places (art. 26 of Law 2/2021, of May 7, on Economic and Tax Measures against Depopulation and for the Development of the Rural Environment in Castilla La-Mancha and art. 71 of Law 3/2022, of March 17, on measures to face the demographic and territorial challenge of Extremadura).

As we have already pointed out above, the association of police services between municipalities, also known as pooling, are measures developed in the first democratic governments of our country. By way of example, the first and only law on Security Forces and Corps in Spain (Organic Law 2/1986, of March 30, on Security Forces and Corps) already included these measures in its Fifth Additional Provision. However, their implementation by different Autonomous Communities finally caused the Constitutional Court to consider unconstitutional some of the models implemented on this issue, which caused these police models to disappear for years, despite the efforts of institutions such as the Spanish Federation of Municipalities and Provinces, who through its Commission for Citizen Security and Coexistence developed a draft regulation for the creation of associations of local police services in 2009 to promote these tools, as a measure to improve police services in rural areas.

Today again different regional governments are incorporating these measures in their legislation, as is the case of Extremadura. Law 7/2017, of coordination of Local Police of Extremadura includes in its articles 20 and 21 the possibility of association and collaboration of municipalities for the provision of police services. However, the data offered in 2022 by the Junta de Extremadura show its scarce relevance among Extremadura municipalities. The main causes pointed out by political and police officials are: lack of personal or material resources and lack of solidarity between the different municipalities, despite the fact that many of the police services in the Extremadura region lack police services 24 hours a day or weekends, as pointed out by the Center for Emergency and Urgent Attention 112 of the Junta de Extremadura, the measures do not seem to be to the liking of local political officials.

Therefore, the main purpose of this work is to know the current situation of police services in the Autonomous Community of Extremadura and the possibility of implementing these police models in the region of Extremadura, taking into account criteria of equity in the spatial distribution of resources. In addition, this work has made it possible to obtain secondary objectives of enormous criminological interest, such as the identification of the number of municipalities with and without police services and the number of police officers per municipality in Extremadura.

The methodology used in this research consisted of a geostatistical and exploratory study of the police services in the Extremadura region using the free software Qgis, based on the official data provided by the Junta de Extremadura on municipalities and local police forces in the Extremadura region in 2022. In this case, the use of geographic information systems has been essential for the analysis, visualization and



planning of the equitable distribution of police services. Geographic information systems have made it possible to generate very effective models during the health and economic crisis caused by a worldwide SARS-coV-2 pandemic.

Regarding the main results of the study, the geographic information systems have allowed us to corroborate the lack of equity of police services in certain areas of the region, appreciating significant differences between the two provinces of Extremadura, especially due to the size of the municipalities, which would prevent or hinder the implementation of new police models such as partnership and collaboration in municipalities in the region, mainly in areas considered legally rural (art. 19 Decree 115/2020). Therefore, public security policies in rural areas approved in the last two years, and specifically in the Autonomous Community of Extremadura, appear to be ineffective and inefficient in terms of the geographical distribution of police services. In short, this research shows the need for an in-depth analysis by the regional and local administrations.

In addition, as a complement to this work. During the last quarter of the year 2022, a micro study was carried out in the northwest of the province of Cáceres, with the aim of corroborating the security problems in rural areas of Extremadura. A quantitative methodology was used in this research, by means of a survey on the perception of insecurity and fear of crime in the town of Cilleros, the main conclusions of which point to the need for a greater police presence and a low perception of insecurity. Specifically, the results of the work state that 16 percent of the people surveyed have a feeling of insecurity or fear of crime in the municipality, but more than 60 percent of the people surveyed ask for or request a greater police presence in the municipality. It should be noted that the area is made up of a group of municipalities with a small population, no police presence and close to the border with Portugal. The fieldwork was carried out during the last quarter of the year 2022 by students of the Degree in Criminology at the University of Extremadura. In short, this research shows the need for an in-depth analysis by regional and local administrations.

**Keywords:** Police Services, Partnership, Collaboration, Rural and Security.



# ¿PUEDE INFLUIR EL GRADO DE ACCESIBILIDAD A LOS SERVICIOS Y AL EMPLEO EN LA ACENTUACIÓN DEL PROCESO DE DESPOBLACIÓN? EXTREMADURA COMO ÁMBITO DE ESTUDIO MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS SIG

HORCAJO ROMO, ANA ISABEL

Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Extremadura, Av. de las Letras s/n, 10003, España,  
[ahorcajor@unex.es](mailto:ahorcajor@unex.es)

PÉREZ PINTOR, JOSÉ MANUEL

Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Extremadura, Av. de las Letras s/n, 10003, España,  
[jmperpin@unex.es](mailto:jmperpin@unex.es)

GUTIÉRREZ GALLEGO, JOSÉ ANTONIO

Escuela Politécnica. Universidad de Extremadura, Av. de las Letras s/n, 10003, España,  
[jagutier@unex.es](mailto:jagutier@unex.es)

La consideración actual de la denominada como España vaciada, si lo observamos en retrospectiva y lo asemejamos a la evolución que se viene produciendo desde el punto de vista de la progresiva pérdida de efectivos poblacionales en otros países del sur de Europa, comprobamos que se trata de un proceso desencadenado durante las décadas de los años 50 y 60 del pasado siglo, cuando se inició un proceso de emigración masiva hacia una serie de países centroeuropeos, donde se ofrecían mejores oportunidades laborales. En la actualidad, esta dinámica se considera como un fenómeno derivado de las nuevas brechas socioeconómicas latentes entre los contextos de índole rural y urbana, que provocan, en gran medida, estos desequilibrios territoriales. Con la finalidad de abordar esta problemática desde un punto de vista transversal, se ha materializado la utilización del concepto de “Reto Demográfico”. Esta denominación de reciente creación trata de buscar soluciones a las principales desigualdades territoriales por medio del equilibrio entre la población, así como los recursos y los servicios disponibles en favor del mantenimiento o mejora del bienestar de los residentes, especialmente de aquellos afectados de manera más acentuada por el proceso de pérdida de habitantes. En esta línea, el propio Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO) del Gobierno de

España lo define como “una idea compleja que engloba numerosas dimensiones de la población”.

Si tomamos un área de estudio de referencia, como puede ser el caso de Extremadura, comunidad autónoma española fronteriza con las regiones lusas de Alentejo y Región Centro ubicada en el suroeste peninsular con apenas un millón de habitantes, observamos como el padrón de habitantes correspondiente al año 2022 refleja una tendencia regresiva, en comparación con los valores de la última década, revelando una pérdida significativa de población estimada de 54.591 efectivos desde el 2011. En consecuencia, llegados a este punto podríamos plantearnos la siguiente cuestión: ¿presenta signos de la denominada “España vacía” el territorio extremeño? En primer lugar, es necesario conocer la situación socioeconómica actual de Extremadura en relación con otras regiones españolas, así como en el contexto internacional. En este sentido, se ha desarrollado un trabajo previo de recopilación de estudios y bibliografía de temáticas similares. *A priori*, a partir de la revisión anterior, se llega a concluir que aquellos lugares que disponen de menores oportunidades de desarrollo, donde el acceso a servicios y actividad laboral son más deficitarios, favorecen el fenómeno migratorio de la población activa a otras zonas con mejor accesibilidad, lo que supone un riesgo para el futuro de estos espacios.

En el caso extremeño, no solo se manifiestan desequilibrios territoriales respecto al conjunto nacional, sino que en la propia región se aprecian desigualdades muy marcadas entre las provincias que la componen (Cáceres y Badajoz). Atendiendo a su extensión, nos encontramos con un vasto territorio que comprende las dos provincias más grandes del país, y a su vez presentan una reducida densidad demográfica respecto a la media nacional, en concreto, la densidad de población en España es en la actualidad de 93,83 hab./km<sup>2</sup>, mientras que para Extremadura se sitúa en 25,33 hab./km<sup>2</sup>. Dentro de este contexto, ya se empiezan a apreciar las diferencias de carácter interno entre Cáceres y Badajoz, donde la cifra sólo alcanzó los 19,52 hab./km<sup>2</sup> en la provincia cacereña y se elevó hasta los 30,64 hab./km<sup>2</sup> en la pacense. Si descendemos a una mayor escala de detalle, solo siete municipios superan la barrera de los 20.000 habitantes en Extremadura: cinco en Badajoz (Badajoz, Mérida, Don Benito, Villanueva de la Serena y Almendralejo) y los dos restantes localizados en Cáceres (Cáceres y Plasencia). Para poder comprender este proceso a escala global, es necesario analizar todos aquellos factores implicados de manera directa en el desempeño de esta realidad. Por ello, resultará de interés vincular la tendencia demográfica con la oferta de los servicios básicos disponibles, tanto educativos como sanitarios, ya que su relación sobre el espacio ayudará a contemplar las carencias que impiden a ciertas partes del territorio alcanzar unas cotas de bienestar aceptables.

Por tanto, con esta contribución se pretende analizar la influencia de la población al acceso a los servicios y el empleo desde los municipios incluidos dentro de los límites administrativos de Extremadura y, cómo esta situación puede contribuir de manera directa al proceso progresivo de la despoblación de ciertas áreas de la región. Para ello, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) juegan un papel principal en el desarrollo de la investigación, facilitando la comprensión del panorama actual y pudiendo asistir al posterior desarrollo de medidas que traten de hacer frente a esta disyuntiva. Como objetivo secundario se determinarán las desigualdades en el acceso

al empleo y los servicios esenciales descritos anteriormente y, al mismo tiempo, por medio de la cartografía resultante se identificarán los municipios con mayor pérdida de población en la región y que, por tanto, requieran de medidas urgentes de actuación con el fin de revertir esta problemática en la medida de lo posible. Por lo tanto, la finalidad de este proyecto radica en tratar la cuestión del relevo generacional en la Comunidad Autónoma de Extremadura y, dentro de esta cuestión, identificar las zonas que cuentan con mayores déficits poblacionales, las cuales precisan de políticas encaminadas a auxiliar a los territorios más desfavorecidos.

Gracias al uso de los SIG es posible caracterizar la situación del actual del territorio y, al mismo tiempo, poder compararlo con otras experiencias previas aplicadas en lugares con una problemática similar.

Por lo que respecta a la metodología implementada, en primer lugar, se ha llevado a cabo un trabajo inicial de recopilación de estudios que abordan este tipo de problemas similares al detectado en Extremadura desarrollados en otras regiones españolas, como los implementados en Aragón, Galicia o Cantabria, entre otros. En el ámbito político, se han evaluado las 130 medidas ante el Reto Demográfico recogidas en el "Plan de Recuperación e igualdad de oportunidades entre todos los ciudadanos" publicado en 2021, así como los informes fruto de la celebración de las distintas Conferencias de Presidentes Autonómicos desarrolladas desde 2017, donde ponen de manifiesto la necesidad de abordar el problema del Reto Demográfico, conformando en su seno el Comisionado del Gobierno frente al Reto Demográfico (CGFRD). Además de los anteriores, también se han contemplado otros recursos publicados por diferentes entidades, fundaciones o agrupaciones, entre los que se encuentran el informe de la Fundación de Cajas de Ahorros (Funcas) y la Red de Áreas Escasamente Pobladas del Sur de Europa (SSPA). Del mismo modo, en la esfera internacional, se han considerado las diferentes actuaciones impulsadas desde la Unión Europea y Naciones Unidas, al margen de otros organismos supranacionales preocupados por trabajar por la reducción del impacto del proceso de abandono de determinados territorios. Por último, mencionar la puesta en valor de diversas publicaciones de diferentes autores alrededor de todo el mundo como Yarkova & Mutafov (2017) en Bulgaria, Rosner & Wesolowska (2022) en Polonia, o Amodio (2022) en Italia.

A continuación, a partir de la base anterior, se han recopilado una serie de variables relacionadas con diferentes bloques temáticos de interés, como son: la accesibilidad, la economía y la demografía. El bloque dedicado a la accesibilidad concentra las variables relacionadas con el empleo, la renta, la sanidad, la educación y la administración, tomando como fuentes de información principales la Tesorería General de la Seguridad Social (TGSS), el Servicio de Empleo Estatal (SEPE), la Consejería de Educación de la Junta de Extremadura y el Servicio Extremeño de Salud (SES). Con todos estos datos se ha procedido al análisis del nivel de acceso al empleo, a los centros de salud, hospitales, centros de educación secundaria de la región y finalmente a las capitales provinciales y autonómica (emplazada en Mérida), que concentran en buena medida la oferta más completa de equipamientos y servicios.

En el bloque económico se han empleado las variables que atienden a los datos de Seguridad Social y paro, derivadas del SEPE. Por último, en el bloque demográfico se han utilizado los datos disponibles de los censos y padrones recogidos en el

Instituto Nacional de Estadística (INE), del Instituto de Estadística de Extremadura (IEEX), además de la información incluida en el Atlas Socioeconómico de Extremadura en su versión más reciente (2021). Partiendo de estas fuentes de información, se ha extraído la población total por municipios referente a 2022 diferenciando por sexo y grandes grupos de edad, así como las tasas de natalidad y mortalidad.

Finalmente y de forma paralela para todas las variables, se ha descargado del Instituto Geográfico Nacional (IGN) las capas relacionadas con el territorio y las redes de transporte en formato *shapefile* (*shp*).

Una vez seleccionadas y recopiladas las variables de interés, se ha definido el método a emplear para conseguir identificar las áreas demográficamente más deficitarias. Este se ha basado en la elaboración de diversas matrices Origen – Destino, para las que se ha calculado el tiempo mínimo de desplazamiento desde cada municipio medido en minutos, atendiendo a cada una de las variables de cada bloque temático en función de la variable considerada. Así pues, por ejemplo, en el caso de la accesibilidad a los recursos educativos, se ha calculado la distancia desde cada municipio hasta el centro de educación secundaria más próximo. Por su parte, a la hora de abordar la localización de los servicios sanitarios (centros de salud y hospitales) se ha realizado atendiendo a la cercanía dentro de cada Área de Salud (Badajoz, Mérida, Cáceres, Coria, Don Benito – Villanueva, Llerena – Zafra, Navalmoral de la Mata y Plasencia).

A lo largo de todo este proceso, ha resultado imprescindible la utilización de los SIG, que han permitido exponer de manera gráfica los resultados, de modo que resulte más sencilla su visualización a través de los diferentes mapas. Hasta llegar a este resultado, ha sido necesario partir de una base de datos de carácter alfanumérico y cartográfico con los distintos bloques temáticos de variables utilizando como software principal Excel en la elaboración de las tablas que han sido trasladadas con posterioridad a ArcGis en su versión 10.5 para proceder a la elaboración de los mapas, junto con las capas generadas en formato *shp*. La clasificación de los datos se ha llevado a cabo por medio de diferentes clases o categorías establecidas para cada variable.

Los principales resultados obtenidos en el proceso de clasificación y categorización de las diferentes variables por temáticas nos han permitido poner de manifiesto evidentes desigualdades en cuanto a accesibilidad a los servicios y empleo dentro del territorio extremeño, que provocan en gran medida que la población activa emigre a otros municipios con más oportunidades. Para el caso del empleo se diferencia claramente como la mejor accesibilidad se localiza entre el triángulo que conforman los municipios de Cáceres, Badajoz y Don Benito – Villanueva. De igual forma se observa que los municipios con peor accesibilidad se emplazan en la periferia de la región, destacando las comarcas rurales de La Siberia y La Serena al este de la provincia de Badajoz y Sierra de Gata, las Hurdes, Trasierra – Tierras de Granadilla, Valle del Ambroz y Valle del Jerte en Cáceres.

Sin lugar a dudas, el factor demográfico juega un papel clave para la puesta en marcha de medidas que implementen la accesibilidad a los servicios a fin de favorecer la igualdad de oportunidades dentro de la región. Con la ayuda de los SIG se ha conseguido interconectar el factor de la territorialidad para identificar las áreas más

desfavorecidas y que se puedan diseñar medidas para que los diferentes organismos públicos implicados puedan implantar políticas eficientes a la hora de reducir los efectos directos sobre la paulatina pérdida de habitantes que acusan cada vez un mayor número de municipios.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amodio, T. (2022). Territories at risk of abandonment in Italy and hypothesis of repopulation. *http://Journals.Openedition.Org/Belgeo*, 4. <https://doi.org/10.4000/BELGEO.57229>
- Rosner, A. & Wesołowska, M. (2022). Changes in population in rural areas of Poland as set against their levels of socio-economic development | Zmiany zaludnienia obszarów wiejskich w Polsce a ich poziom rozwoju społeczno-gospodarczego. *Przegląd Geograficzny*, 94(2), 175-198. <https://doi.org/10.7163/PrzG.2022.2.1>
- Yarkova, Y. & Mutafov, E. (2017). Rural Areas in Bulgaria-Investigation on some Factors for Development. *Eastern European Countryside*, 23(1), 51-70. <https://doi.org/10.1515/EEC-2017-0003>

*Palabras clave:* Reto demográfico, accesibilidad, empleo, envejecimiento, servicios, Extremadura.

## Can the degree of accessibility to services and employment influence the accentuation of the depopulation process? Extremadura as a field of study through the use of GIS tools

The current consideration of the so-called “hollowed-out Spain”, if we look at it in retrospect and compare it to the evolution that has been taking place from the point of view of the progressive loss of population in other southern European countries, we can see that it is a process triggered during the 1950s and 1960s, when a process of mass emigration began towards a series of Central European countries, where better job opportunities were offered. Nowadays, this dynamic is considered as a phenomenon derived from the new latent socio-economic gaps between rural and urban contexts, which to a large extent cause these territorial imbalances. In order to tackle this problem from a cross-cutting point of view, the concept of “Demographic Challenge” has materialised. This recently created term seeks to find solutions to the main territorial inequalities by means of a balance between the population and the resources and services available in order to maintain or improve the well-being of residents, especially those most affected by the process of population loss. Along these lines, the Spanish Government’s own Ministry for Ecological Transition and Demographic Challenge (MITECO) defines it as “a complex idea that encompasses numerous dimensions of the population”.

If we take a reference study area, such as the case of Extremadura, a region of Spain, it is possible that the Spanish autonomous region bordering the Portuguese

regions of Alentejo and Centro, located in the southwest of the peninsula with barely one million inhabitants, we observe that the population census for the year 2022 reflects a regressive trend, compared to the values of the last decade, revealing a significant loss of population estimated at 54,591 since 2011. Consequently, at this point we could ask ourselves the following question: Does the territory of Extremadura show signs of the so-called "empty Spain"? Firstly, it is necessary to know the current socio-economic situation of Extremadura in relation to other Spanish regions, as well as in the international context. In this sense, prior work has been carried out to compile studies and bibliography on similar topics. *A priori*, based on the previous review, it is concluded that those places with fewer development opportunities, where access to services and employment are more deficient, favour the phenomenon of migration of the active population to other areas with better accessibility, which represents a risk for the future of these areas.

In the case of Extremadura, not only are there territorial imbalances with respect to the national average, but there are also very marked inequalities within the region itself between the provinces of which it is composed (Cáceres and Badajoz). In terms of size, we find a vast territory which includes the two largest provinces in the country, and at the same time they have a low population density compared to the national average, specifically, the population density in Spain is currently 93.83 inhabitants/km<sup>2</sup>, while in Extremadura it is 25.33 inhabitants/km<sup>2</sup>. Within this context, the internal differences between Cáceres and Badajoz are already beginning to be appreciated, with the figure only reaching 19.52 inhabitants/km<sup>2</sup> in the province of Cáceres and rising to 30.64 inhabitants/km<sup>2</sup> in the province of Badajoz. If we go down to a more detailed scale, only seven municipalities exceed the 20,000-population barrier in Extremadura: five in Badajoz (Badajoz, Mérida, Don Benito, Villanueva de la Serena and Almendralejo) and the remaining two located in Cáceres (Cáceres and Plasencia). In order to understand this process on a global scale, it is necessary to analyse all the factors directly involved in the performance of this reality. Therefore, it will be of interest to link the demographic trend with the supply of available basic services, both educational and health, as their relationship on the space will help to contemplate the shortcomings that prevent certain parts of the territory from reaching acceptable levels of well-being.

The aim of this contribution is to analyse the influence of the population on access to services and employment from the municipalities included within the administrative boundaries of Extremadura and how this situation can contribute directly to the progressive process of depopulation in certain areas of the region. To this end, Geographic Information Systems (GIS) play a major role in the development of the research, facilitating the understanding of the current situation and assisting in the subsequent development of measures to address this dilemma. As a secondary objective, the inequalities in access to employment and the essential services described above will be determined and, at the same time, the resulting cartography will be used to identify the municipalities with the greatest loss of population in the region and which, therefore, require urgent measures of action in order to reverse this problem as far as possible. Therefore, the purpose of this project is to address the issue of generational replacement in the Autonomous Community of Extremadura and, within this issue, to identify the areas with the greatest population deficits, which require policies aimed at helping the most disadvantaged territories.



Thanks to the use of GIS, it is possible to characterise the current situation of the territory and, at the same time, to compare it with other previous experiences applied in places with similar problems.

Regarding the methodology implemented, firstly, an initial work has been carried out to compile studies that address this type of problems similar to the one detected in Extremadura and developed in other Spanish regions, such as those implemented in Aragon, Galicia or Cantabria, among others. In the political sphere, the 130 measures to address the Demographic Challenge included in the "Plan for Recovery and Equal Opportunities for All Citizens" published in 2021 have been evaluated, as well as the reports resulting from the different Conferences of Autonomous Regional Presidents held since 2017, which highlight the need to address the problem of the Demographic Challenge, creating the Government Commissioner for the Demographic Challenge (CGFRD). In addition to the above, other resources published by different entities, foundations or groups have also been considered, including the report by the Savings Banks Foundation (Funcas) and the Southern European Sparsely Populated Areas Network (SSPA). Similarly, in the international sphere, the different actions promoted by the European Union and the United Nations have been considered, in addition to other supranational bodies concerned with working to reduce the impact of the process of abandonment of certain territories. Finally, mention should be made of the in value of various publications by different authors around the world such as Yarkova and Mutafov, 2017 in Bulgaria, Rosner and Wesołowska, 2022 in Poland, or Amodio, 2022 in Italy.

Next, from the previous base, a series of variables related to different thematic blocks of interest have been compiled, such as: accessibility, the economy and demographics. The block dedicated to accessibility concentrates the variables related to employment, income, health, education and administration, taking as main sources of information the General Treasury of the Social Security (TGSS), the State Employment Service (SEPE), the Department of Education of the Regional Government of Extremadura and the Extremadura Health Service (SES). With all this data, the level of access to employment, health centres, hospitals, secondary education centres in the region and finally the provincial and regional capitals (located in Mérida), which concentrate to a large extent the most complete offer of facilities and services, have been analysed.

In the economic block we have used the variables that deal with Social Security and unemployment data, derived from the SEPE. Finally, in the demographic block, we have used the data available from the censuses and registers collected in the National Statistics Institute (INE), the Statistical Institute of Extremadura (IEEX), in addition to the information included in the Socioeconomic Atlas of Extremadura in its most recent version (2021). Based on these sources of information, the total population per municipality for 2022 has been extracted, differentiating by sex and age groups, as well as birth and death rates.

Finally, and in parallel for all the variables, the layers related to the territory and transport networks in shapefile (shp) format were downloaded from the National Geographic Institute (IGN).

Once the variables of interest had been selected and compiled, the method to be used to identify the areas with the greatest demographic deficit was defined. This

was based on the elaboration of various Origin – Destination matrices, for which the minimum travel time from each municipality was calculated, measured in minutes, taking into account each of the variables of each thematic block according to the variable considered. Thus, for example, in the case of accessibility to educational resources, the distance from each municipality to the nearest secondary school was calculated. For its part, the location of health services (health centres and hospitals) was considered according to proximity within each Health Area (Badajoz, Mérida, Cáceres, Coria, Don Benito – Villanueva, Llerena – Zafra, Navalmoral de la Mata and Plasencia).

Throughout this process, it has been essential to use GIS, which has made it possible to present the results graphically, making it easier to visualise them on the different maps. In order to achieve this result, it has been necessary to start from an alphanumeric and cartographic database with the different thematic blocks of variables, using Excel as the main software for drawing up the tables, which have subsequently been transferred to ArcGis in version 10.5 in order to proceed with the preparation of the maps, together with the layers generated in shp format. The classification of the data has been carried out by means of different classes or categories established for each variable.

The main results obtained in the process of classifying and categorising the different variables by theme have enabled us to reveal clear inequalities in terms of accessibility to services and employment within Extremadura, which to a large extent cause the active population to emigrate to other municipalities with more opportunities. In the case of employment, it is clear that the best accessibility is located in the triangle formed by the municipalities of Cáceres, Badajoz and Don Benito-Villanueva. Similarly, the municipalities with the worst accessibility are located in the periphery of the region, with the rural regions of La Siberia and La Serena in the east of the province of Badajoz and Sierra de Gata, Las Hurdes, Trasierra – Tierras de Granadilla, Valle del Ambroz and Valle del Jerte in Cáceres standing out.

Undoubtedly, the demographic factor plays a key role in the implementation of measures that implement accessibility to services in order to favour equal opportunities within the region. With the help of GIS, it has been possible to interconnect the territoriality factor to identify the most disadvantaged areas and to design measures so that the different public bodies involved can implement efficient policies to reduce the direct effects on the gradual loss of inhabitants that an increasing number of municipalities are experiencing.

**Keywords:** Demographic Challenge, accessibility, employment, ageing, services, Extremadura.

# IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CUBIERTAS CON AMIANTO EN EDIFICIOS MEDIANTE ANÁLISIS DE IMAGEN OBIA-RANDOM FOREST Y REDES NEURONALES CONVOLUCIONALES

LAVADO CONTADOR, J. FRANCISCO

Fac. Filosofía y Letras, Avda. de las Letras s/n, Cáceres, 10071, España, [frlavado@unex.es](mailto:frlavado@unex.es)

GABOUREL LANDEVERDE, VÍCTOR ANTHONY

Fac. Filosofía y Letras, Avda. de las Letras s/n, Cáceres, 10071, España, [gabourel@unex.es](mailto:gabourel@unex.es)

ORTEGA CASADO, GONZALO

Xtrem Ind. de Software S.A., Av. de la Hispanidad 3, Mérida, 06800, España, [gortega@xtrem.es](mailto:gortega@xtrem.es)

CORZO GAJÓN, ANTONIO JOSÉ

Fac. Filosofía y Letras, Avda. de las Letras s/n, Cáceres, 10071, España, [acorzos@unex.es](mailto:acorzos@unex.es)

VADILLO SÁNCHEZ, RAÚL

Xtrem Ind. de Software S.A., Av. de la Hispanidad 3, Mérida, 06800, España, [raulvadillo@xtrem.es](mailto:raulvadillo@xtrem.es)

AMADOR GONZÁLEZ, CLAUDIO LUCAS

Ronda Oeste 21, Vill. de la Serena, Badajoz, España, [proyectogema2032@gmail.com](mailto:proyectogema2032@gmail.com)

**E**l amianto (asbesto) es un material compuesto de minerales naturales (asbesto) que se ha utilizado durante siglos debido a sus propiedades únicas, como la resistencia al calor y al fuego, la absorción del sonido y el aislamiento. A pesar de sus propiedades beneficiosas, el amianto puede tener efectos negativos en la salud humana si se inhala en forma de fibras. La exposición prolongada al amianto se ha relacionado con enfermedades graves, de manera que el uso extensivo de amianto en materiales, particularmente en la industria de la construcción, se ha relacionado con problemas como el mesotelioma, el cáncer de pulmón o la asbestosis. La exposición al asbesto ocurre cuando las fibras minerales se liberan en el aire y se inhalan, lo que lleva a la acumulación de fibras en los pulmones y otros órganos. Debido a los riesgos para la salud asociados con el amianto, muchos países han prohibido su uso en construcción y han establecido regulaciones para su eliminación segura. En España, la primera normativa específica para el control del amianto se estableció en 1984, a través del Real Decreto 1.866/1984, que establecía medidas para la protección de los trabajadores expuestos al amianto. Posteriormente, en 2001, se publicó el Real Decreto 1406/1989, que establecía las normas para la eliminación y gestión

de los residuos de amianto. En 2002 se produjo la prohibición total del amianto en España con la entrada en vigor del Real Decreto 396/2006, por el que se prohibió la producción y el uso de materiales que contengan asbesto. No obstante, España, como muchos otros países, tiene una larga historia de uso del amianto en la construcción y en otros sectores, habiéndose usado ampliamente para en la construcción de edificios, particularmente en forma de fibrocementos, de estructuras para el aislamiento térmico y acústico, para la protección contra el fuego, la fabricación de materiales de construcción como tejas o tuberías, y productos de fricción, como embragues y frenos de automóviles. A pesar de la prohibición, muchos edificios en España todavía contienen estos materiales. Los techos de fibrocemento con amianto, en particular, comúnmente conocidos como “tejadados de Uralita”, por la empresa que los construía, se han identificado como una fuente potencial de fibras de asbesto en el aire, al estar expuestos a la intemperie y la degradación con el tiempo.

Existe, por lo tanto, la necesidad de identificar y ubicar materiales que contengan amianto para evaluar el riesgo potencial de exposición y desarrollar estrategias para su remoción y eliminación segura. La legislación vigente, además, insta a aplicar este tipo de soluciones. Para ello, los Sistemas de Información Geográfica y la teledetección aportan soluciones útiles y técnicas de modelización prometedoras, que pueden facilitar la identificación y el mapeo de materiales que contienen amianto. Dichas herramientas resultan particularmente aptas para estos ambientes urbanos, complejos, debido a su capacidad para cubrir grandes áreas de forma rápida y rentable.

El objetivo principal del presente estudio comprobar la utilidad de las ortofotografías de alta resolución espacial (0,25 m) del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), junto a las herramientas de análisis espacial y la teledetección para el desarrollo de modelos que permitan la identificación y mapeo de techos de fibrocemento en áreas urbanas de Extremadura, España. Las imágenes del PNOA se componen de las bandas roja, verde y azul (RGB) y una banda del infrarrojo cercano (NIR), que proporcionan información sobre las propiedades de reflectancia de los objetos en las imágenes. Con este objetivo principal, se utilizaron dos enfoques diferentes para analizar las imágenes del PNOA: análisis de imágenes basado en objetos (OBIA) y análisis basado en píxeles, utilizando, en ambos, algoritmos de aprendizaje automático.

En el enfoque OBIA, las imágenes se segmentaron en objetos en función de sus propiedades, y los objetos resultantes se clasificaron mediante un algoritmo de bosque aleatorio (Random Forest, RF) utilizando 57 características espectrales, morfológicas y texturales de los objetos. Los objetos se delinearón en varios niveles jerárquicos utilizando el algoritmo “multiresolution segmentation” del software eCognition. Este proceso genera iterativamente objetos de píxeles contiguos, evaluando si la adición de cada píxel permite que el objeto mantenga la homogeneidad y los criterios de forma deseados, que se establecen mediante un parámetro de escala definido por el usuario. El parámetro de escala es una medida integrada de heterogeneidad espectral y de forma e, indirectamente, controla el tamaño de los objetos identificados en las imágenes. En el entorno del software eCognition se calcularon también las 57 características para cada uno de los objetos segmentados, que, en conjunto, constituyeron la base de datos para la clasificación de los objetos con el algoritmo de bosque aleatorio. Como sugiere el nombre, el bosque aleatorio es una colección de árboles de decisión, y se

trata de un tipo común de métodos que agregan resultados de múltiples predictores utilizando la técnica de embolsado (bagging), que permite que cada árbol se entrene en una muestra aleatoria del conjunto de datos original y se obtenga la clase por voto mayoritario de todos los árboles. Para el entrenamiento del modelo RF, se seleccionaron un total de 1.359 segmentos de los que se conocía su naturaleza y habían sido clasificados manualmente como cubiertas cerámicas, de chapa y de fibrocemento.

En el enfoque basado en píxeles, se utilizaron redes neuronales convolucionales (CNN) con arquitectura general tipo U-Net para segmentar los píxeles de las imágenes. Una red neuronal con arquitectura U-Net es un tipo de red que se utiliza comúnmente en el procesamiento de imágenes y en la segmentación semántica de imágenes. Los elementos básicos de una red neuronal con arquitectura U-Net son los siguientes: Capa de entrada, que es la capa inicial de la red neuronal donde se introduce la imagen a procesar; capas convolucionales, que aplican filtros a la imagen para extraer características importantes y relevantes (mapas de características); capas de pooling, que reducen la resolución de la imagen y extraen características de alto nivel; capas de convolución transpuesta, que se utilizan para aumentar la resolución de la imagen y realizar la reconstrucción de la imagen segmentada y capa de salida, que proporciona la salida final de la red neuronal, que en nuestro caso, corresponde a la imagen segmentada. Existen, además, conexiones de salto que se utilizan para transferir información de la capa de convolución a la capa de convolución transpuesta correspondiente, lo que ayuda a preservar la información de baja resolución. Adicionalmente, se comparó la efectividad de varias arquitecturas de red tipo ResNET, DenseNet y VGGNet como ramas codificadoras de la U-Net para la extracción de los mapas de características de las imágenes, previo a la segmentación final de la imagen por clasificación de los píxeles. Los modelos CNN fueron entrenados utilizando miles de archivos de imágenes de  $250 \times 250$  píxeles, consistentes en cubiertas de fibrocemento con amianto segmentadas a mano sobre las imágenes de cuatro bandas del vuelo del PNOA correspondiente al año 2019. Durante el entrenamiento de las redes se utilizaron técnicas de aumento de los datos para incrementar el número de imágenes y evitar el sobreentrenamiento.

Los resultados del estudio mostraron que tanto los modelos OBIA-RF como las redes CNN funcionaron bien en términos de la precisión de clasificación, con el modelo OBIA-RF logrando una precisión general del 91 %, y los modelos CNN logrando precisiones del 97 % para las diferentes arquitecturas. Se encontró que los modelos CNN eran más precisos y eficientes, particularmente en términos de su capacidad para identificar y delinear techos de cemento con amianto de forma más rápida y eficiente. El estudio tiene implicaciones importantes para la identificación y gestión de materiales que contienen amianto en áreas urbanas y las posibles repercusiones sobre la salud pública de éstos.

*Palabras clave:* Amianto, asbesto, OBIA, CNN, uralita, red neuronal.

*Financiación/Funding:* El presente trabajo ha sido resultado de la financiación del proyecto IDA1-19-004-3 de financiación industrial al amparo del decreto 113/2017 de 18 de julio. Res.Del.21/08/2019, DOE 163, 23/08/2019.

## Automatic identification of asbestos-containing roofs in buildings using OBIA-Random Forest image analysis and convolutional neural networks

Asbestos (asbestos) is a material composed of natural minerals (asbestos) that has been used for centuries due to its unique properties, such as resistance to heat and fire, sound absorption and insulation. Despite its beneficial properties, asbestos can have negative effects on human health if it is inhaled in the form of fibers. Long-term exposure to asbestos has been linked to serious diseases, so the extensive use of asbestos in materials, particularly in the construction industry, has been linked to problems such as mesothelioma, lung cancer, or asbestosis. Asbestos exposure occurs when mineral fibers are released into the air and inhaled, leading to the accumulation of fibers in the lungs and other organs. Due to the health risks associated with asbestos, many countries have banned its use in construction and have established regulations for its safe disposal. In Spain, the first specific regulations for the control of asbestos were established in 1984, through Royal Decree 1866/1984, which established measures for the protection of workers exposed to asbestos. Subsequently, in 2001, Royal Decree 1406/1989 was published, which established the rules for the elimination and management of asbestos waste. In 2002 there was a total ban on asbestos in Spain with the final entry into force of Royal Decree 396/2006, which prohibited the production and use of materials containing asbestos. However, Spain, like many other countries, has a long history of using asbestos in construction and other sectors, having been widely used in the construction of buildings, particularly in the form of fiber cement, structures for thermal and acoustic insulation, for fire protection, the manufacture of construction materials such as tiles or pipes, and friction products, such as automobile clutches and brakes. Despite the ban, many buildings in Spain still contain these materials. Asbestos-containing fiber cement roofs, in particular, commonly known as "Uralita roofs" after the company that built them, have been identified as a potential source of airborne asbestos fibers from weathering and degradation, over time.

Therefore, there is a need to identify and locate asbestos-containing materials in order to assess the potential risk of exposure and develop strategies for their removal and safe disposal. Current legislation also encourages the application of this type of solutions. To do this, Geographic Information Systems and remote sensing techniques provide useful solutions and promising modelling techniques, which can facilitate the identification and mapping of asbestos-containing materials. Such tools are particularly well-suited for these complex urban environments, due to their ability to quickly cover large areas in a cost-effective way.

The main objective of this study is to verify the usefulness of the high spatial resolution orthophotographs (0.25 m) of the National Plan for Aerial Orthophotography (PNOA), together with spatial analysis tools and remote sensing, for the development of models that allow the identification and mapping of fiber cement roofs in urban areas of Extremadura, Spain. PNOA images are composed of red, green, and blue (RGB) bands and a near-infrared (NIR) band, which provide information about the reflectance properties of objects in the images. With this main objective,

two different approaches were used to analyze the PNOA images: object-based image analysis (OBIA) and pixel-based analysis, using, in both, machine learning algorithms.

In the OBIA approach, images were segmented into objects based on their properties, and the resulting objects were classified using a Random Forest (RF) algorithm using 57 spectral, morphological, and textural features of the objects. Objects were delineated at various hierarchical levels using the eCognition software's multiresolution segmentation algorithm. This process iteratively generates objects from contiguous pixels, evaluating whether the addition of each pixel allows the object to maintain the desired homogeneity and shape criteria, which are set by a user-defined scale parameter. The scale parameter is an integrated measure of shape and spectral heterogeneity and indirectly controls the size of the objects identified in the images. In the eCognition software environment, the 57 characteristics were also calculated for each of the segmented objects, which, together, constituted the database for classifying the objects with the random forest algorithm. As the name suggests, the random forest is a collection of decision trees, and it is a common type of method that aggregates results from multiple predictors using the bagging technique, which allows each tree to be trained on a sample from the original data set and obtain the class by majority vote of all the trees. For training the RF model, a total of 1,359 segments of known nature were selected and manually classified as ceramic, sheet metal and fiber cement.

In the pixel-based approach, convolutional neural networks (CNNs) with general U-Net architecture were used to segment the pixels of the images. A neural network with U-Net architecture is a type of network that is commonly used in image processing and semantic image segmentation. The basic elements of a U-Net neural network are the following: Input layer, which is the initial layer of the neural network where the image to be processed is entered; convolutional layers, which apply filters to the image to extract important and relevant features (feature maps); pooling layers, which reduce image resolution and extract high-level features; transposed convolution layers, which are used to increase the image resolution and perform the reconstruction of the segmented image, and output layer, which provides the final output of the neural network, which, in our case, corresponds to the segmented image. There are also hop connections that are used to transfer information from the convolution layer to the corresponding transposed convolution layer, which helps to preserve low-resolution information. Additionally, the effectiveness of various network architectures such as ResNET, DenseNet and VGGNet was compared as encoders of the U-Net for the extraction of image feature maps, prior to the final segmentation of the image by pixel classification. The CNN models were trained using thousands of image files of  $250 \times 250$  pixels, consisting of hand-segmented asbestos-cement roofing over the four-band images of the 2019 PNOA flight. During the training of the neural networks, data augmentation techniques were performed to increase the number of images and avoid overtraining.

The results of the study showed that both the OBIA-RF models and the CNN networks performed well in terms of classification accuracy, with the OBIA-RF model achieving an overall accuracy of 91%, and the CNN models achieving pressures of 97% for the different architectures. CNN models were found to be more accurate and efficient, particularly in terms of their ability identify and delineate asbestos-cement

roofing more quickly and efficiently. The study has important implications for the identification and management of asbestos-containing materials in urban areas and their possible repercussions on public health.

**Keywords:** Asbestos, OBIA, CNN, Neural Network.



# VARIACIONES LATITUDINALES Y ALTITUDINALES DE LAS PRECIPITACIONES EXTREMAS EN CHILE: RESULTADOS CON IMPLICACIONES PARA LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

LOZANO-PARRA, JAVIER

Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial, Departamento de Arte y Ciencias del Territorio, Universidad de Extremadura, 10003 Cáceres, España

GARRIDO-VELARDE, JACINTO

Departamento de Didáctica de las Ciencias Sociales, Lengua y Literatura, Universidad de Extremadura, 06006 Badajoz, España

Los fenómenos meteorológicos extremos han ganado atención creciente en las últimas décadas debido a sus impactos naturales y socioeconómicos. Los estudios comúnmente coinciden en el cambio de patrón de algunos de estos fenómenos y en que su predicción es difícil debido a que son complejos y pueden tener una gran variabilidad espaciotemporal.

Dentro de los fenómenos meteorológicos extremos, las precipitaciones diarias extremas constituyen un tema de gran interés debido a las cantidades que generan y a que su distribución espaciotemporal suele ser irregular y ocurrir sobre áreas localizadas. Este tipo de precipitaciones pueden surgir de altas intensidades en cortos intervalos de tiempo o de grandes acumulaciones diarias en eventos muy sucesivos. Sin embargo, a pesar de su importancia como riesgo natural, en América del Sur han sido abordadas con menos frecuencia que otros fenómenos meteorológicos extremos, como por ejemplo, las anomalías térmicas.

En regiones con elevados gradientes latitudinales y altitudinales, como Chile, existe una gran variedad de condiciones climáticas en cortas distancias: desde las zonas más húmedas y secas del sur y del norte, respectivamente, hasta las más frías y cálidas de las cotas más elevadas y bajas, respectivamente. En este país, el estudio de las concentraciones pluviométricas diarias extremas y la definición de sus periodos de retorno podría ser de gran utilidad, ya que permitiría minimizar la vulnerabilidad de la sociedad ante eventos climáticos extremos y reducir el impacto que éstos puedan causar. Sin embargo, aunque cada vez existen bases de datos con información

espaciotemporal más detallada, el análisis de las precipitaciones a menudo se ha enfocado en los promedios de múltiples estaciones meteorológicas, en sus anomalías espaciotemporales o en la modelización climática, poniendo menos atención a los eventos extremos. Por tanto, el análisis de estos fenómenos y sus variaciones latitudinales y altitudinales en Chile es necesario para eludir riesgos naturales y llevar a cabo una correcta planificación territorial.

El análisis de los fenómenos pluviométricos extremos requiere contemplar algunas consideraciones previas antes de su ejecución. Por un lado, estos eventos son, por definición, inusuales y estocásticos, por lo que debido a su variabilidad, tanto cíclica como caótica, se requieren observaciones constantes durante un largo período de tiempo. Por otra parte, en términos de estructura estadística, las precipitaciones diarias extremas no presentan una distribución gaussiana sino una distribución de valores extremos generalizados que puede ajustarse mediante una distribución de eventos extremos como los de las precipitaciones máximas anuales. Finalmente, los eventos de precipitación que desencadenan los mayores impactos naturales y socioeconómicos pueden mostrar comportamientos divergentes sobre pequeñas superficies, por lo que definir su frecuencia de excedencia mediante el período de retorno puede suponer una herramienta muy útil para evitar estos impactos. Sin embargo, las bases de datos con información temporal breve pueden causar sesgos en la estimación del período de retorno, demostrando la dependencia que tiene esta herramienta estadística con respecto al tamaño de las bases de datos utilizadas.

La necesidad de caracterizar las precipitaciones extremas respalda este trabajo, que tiene como objetivo definir los eventos pluviométricos extremos en Chile en diferentes espacios latitudinales y altitudinales, y utilizando bases de datos amplias desde el punto de vista espacial y temporal. Los objetivos específicos son los siguientes: I) analizar la variación de la precipitación anual en diferentes regiones altitudinales y latitudinales de Chile; II) definir la concentración pluviométrica de eventos extremos respecto a los días de lluvia; III) determinar la probabilidad de no exceder determinados umbrales pluviométricos y establecer periodos de retorno para los eventos extremos de precipitación.

Los material y métodos utilizados para alcanzar los objetivos se detallan a continuación. El análisis altitudinal y latitudinal de la precipitación en Chile se realizó considerando la geomorfología chilena. La distribución espacial de las unidades geomorfológicas se obtuvo a partir de la clasificación geomorfológica para Chile desarrollada por Paskoff [1996], quien inicialmente distinguió 62 unidades de relieve diferentes. Para simplificarlas, se agruparon en 8 unidades siguiendo la clasificación del IGM [2018], de las cuales solo se seleccionaron dos: la Cordillera de los Andes y la Depresión Central. Esto se justifica porque ambas unidades representan una distribución latitudinal, muestran diferencia altitudinal y cubren un área importante de Chile. Finalmente, se distribuyeron de norte a sur en 2 regiones geográficas, según el BNC [2016]. La región geográfica norte comprende llanuras desérticas y cordilleras pre-altiplánicas y corresponde a las zonas administrativas de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y parte de Atacama. La región geográfica sur incluye zonas lacustres centrales y llanuras glacio-volcánicas. Se extiende aproximadamente desde la Araucanía hasta la Región de Los Lagos.

Los datos de precipitación se obtuvieron del *Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia*. Esta institución incluye estaciones meteorológicas repartidas por todo Chile y pertenecientes a dos organismos oficiales chilenos, la Dirección Meteorológica de Chile y la Dirección General de Aguas. Los datos se obtuvieron a escala diaria desde 1980 hasta 2018. Las unidades geomorfológicas y las regiones geográficas elegidas se utilizaron para seleccionar las estaciones meteorológicas ubicadas en sus zonas. Solo se utilizaron las estaciones meteorológicas con más del 75 % de sus bases de datos completas. De esta forma, se seleccionaron un total de 87 estaciones meteorológicas sobre un total de 816 en todo el país.

El análisis cuantitativo de la precipitación permite caracterizar la pluviometría de un territorio y evaluarla de forma relativa en un marco definido por el conjunto de aportes diarios. La distribución temporal de la precipitación anual se analizó utilizando todas las estaciones meteorológicas pertenecientes a cada unidad geomorfológica y cada región geográfica. Para cada grupo definido de estaciones meteorológicas se clasificó la precipitación diaria por cuartiles (25 %, 50 %, 75 % y 100 %) y se calculó la precipitación anual por cuartil, lo que permitió describir su irregularidad temporal y categorizarlas de menor a menor. los mas pesados.

Las relaciones entre días de lluvia y eventos diarios con precipitación máxima también fueron descritas por las frecuencias acumuladas. El procedimiento utilizado se basa en calcular las curvas formadas por la precipitación acumulada relativa y la precipitación acumulada total con respecto al acumulado de días de lluvia. Para definir estas curvas se utilizaron dos variables, los días de lluvia y la precipitación extrema de esos días de lluvia, es decir, el valor máximo de precipitación observado entre todas las estaciones meteorológicas pertenecientes a cada unidad geomorfológica y cada región geográfica. El período analizado abarcó 14.702 días por cada estación meteorológica.

El análisis de precipitaciones extremas se llevó a cabo mediante la distribución de Gumbel, que es una distribución de probabilidad de valores extremos generalizada utilizada para modelar valores extremos de una muestra de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas. Este análisis es conocido en hidrología porque permite analizar valores máximos mensuales y anuales de precipitación diaria y permite predecir la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones extremas. Así, la probabilidad de no excedencia de una precipitación fue definida por la distribución de Gumbel. El período de retorno de un evento hidrológico se relacionó con la probabilidad de superación de ese evento hidrológico.

Los resultados mostraron que la concentración pluviométrica presenta una curva exponencial donde, en todos los casos, al menos, el 10 % de los días con precipitación concentra al 30 % de los días más lluviosos. Esto demuestra, por un lado, una alta irregularidad y, por otro, que la mayor parte de la precipitación anual se concentra en unos pocos días que descargan cantidades muy elevadas. Para periodos de retorno <100 años, los eventos extremos de precipitación diaria podrían alcanzar los 109 mm y 305 mm para zonas del norte y sur de la Cordillera de los Andes, respectivamente, mientras que en zonas del norte y sur de la Depresión Central sus valores podrían ser de 70 mm y 170 mm, respectivamente. Se prevé que la frecuencia y la severi-

dad de las precipitaciones extremas aumente en algunas partes de América del Sur durante el siglo XXI, lo que podría tener importantes implicaciones ambientales y socioeconómicas.

*Palabras clave:* Eventos climáticos extremos, periodo de retorno, hidrología, SIG, Chile.

*Financiación/Funding:* Esta investigación ha sido posible gracias al apoyo del proyecto IB20012 concedido por la Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital de la Junta de Extremadura y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER); al proyecto IB20036 concedido por la Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital de la Junta de Extremadura y por el FEDER; y gracias al proyecto SI3/PJI/2021-00398 concedido por la Comunidad Autónoma de Madrid.

*Agradecimientos/Acknowledgments:* Los autores agradecen al Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia de Chile por facilitar la información para este trabajo.

## Latitudinal and altitudinal variations of extreme precipitation in Chile: results with implications for territorial planning

Concern about extreme weather events has earned growing attention in the last decades because of their natural and socioeconomic impacts. Scientific studies commonly accord on pattern change of some meteorological phenomena, for example, it is widely recognized that global temperature is increasing, while some extreme meteorological events are more difficult to predict owing to they are complex and vary regionally.

The study of extreme daily rainfalls is a subject of great interest due to hydrological issues resulting from the high daily amounts and the irregular temporal distribution in large areas, highlighting their role in the hydrological cycle. This type of rainfalls can come from high precipitation rates in short time intervals or large daily accumulations on successive days that end up saturating the soils. However, despite their importance as a natural hazard, heavy daily rainfalls have frequently been less tackled than other weather issues, such as temperature anomalies, especially in South America.

In regions with very great latitudinal and altitudinal gradients as Chile, the rainfall variability creates a large range of weather conditions in short distances: from the wettest and driest areas on the southern and on the northern, respectively, to wetter and drier areas on higher and lower elevations, respectively. The study of the extreme daily concentrations of rainfall and the definition of their return periods could be very useful in this country to minimize the vulnerability of society to extreme weather events and reduce the impact that they may cause. However, although current studies have increasingly used bigger spatiotemporal-scale databases of precipitation, their analysis have often focused either on multi-station averages and their spatiotemporal

anomalies, or on climate modelling, with less attention on extreme events. Therefore, an analysis of extreme rainfall events and their latitudinal and altitudinal variations in Chile is still needed.

In the study of extreme rainfalls, some challenging topics should especially be considered before proceeding to the analysis. On one hand, extreme rainfall events are, by definition, rare and stochastic events, so due to its both cyclic and chaotic variability, constant observations over a long time period are required. On the other hand, in terms of statistical structure, the extreme daily rainfalls do not exhibit a Gaussian distribution but rather a Generalized Extreme Value (GEV) distribution, which can be fitted through a distribution of extreme events such as those from annual maximum precipitations. Finally, the most extreme precipitation events that trigger the largest natural and socioeconomic impacts can show divergent behaviors over small geographic domains, so defining their frequency of exceedance by the return period can suppose a very useful tool to avoid these impacts. Nevertheless, short databases can cause bias in the estimation of return period, proving the dependence of this statistical tool on the size of used databases.

Due to the importance of precipitation for the maintenance and development of natural ecosystems as well as societies and economies in Chile, this work aims to define the extreme rainfall events in this country in different latitudinal and altitudinal regions, using spatially distributed long databases. Thus, the objectives of this study are the following: I) To analyze variations of annual precipitation on different altitudinal and latitudinal regions of Chile; II) to define the rainfall concentration of extreme events regarding rainy days; III) to determine the probability of non-exceedance and return periods of extreme events of precipitation.

The materials and methods used to achieve the objectives are detailed in the following lines. In order to carry out an altitudinal and latitudinal analysis of precipitation in Chile, its geomorphology was considered. The spatial distribution of the geomorphological units was obtained from the geomorphologic classification for Chile developed by Paskoff [1996], who initially distinguished 62 different relief units. To simplify them, they were grouped into 8 units following the classification of IGM [2018], of which only two were selected: Andes Mountain and Central Depression. It was justified because they depict a latitudinal distribution, show altitudinal difference, and cover a significant area of Chile. Finally, they were distributed from north to south in 2 geographical regions, according to the BNC [2016]. The northern geographical region includes desert plains and pre-altiplanic mountain ranges and corresponds to the administrative zones of Arica and Parinacota, Tarapacá, Antofagasta and part of Atacama. The southern geographical region includes central lacustrine zones and glacio-volcanic plains. It extends approximately from the Araucanía to the Los Lagos Region.

Precipitation data were obtained from the *Center for Climate and Resilience Research*. This institution includes meteorological stations spread throughout Chile and belonging to two official Chilean organisms, the *Dirección Meteorológica de Chile* and the *Dirección General de Aguas*. Data were obtained at a daily timescale from 1980 to 2018. The chosen geomorphological units and geographical regions were used to select meteorological stations located on their zones. Only the meteorological stations with more than 75% of the complete database were used. Thus, from 816 meteorological stations, a total of 87 were selected from all the country.

The quantitative analysis of precipitation allows to characterize the rainfall of a territory and evaluate it in a relative way, in a framework defined by the set of daily contributions. The temporal distribution of annual precipitation was analyzed using all the meteorological stations belonging to each geomorphological unit and each geographical region. For each defined group of meteorological stations, daily precipitation was classified by quartiles (25%, 50%, 75% and 100%) and the annual precipitation by quartile was calculated, which allowed to describe their temporal irregularity and categorize them from the lightest to the heaviest ones.

Relations between rainy days and daily events with maximum precipitation was also described by the cumulative frequencies. The used procedure is based on calculating the curves formed by the relative cumulative rainfall and the total cumulative rainfall (both on the Y axes) regarding the cumulative rainy days (on the X axis).

To define these curves were used two variables, the rainy days and the extreme precipitation of these rainy days, i.e., the maximum value of rainfall observed among all the meteorological stations belonging to each geomorphological unit and each geographical region. The analyzed period spanned 14702 days by each meteorological station.

Extreme rainfall analysis was carried out by the Gumbel distribution, which is a GEV probability distribution used to model extreme values from a sample of independent, identically distributed random variables, as the size of the sample increases. It is known in hydrology because lets to analyze monthly and annual maximum values of daily rainfall and lets to predict the probability of extreme rainfall will occur. Thus, the probability of non-exceedance of a precipitation ( $x$ ) was defined by Gumbel distribution. The return period of a hydrologic event can be related to probability of exceedance of that hydrologic event.

Results showed that the concentration of precipitation follows an exponential curve where, in all cases, at least 10% of the days with precipitation account for 30% of the rainiest days. This demonstrates a high level of irregularity, with most of the annual precipitation concentrated in a few days with very high amounts of rainfall. For return periods less than 100 years, extreme daily precipitation events could reach 109 mm and 305 mm for the northern and southern areas of the Andes Mountains, respectively. In the northern and southern areas of the Central Depression, the values could be 70 mm and 170 mm, respectively. The frequency and severity of extreme precipitation events are projected to increase in some parts of South America during the 21st century. This could have significant environmental and socioeconomic implications.

**Keywords:** Extreme climate events; return periods; Hydrology; GIS; Chile.

# EFECTO DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LOS PRINCIPALES ECOSISTEMAS DE EXTREMADURA: RESULTADOS CON IMPLICACIONES PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE

LOZANO-PARRA, JAVIER

Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial, Departamento de Arte y Ciencias del Territorio, Universidad de Extremadura, 10003 Cáceres, España

GARRIDO-VELARDE, JACINTO

Departamento de Didáctica de las Ciencias Sociales, Lengua y Literatura,  
Universidad de Extremadura, 06006 Badajoz, España

ALFONSO-TORREÑO, ALBERTO

Departamento de Didáctica de las Ciencias Sociales, Lengua y Literatura,  
Universidad de Extremadura, 06006 Badajoz, España

BARRENA-GONZÁLEZ, JESÚS

Grupo de Investigación GeoAmbiental, Departamento de Arte y Ciencias del Territorio,  
Universidad de Extremadura, 10003 Cáceres, España

**E**xtremadura dedica aproximadamente el 69 % de su superficie al uso forestal, mientras que en España este uso del suelo representa el 55 % de su extensión. Los bosques de Extremadura juegan un papel clave en su sociedad, cultura o economía, ya que dan lugar a diferentes estilos de vida y mantienen importantes actividades. Los principales espacios de vegetación en Extremadura son los ocupados por encinas, alcornoques, robles melojos, retamas y las zonas cultivadas de las depresiones.

El mantenimiento de la cubierta vegetal requiere, en mayor o menor medida, de la presencia y disponibilidad de agua. Sin embargo, debido a las actuales variaciones climáticas inducidas por el hombre, los procesos hidrológicos que afectan a la vegetación (precipitación, flujos de agua en el suelo, evapotranspiración, etc.) podrían estar sujetos a cambios significativos que pueden tener consecuencias importantes, como impactos ambientales, económicos o turísticos. Por ejemplo, actualmente, en ambientes donde el agua es abundante, las relaciones entre el agua y la vegetación son frecuentemente dominadas por las variaciones del nivel freático, mientras que en ecosistemas mediterráneos o semiáridos, donde el déficit hídrico es significativo,

estas relaciones son controladas por pulsos recurrentes de abundancia y escasez en la zona no saturada del suelo. En ambos ambientes existen diferentes especies vegetales y, por tanto, distintas oportunidades económicas o turísticas. De este modo, el estudio de los procesos hidrológicos y climáticos es crucial para la gestión efectiva de los ecosistemas dependientes del agua.

Aunque en la actualidad se ha avanzado significativamente en el estudio de los mecanismos que controlan los flujos hídricos a escala de hoja o planta, es necesario ampliar la investigación a escalas espaciales superiores. Asimismo, los fenómenos que ocurren en intervalos temporales relativamente breves necesitan ser extrapolados a períodos prolongados. Por tanto, es importante llevar a cabo este tipo de estudios a una escala espacial extensa (al menos, regional), ya que las cuestiones relacionadas con las variaciones de los recursos hídricos y la vegetación tienden a ser más relevantes para la sociedad y para la economía cuando afectan a grandes espacios.

Teniendo en cuenta la importancia de la disponibilidad hídrica en el mantenimiento de la vegetación, este estudio tiene como finalidad definir los recursos hídricos actuales y futuros en la región de Extremadura y establecer cómo sus principales series vegetales podrían verse afectadas por diferentes escenarios climáticos. Los objetivos específicos serían: I) determinar el balance hídrico del suelo en Extremadura de forma espacialmente distribuida considerando un periodo base actual; II) definir los balances hídricos futuros según los diferentes escenarios climáticos; y III) determinar cómo afectarían los futuros balances hídricos a las principales series vegetales de Extremadura.

Los material y métodos utilizados para alcanzar los objetivos se detallan a continuación. Los datos climáticos actuales y futuros fueron obtenidos de Fick y Hijmans (2017). Para generarlos, se utilizaron datos instrumentales de precipitación mensual y temperatura media, máxima y mínima mensual. Estas variables se obtuvieron principalmente de estaciones meteorológicas repartidas por todo el mundo y pertenecientes a la *Global Historical Climatology Network*. Para mejorar las bases de datos y prolongarlas, también se utilizaron estaciones meteorológicas de otras fuentes, como la *World Meteorological Organization*, la *Food and Agriculture Organization* y la *International Center for Tropical Agriculture*. Posteriormente, los datos meteorológicos se interpolaron para generar una rejilla de datos climáticos a escala mundial con un tamaño de píxel de 1 km<sup>2</sup>. Para realizar la interpolación se utilizó un algoritmo basado en *splines* suavizados. Este método podría compararse con una generalización de la regresión múltiple estándar, en la que el modelo paramétrico se reemplaza por una función no paramétrica suavizada. Las variables independientes utilizadas para realizar la interpolación fueron climáticas y geográficas (latitud, longitud y elevación).

Para definir los recursos hídricos (1) en el presente y (2) en los escenarios futuros, se utilizaron diferentes períodos temporales. El primero se refiere a la situación climática actual o periodo base (1970-2000) y se utiliza para definir el contexto hidrológico actual; el segundo se refiere al intervalo 2040-2060 y se denomina 2050; mientras que el tercero, denominado 2070, hace referencia al intervalo 2060-2080. Estos dos últimos periodos también se generaron a partir de dos escenarios de concentración de gases de efecto invernadero diferentes, es decir, dos *Representative Concentration Pathways* (RCP). El primero (RCP 4.5), es un escenario en el que los gases de efecto invernadero alcanzan su punto máximo en 2040 y luego comienzan a disminuir;



mientras que el segundo (RCP 8.5) asume una situación similar a la actual, es decir, las emisiones de gases siguen aumentando a lo largo del siglo XXI y no hay reducción. Las proyecciones utilizadas fueron generadas por HadGEM2AO, uno de los modelos climáticos globales (GCM) que forman parte de la quinta fase del *Coupled Model Intercomparison Project*.

Los recursos hídricos disponibles para la vegetación en la región de Extremadura fueron definidos mediante un balance hídrico del suelo espacialmente distribuido que utilizó un tamaño de píxel de 1 km<sup>2</sup>. El balance hídrico se calculó de la siguiente forma:

$$WR = P - ET$$

donde WR (*Water Resources*) representa los recursos hídricos (mm) hipotéticamente disponibles para la vegetación, P es la precipitación (mm) y ET es la evapotranspiración real (mm). Todos los valores fueron obtenidos a una escala de tiempo anual. La evapotranspiración real se calculó mediante el método de Turc, que permite obtener valores anuales.

La distribución espacial de las principales cubiertas vegetales de Extremadura se obtuvo a partir de la clasificación de vegetación en series vegetales elaborada por Rivas Martínez, quien identificó 3 regiones biogeográficas y 37 grandes series de vegetación climatófilas. Las principales series vegetales utilizadas en este estudio fueron: (1) cubierta de encinas, que es dominante en Extremadura y está formada por bosques dispersos de *Quercus ilex* adaptados a largos déficits hídricos estacionales y, a menudo, interanuales; (2) cubierta de alcornoques, que está dominada por *Quercus suber* y prefiere suelos sueltos y ligeramente húmedos; (3) cubierta de roble melojo, que se desarrolla como un denso bosque caducifolio con *Quercus pyrenaica* como especie predominante, tiene un gran valor ecológico para la fauna y requiere más agua que las dos cubiertas anteriores; (4) cubierta de retamas, en la que predominan especies arbustivas como *Cytisus oromediterraneus* y que aparece en cotas más altas que los robles melojos debido a las condiciones de temperatura y a la capa de nieve en invierno; y (5) llanuras de inundación con cultivos, que no es una serie vegetal sino una combinación de unidad geomorfológica y uso del suelo (asociado a la topografía, fertilidad de los suelos y proximidad a grandes masas de agua).

Los resultados mostraron que los recursos hídricos actualmente son mayores en las zonas altas, donde predominan las cubiertas de encinas y retamas. Las cotas más bajas, ocupadas por encinas y alcornoques, presentan menores recursos hídricos. Los escenarios futuros prevén un decrecimiento de los recursos en todas las cubiertas vegetales, y algunas de ellas, como la cubierta de encinas, sufrirán una mayor disminución, con un descenso de hasta el 95 % en el peor de los escenarios. La gestión eficiente de estos espacios requerirá de un estudio exhaustivo de los futuros recursos hídricos, por lo que es clave para avanzar en este tema.

**Palabras clave:** Agua, clima, vegetación, proyecciones climáticas, Extremadura.

**Financiación:** Esta investigación ha sido posible gracias al apoyo del proyecto IB20012 concedido por la Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital de la Junta de Extremadura y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER); al

proyecto IB20036 concedido por la Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital de la Junta de Extremadura y por el FEDER; y gracias al proyecto SI3/PJI/2021-00398 concedido por la Comunidad Autónoma de Madrid.

*Agradecimientos:* Los autores agradecen a Stephen Fick y Robert Hijmans, así como al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico por facilitar la información para este trabajo.

## Effect of climate variations on water resources in the main ecosystems of Extremadura: results with implications for sustainable management

Extremadura dedicates approximately 69% of its surface area to forest use, while in Spain, this land use represents 55% of its extension. The forests of Extremadura play a key role in its society, culture, and economy, as they give rise to different lifestyles and maintain important activities. The main vegetation spaces in Extremadura are those occupied by holm oaks, cork oaks, Spanish oaks, brooms, and cultivated areas of the depressions.

Maintaining the vegetation cover requires, to a greater or lesser extent, the presence and availability of water. However, due to current climate variations induced by humans, the hydrological processes that affect vegetation (precipitation, water flows in the soil, evapotranspiration, etc.) could be subject to significant changes that can have important consequences for ecosystems, such as environmental, economic, or touristic impacts. For example, currently, in environments where water is abundant, the relationships between water and vegetation are frequently dominated by variations in the water table level, while in Mediterranean or semi-arid ecosystems, where water deficit is significant, these relationships are controlled by recurrent pulses of abundance and scarcity in the unsaturated zone of the soil. In both environments, there are different plant species and, therefore, different economic or touristic opportunities. Thus, the study of hydrological and climatic processes is crucial for the effective management of water-dependent ecosystems.

Although significant progress has been made in the study of mechanisms that control water flows at the leaf or plant scale, it is necessary to expand research to higher spatial scales. Likewise, phenomena that occur over relatively short time intervals need to be extrapolated to extended periods. Therefore, it is important to carry out this type of study on an extensive spatial scale (at least regional), as issues related to water resources and vegetation variations tend to be more relevant to society and the economy when they affect large areas.

Considering the importance of water availability in maintaining vegetation, this study aims to define current and future water resources in the Extremadura region and establish how its main vegetation series could be affected by different climate scenarios. The specific objectives would be: I) to determine the soil water balance in Extremadura in a spatially distributed way considering a current baseline period; II) to

define future water balances according to different climate scenarios; and III) to determine how future water balances would affect Extremadura's main vegetation series.

The materials and methods used to achieve the objectives are detailed below. Current and future climate data were obtained from Fick and Hijmans [2017]. Monthly precipitation, average, maximum and minimum monthly temperatures were the instrumental data used for generating the climate data. These variables were collected from meteorological stations worldwide belonging to the Global Historical Climatology Network (GHCN). Additionally, data from other sources such as the World Meteorological Organization (WMO), the Food and Agriculture Organization (FAO) and the International Center for Tropical Agriculture (CIAT) were used to augment and improve the databases. After collecting the meteorological data, interpolation was carried out to create a global-scale climate data grid with a 1 km<sup>2</sup> pixel size. The smoothed splines algorithm method was employed for interpolation, which can be thought of as a generalized form of standard multiple regression, in which a non-parametric smoothed function replaces the parametric model. Climatic and geographic independent variables (latitude, longitude, and elevation) were used to perform the interpolation.

To define the water resources for the present and future scenarios, different time periods were considered. The first period refers to the base period (1970-2000), which represents the current climate situation and is used to define the current hydrological context. The second and third periods, 2050 and 2070 respectively, represent the intervals of 2040-2060 and 2060-2080. These periods were generated based on two representative concentration pathways (RCP). RCP 4.5 is a scenario in which greenhouse gas emissions peak in 2040 and then begin to decline. RCP 8.5, on the other hand, assumes a business-as-usual scenario where gas emissions continue to increase throughout the 21st century with no reduction. The projections used for this study were generated by HadGEM2AO, one of the global climate models (GCM) that are part of the fifth phase of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5).

In order to calculate the water resources available for vegetation in the Extremadura region, a spatially-distributed water balance was defined using a pixel size of 1 km<sup>2</sup>. The water balance was calculated using the following formula:

$$WR = P - ET_a$$

where WR represents the hypothetical water resources (mm) available for vegetation, P is precipitation (mm), and ET<sub>a</sub> is actual evapotranspiration (mm), all obtained at an annual timescale. Actual evapotranspiration was calculated using the Turc [1961] method, which allows for obtaining annual values.

The spatial distribution of the main vegetation covers in Extremadura was obtained from Rivas Martínez's [1987] classification, which identified 3 biogeographic regions and 37 large series of climatophile vegetation. The main vegetation covers used in this study were: (1) holm oaks cover, which is the dominant vegetation cover in Extremadura and consists of scattered forests of *Quercus ilex*, adapted to long seasonal and often interannual water deficits; (2) cork oaks cover, which is dominated by *Quercus suber* and prefers loose, slightly moist soils; (3) Pyrenean oaks cover, which grows as a dense deciduous forest with *Quercus pyrenaica* as the predominant species, has great ecological value for fauna, and requires more water than the previous two

covers; (4) creeping brooms cover, which is dominated by shrubby species such as *Cytisus oromediterraneus* and appears at higher elevations than the Pyrenean oaks due to temperature conditions and snow cover in winter; and (5) floodplains and crops cover, which is not a vegetation cover but a combination of geomorphological unit and land use associated with flatness of land, fertility of soils, and proximity to large water bodies.

Results showed that water resources are currently greater in high elevations, where pyrenean oaks and creeping brooms covers are predominant. Lower elevations, occupy by holm oaks and cork oaks covers, presented lower water resources. Future scenarios forecasted that water resources will decrease in all vegetation covers, and some of them, such as holm oaks cover, will undergo a greater decrease in water resources, with a decline of up to 95% in the worst scenario. Efficient management of these spaces will need a comprehensive study of future water resources, so it is key to advance in this topic.

This study quantifies the current and future soil water balance in the Spanish region of Extremadura and defines what vegetation covers is the most affected by modifications of water resources. Results depicted that water resources are currently greater in high elevations, where pyrenean oaks and creeping brooms covers are predominant. Lower elevations, occupy by holm oaks and cork oaks covers, presented lower water resources. Future scenarios forecasted that water resources will decrease in all vegetation covers, and some of them, such holm oaks cover, will undergo a greater decrease in water resources, with a decline of up to 95% in the worst scenario. Efficient management of these spaces will need a comprehensive study of future water resources, so it is key to advance in this topic.

**Keywords:** Water, climate, vegetation, climate projections, Extremadura.

# EL RUIDO CON SONÓMETRO Y NODOS SENSORES, CASO DE ESTUDIO CUENCA – ECUADOR 2021

MARTÍNEZ, JULIA

Universidad del Azuay, Av. 24 de Mayo 7-77, 010204, Ecuador, [jumartinez@uazuay.edu.ec](mailto:jumartinez@uazuay.edu.ec)

VANEGAS, ISMAEL

Universidad del Azuay, Av. 24 de Mayo 7-77, 010204, Ecuador, [ismael\\_vanegas@uazuay.edu.ec](mailto:ismael_vanegas@uazuay.edu.ec)

ESPINOZA, DARÍO

Universidad del Azuay, Av. 24 de Mayo 7-77, 010204, Ecuador, [despinoza@uazuay.edu.ec](mailto:despinoza@uazuay.edu.ec)

SALGADO CASTILLO, FRANCISCO

Universidad del Azuay, Av. 24 de Mayo 7-77, 010204, Ecuador, [fdsalgado@uazuay.edu.ec](mailto:fdsalgado@uazuay.edu.ec)

Los sonidos han existido en el entorno desde el origen del planeta, y han provenido de la naturaleza, son sonidos agradables que no perturban el desenvolvimiento normal de las actividades. Este estado se ha mantenido por varios cientos de años. Es a partir del siglo XVIII cuando se empieza a considerar a los sonidos molestos, como contaminación ambiental.

Desde el punto de vista ambiental, el crecimiento poblacional está acompañado de acciones y actividades que generan alteraciones en el territorio, entre ellas asentamientos humanos sin considerar la planificación establecida, falta de cobertura de servicios básicos, insuficiencia de vivienda e infraestructura básica, lo cual trae consigo impactos ambientales que afectan a la población y a los ecosistemas existentes.

Es el crecimiento urbano, el aumento de la actividad antrópica, la congestión vehicular han incrementado los problemas de contaminación, en especial los relacionados con la calidad del aire, los que son ocasionados por el consumo de combustibles; además el movimiento vehicular, su variación en la velocidad de circulación influyen en el nivel de ruido emitido, es así que ante la presencia de mayor cantidad de vehículos, éstos circulan a velocidades bajas, lo que repercute en mayor cantidad de arranques, en tal razón mayor ruido, lo que lleva a establecer que la actividad antrópica y el crecimiento urbano han magnificado los sonidos los han vuelto perjudicial tanto para el hombre como para la fauna.

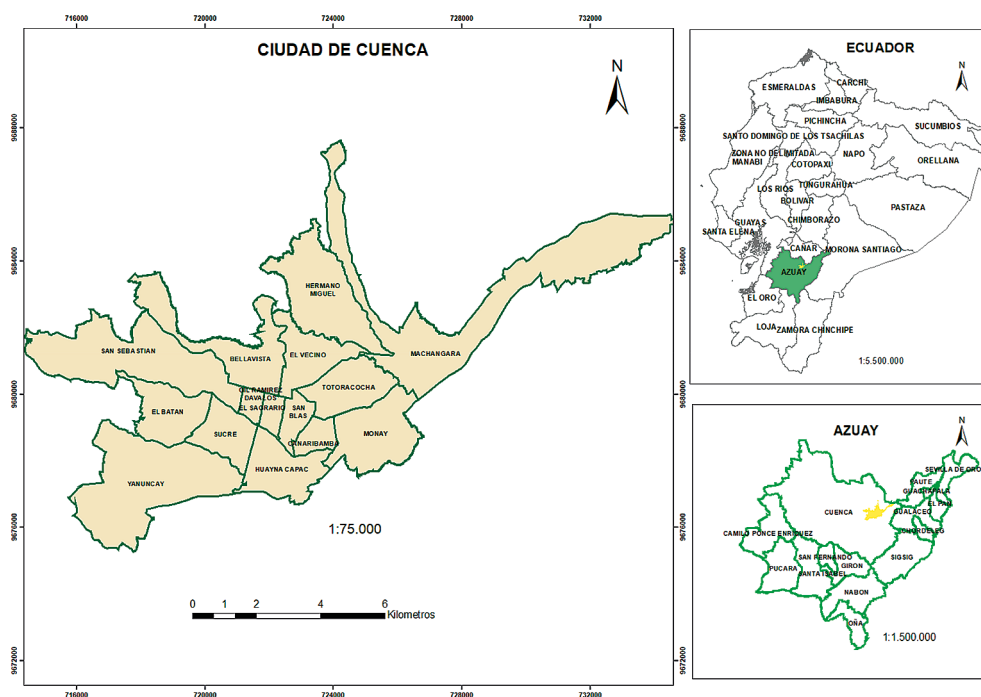
La contaminación por ruido es un factor ambiental que incide directamente en la salud fisiológica y psicológica de la población. Una exposición constante y prolon-

gada a niveles excesivos de sonido puede inducir lentamente, en algunos años, a la pérdida auditiva permanente, acumulativa e irreversible (Burneo, 2007); por lo tanto, el aumento del nivel acústico repercute en el grado de confort de la ciudadanía y por ende, en la calidad de vida.

En este marco, se hace necesario conocer el comportamiento sonoro de las urbes, ahondando en la determinación de las causas y efectos, su origen, ubicación y en medidas tendientes a mitigar o reducir el ruido. Es así que la Universidad del Azuay y el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca, desde el año 2009, realizan monitoreos periódicos del ruido en la ciudad de Cuenca con la utilización del sonómetro y desde el año 2019 con nodos sensores.

El análisis se desarrolló en la ciudad de Cuenca, cantón Cuenca, provincia del Azuay – Ecuador. La ciudad está a 2550 m.s.n.m y cuenta con 331.888 hab. (INEC, 2010), asentados en un área de 79,59 km<sup>2</sup> (ver Figura 1).

*Figura 1. Mapa de ubicación de la ciudad de Cuenca – Ecuador.*



Fuente: Elaboración propia sobre la base de la cartografía del IERSE-UDA-2010.

El proyecto trabajado, indaga en dos momentos; el primero es conocer la situación de las emisiones de ruido en la ciudad de Cuenca, a través del monitoreo con sonómetro calibrado en puntos preestablecidos (39), distribuidos en la ciudad; cuyos valores son comparados con la legislación ecuatoriana vigente, Anexo 5 Norma

Técnica del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2015), en la cual se detallan los “límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas, fuentes móviles y vibraciones”, lo que permite conocer la realidad del ruido ambiente en el área urbana de Cuenca – Ecuador y se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Límites permisibles (TULSMA 2015)

Uso del suelo	Denominación	Lkeq (dB)	
		Período diurno 07:01 hasta 21:00 horas	Período nocturno 21:01 hasta 07:00 horas
Residencial	R1	55	45
Equipamiento de servicios sociales	EQ1	55	45
Equipamiento de servicios públicos	EQ2	60	50
Comercial	CM	60	50
Agrícola residencial	AR	65	45
Industrial	ID1 / ID2	65	55
Industrial	ID3 / ID4	70	65
Uso múltiple	Cuando existan usos de suelo múltiple o combinados, se utilizará el Lkeq más bajo de cualquiera de los usos de suelo que componen la combinación		
Protección ecológica	PE	La determinación del Lkeq para estos casos se lo llevará a cabo de acuerdo al procedimiento descrito en el Anexo 4 del Anexo n° 5 del TULSMA	
Recursos naturales	RN		

Fuente: Libro VI, Anexo 5 del TULSMA-2015.

Un segundo momento consistió en realizar el monitoreo de ruido, a través de la utilización de nodos sensores, con los que se obtiene información del ruido de manera automática en tiempo real, con lo cual se puede conocer el comportamiento del ruido en la ciudad y su variación en el tiempo. Los datos obtenidos son también comparados con la norma TULSMA.

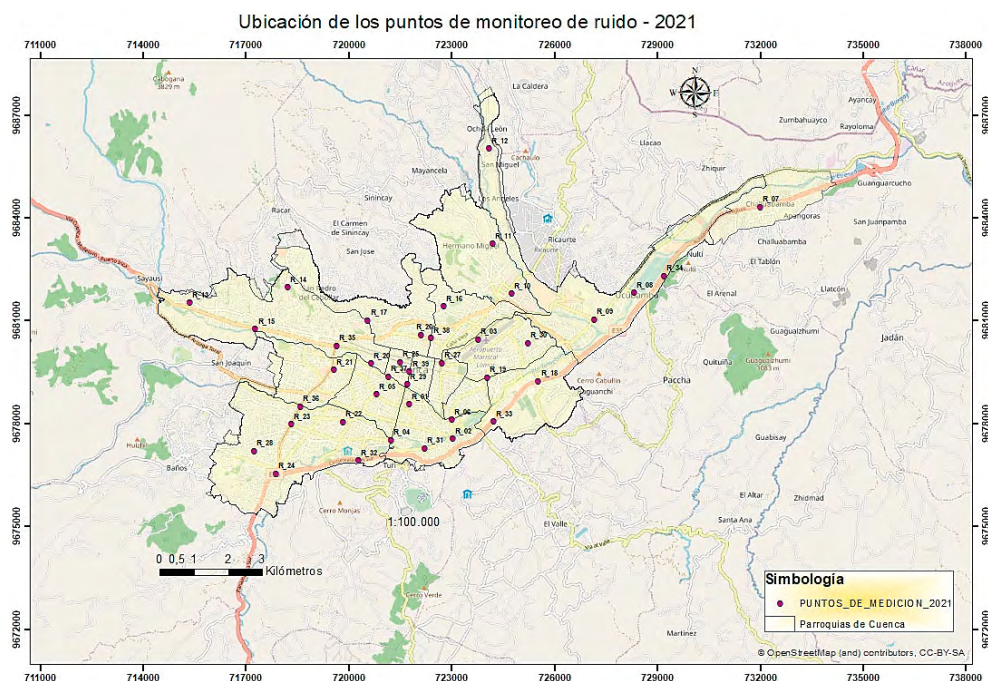
Se realiza además un período de mediciones de manera simultánea con sonómetro y nodos sensores en aquellos sitios en donde están colocados los nodos sensores, con el propósito de comparar los valores obtenidos por estos dos tipos de instrumentos y establecer sus relaciones. Para el presente período 2021 se contó con siete (7) sitios de monitoreo del ruido, con nodos sensores que reciben las emisiones sonoras de manera automática; y al mismo tiempo, en estos sitios se levantaron los datos con sonómetro; esta información fue sistematizada y analizada a través de herramientas estadísticas. Se realizaron cálculos a fin de determinar si existe correlación entre las medidas levantadas por los dos instrumentos, ya que los resultados sirven para conocer la fiabilidad de los datos obtenidos por los nodos sensores, en relación con los



del sonómetro. Se debe manifestar que el sonómetro es un instrumento debidamente calibrado y certificado.

Para la evaluación del comportamiento sonoro en la ciudad de Cuenca, durante el año 2021, se utilizó el sonómetro Modelo SOUNDPRO DL-2-1/3 SLM, marca QUEST TECHNOLOGIES, y se levantaron datos de emisiones, en 39 puntos preestablecidos; los que fueron ubicados y distribuidos tomando en consideración elementos como: sitios de mayor circulación de tráfico vehicular, análisis del uso del suelo de acuerdo a la ordenanza municipal vigente, y un factor adicional, que es la dinámica de la población. Los puntos escogidos son los que presentan las condiciones más desfavorables en relación con el mayor número de vehículos en circulación. Los horarios de medición en cada sitio de monitoreo fueron: 7h01, 10h00, 13h00, 15h00, 18h00 y 21h01, horarios que fueron seleccionados en función de las horas pico y horas valle, establecidas en un estudio realizado por la Unidad Municipal de Tránsito (UMT) del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca; el período de monitoreo fue de 15 minutos por cada horario, cumpliendo lo indicado en el TULSMA, que exige monitoreos con una duración mínima de 10 min.

Figura 2. Mapa de ubicación de los 39 sitios de monitoreo de ruido con sonómetro.



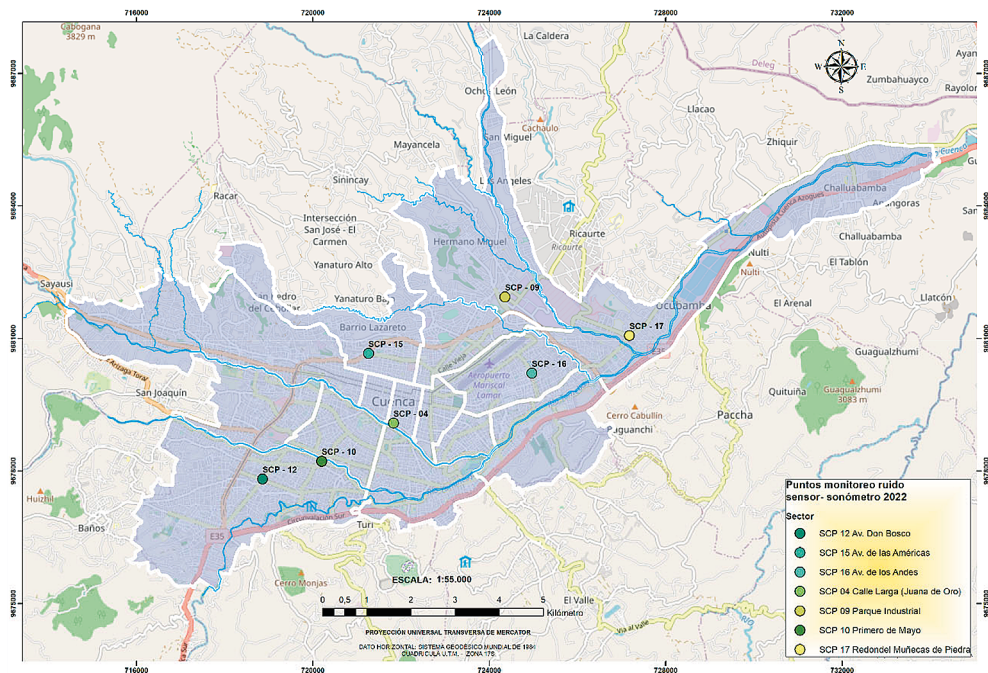
Elaboración: Equipo técnico UDA-IERSE-2021.

Para el monitoreo automático se contó con nodos sensores referenciales “Waspnote plug & sense” modelo Smart Cities PRO (SCP), estos equipos permiten desplegar



redes de sensores, que trabajan con el concepto de internet de las cosas. La ubicación de los sitios de monitoreo con nodos sensores requiere considerar criterios, a más del alto tráfico y dinámicas de la población, las condiciones logísticas con las que se cuenta para la instalación y la seguridad de los equipos. Los datos se tomaron en los mismos seis horarios citados anteriormente y por un período similar de 15 minutos por cada horario.

Figura 3. Mapa de ubicación de los 7 puntos de monitoreo con nodos sensores.



Elaboración: Equipo técnico UDA-IERSE-2022.

En relación con la calidad sonora de la ciudad de Cuenca, los resultados muestran que en el horario de las 7h00 existen grandes variaciones de nivel en algunos puntos, con incrementos hasta de 12,2 dB, con relación a las mediciones del año anterior (2020). Los valores de las emisiones de ruido obtenidos en el horario de las 10h00 y 15h00, considerados como horas “valle”, presentan valores similares a los obtenidos en horas “pico”.

Al comparar los valores levantados con la norma TULSMA, en las zonas con usos del suelo dedicados a equipamientos sociales (EQ1), residencial (R1) y Comercial (C1), la totalidad de las mediciones están sobre los límites permisibles, sólo en la zona industrial (ID3-ID4) presenta un 72% de las mediciones sobre la norma ambiental. Los valores se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores del monitoreo de ruido en dB-2021

Nº	Punto medido (sector)	Uso del suelo actual	Año 2021					
			7h01	10h00	13h00	15h00	18h00	21h01
R_01	El Estadio	C1	65	67,5	69,9	68,9	71,9	64,5
R_02	Gapal	R1	70,2	71,3	72,9	70,3	72,3	67,8
R_03	Aeropuerto Mariscal Lamar	C1	64,4	65,8	66,8	67,6	69,8	58,9
R_04	Tres Puentes	R1	71,4	73,2	72,3	71,5	73,4	73,5
R_05	Remigio Crespo	C1	67,3	70	73,1	74	73,1	70,4
R_06	Hospital Regional	EQ1	65,5	68,3	71,5	66,1	67,8	64,8
R_07	Challuabamba	R1	76,1	76,7	74,9	75,5	75,9	73,8
R_08	Lagunas de oxigenación	R1	71	69,7	71	71,7	71,7	67,7
R_09	Monumento a la Familia	R1	68,6	67,3	68,6	69,7	66	63,4
R_10	Parque industrial	ID3-ID4	74,4	72,7	72,9	72,3	72,6	68,8
R_11	Camal	ID3-ID4	72,9	70,1	73,5	71,5	72,1	71,2
R_12	Camino a Ochoa León	R1	63,3	70,1	61	60,6	66,2	60
R_13	La Libertad	R1	67,5	64,7	68,6	65,2	67,3	61,6
R_14	Los Cerezos Alto	ID3-ID4	67,2	67,3	71,3	69,1	69,9	65,2
R_15	Camino del Tejar	R1	67,7	66,7	69,9	67,4	67,8	65,2
R_16	Vía a Sinincay (Miraflores)	R1	71,4	75,3	68,6	69,4	71,8	79,3
R_17	El Cebollar	R1	79,2	71,1	72,6	71,1	71,3	72,3
R_18	Hospital del IESS	EQ1	74,5	75,3	75,2	77,5	74,2	73,1
R_19	Redondel Paseo de los Cañaris	C1	70,6	72,7	72,3	73	74,7	70,6
R_20	Redondel del Otorongo	EQ1	70,4	73,1	73,1	71,2	73,2	69,7
R_21	Feria Libre	C1	69,9	72,5	69,9	70,3	70,9	65,4
R_22	Isabel La Católica	EQ1	56,8	58,6	62,3	59,1	62,8	55,8
R_23	Av. de las Américas y Don Bosco	C1	71,3	72,7	71,5	70,2	70,4	69,9
R_24	Control Sur	C1	79	75,2	73,9	72,7	75,2	72,1
R_25	Gran Colombia	C1	70,1	69,1	69,6	70,7	69,9	66,7
R_26	Cristo Rey	R1	70,1	72,5	71,6	71,2	74,8	69
R_27	Chola Cuencana	C1	65,4	67,6	67,9	69,8	70,5	69,5
R_28	Vía a Baños	R1	62,5	60,1	63,6	59,6	64,4	57,9
R_29	Bajada del Centenario	C1	69,6	70,4	70,9	71,3	70	70,3
R_30	Totoracocha	R1	59,7	61,2	66,7	63,6	72,2	62,5
R-31	Redondel 24 de Mayo	EQ1s	67,9	68,4	69,6	70,1	68,8	69,3
R-32	Autopista y Felipe Segundo	C1	77,8	77,4	77,1	76,7	78,1	76,3
R-33	Camino al Valle	EQ1	78,1	77,1	78,3	77,7	78,2	74,1

Nº	Punto medido (sector)	Uso del suelo actual	Año 2021					
			7h01	10h00	13h00	15h00	18h00	21h01
R-34	Camino a Nulti	R1	77,9	77,9	78,2	77,5	78,4	76
R-35	Redondel Simóm Bolívar	C1	68,4	71	70,3	73,4	70,4	67,4
R-36	Av. Primero de Mayo	R1	74,4	73,6	74,2	75,6	77,2	71,5
R-37	Puente del Vado	EQ1	68,1	69,5	70,4	70,9	71,6	68,6
R-38	Héroes de Verdeloma	EQ1	73	75,4	74,5	73,9	75,9	72,6
R-39	Parque Calderón	C1	60,9	66,8	65,2	62,9	71,3	66,5

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los datos levantados de manera simultánea con sonómetro y nodos sensores mostraron un alto grado de correlación, como lo indica el “coeficiente de correlación de Pearson  $r > 0,90$ ”. Para corroborar los cálculos realizados, se obtuvo el Coeficiente de Determinación, el cual fue de  $R^2 > 0,90$ ”; lo que indica que las mediciones presentan resultados muy próximos a los registrados por un equipo certificado y calibrado, como es el sonómetro; lo que permite colegir que su funcionamiento es óptimo y que los datos son fiables. Es de resaltar el uso del sonómetro calibrado cuando se realizan mediciones sonoras con diversos instrumentos, ya que permite verificar y validar los datos obtenidos con otros equipos de medición.

Ante lo observado, es necesario sensibilizar y concientizar a la ciudadanía, en mejorar sus prácticas con relación a la generación de ruido, que se realicen mantenimientos periódicos a los vehículos, que los tomadores de decisiones generen políticas públicas que mejoren la movilidad en la ciudad y apoyar sistemas alternativos como el uso de bicicletas y el tranvía.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anexos TULSMA, Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente – Acuerdo Ministerial 097-A (2015).
- Burneo, A. (2007). El ruido, un criminal sigiloso. En *Contaminación Ambiental por ruido y estrés en el Ecuador* (p. 104). Pontificia Universidad Católica del Ecuador y Universidad Central del Ecuador.
- INEC (2010). *Censo de población y vivienda*. Instituto nacional de estadísticas y censos Ecuador.

**Palabras clave:** Ruido, sonómetro, nodos sensores, ambiente, TULSMA.

**Financiación:** La investigación realizada durante el año 2021, fue posible gracias al financiamiento de la Universidad del Azuay, a través del Vicerrectorado de Investigaciones y al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca – Ecuador.

**Agradecimientos:** A la Comisión de Gestión Ambiental del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca – Ecuador, con quienes venimos trabajando en los temas de contaminación sonora desde el año 2009.

## Noise with sound level meter and sensor nodes, case study Cuenca – Ecuador 2021

The sounds have existed in the environment since the origin of the planet, and have come from nature; they are pleasant sounds that do not disturb the normal development of activities. This state has been maintained for several hundred years. It is from the 18th century when annoying sounds began to be considered as environmental pollution.

From the environmental point of view, population growth is accompanied by actions and activities that generate alterations in the territory, among them human settlements without considering the established planning, lack of coverage of basic services, insufficient housing and basic infrastructure, which brings with it environmental impacts that affect the population and existing ecosystems.

It is urban growth, the increase in anthropic activity, vehicular congestion have increased pollution problems, especially those related to air quality, which are caused by fuel consumption; In addition, the vehicular movement, its variation in the speed of circulation, influence the level of noise emitted, so that in the presence of a greater number of vehicles, they circulate at low speeds, which has an impact on a greater number of starts, for this reason. increased noise, which leads to establishing that anthropic activity and urban growth have magnified the sounds and made them harmful to both man and wildlife.

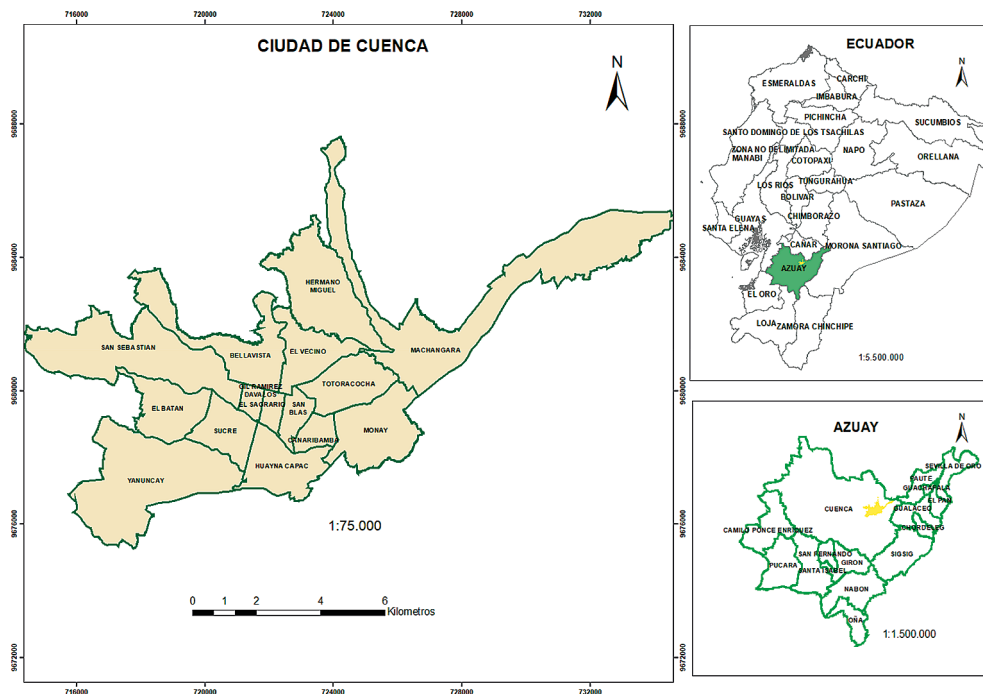
Noise pollution is an environmental factor that directly affects the physiological and psychological health of the population. Constant and prolonged exposure to excessive sound levels can slowly lead, over a few years, to permanent, cumulative and irreversible hearing loss (Burneo, 2007); Therefore, the increase in the acoustic level has an impact on the degree of comfort of citizens and, therefore, on the quality of life.

In this framework, it is necessary to know the sound behavior of cities, delving into the determination of causes and effects, their origin, location and measures to mitigate or reduce noise. Thus, the University of Azuay and the Autonomous Decentralized Municipal Government of Cuenca, since 2009, have carried out periodic monitoring of noise in the city of Cuenca with the use of the sound level meter and since 2019 with sensor nodes.

The analysis was carried out in the city of Cuenca, Cuenca canton, Azuay province – Ecuador. The city is at 2,550 meters above sea level and has 331,888 inhabitants (INEC, 2010), settled in an area of 79.59 km<sup>2</sup> (Figure 1).

The worked project investigates in two moments; The first is to know the situation of noise emissions in the city of Cuenca, through monitoring with a sound level meter calibrated at pre-established points (39), distributed throughout the city; whose values are compared with current Ecuadorian legislation, Annex 5 Technical Standard of the Unified Text of Secondary Legislation of the Ministry of the Environment (TULSMA, 2015), which details the "permissible limits of ambient noise levels for fixed sources, mobile sources and vibrations", which allows knowing the reality of ambient noise in the urban area of Cuenca-Ecuador and is detailed in the following table.

Figure 1. Location map of the city of Cuenca – Ecuador.



Source: Own elaboration based on the cartography of IERSE-UDA-2010.

Table 1. Permissible limits (TULSMA 2015)

Uso del suelo	Denominación	Lkeq (dB)	
		Período diurno 07:01 hasta 21:00 horas	Período nocturno 21:01 hasta 07:00 horas
Residencial	R1	55	45
Equipamiento de servicios sociales	EQ1	55	45
Equipamiento de servicios públicos	EQ2	60	50
Comercial	CM	60	50
Agrícola residencial	AR	65	45
Industrial	ID1 / ID2	65	55
Industrial	ID3 / ID4	70	65
Uso múltiple	Cuando existan usos de suelo múltiple o combinados, se utilizará el Lkeq más bajo de cualquiera de los usos de suelo que componen la combinación		
Protección ecológica	PE	La determinación del Lkeq para estos casos se lo llevará a cabo de acuerdo al procedimiento descrito en el Anexo 4 del Anexo n° 5 del TULSMA	
Recursos naturales	RN		

Fuente: Libro VI, Anexo 5 del TULSMA-2015.

A second moment consisted of carrying out noise monitoring, through the use of sensor nodes, with which noise information is obtained automatically in real time, with which it is possible to know the behavior of noise in the city and its variation in time. The data obtained are also compared with the TULSMA standard.

A period of measurements is also carried out simultaneously with a sound level meter and sensor nodes in those places where the sensor nodes are located, with the purpose of comparing the values obtained by these two types of instruments and establishing their relationships. For the current 2021 period, there were seven (7) noise monitoring sites, with sensor nodes that receive sound emissions automatically; and at the same time, in these sites the data was collected with a sound level meter; this information was systematized and analyzed through statistical tools. Calculations were carried out in order to determine if there is a correlation between the measurements taken by the two instruments, since the results serve to determine the reliability of the data obtained by the sensor nodes, in relation to those of the sound level meter. It must be stated that the sound level meter is a duly calibrated and certified instrument.

For the evaluation of the noise behavior in the city of Cuenca, during the year 2021, the sound level meter Model SOUNDPRO DL-2-1/3 SLM, brand QUEST TECHNOLOGIES, was used, and emissions data were collected, in 39 pre-established points; those that were located and distributed taking into consideration elements such as: sites with the highest circulation of vehicular traffic, analysis of land use according to the current municipal ordinance, and an additional factor, which is the dynamics of the population. The points chosen are those with the most unfavorable conditions in relation to the largest number of vehicles in circulation. The measurement times at each monitoring site were: 7:01 a.m., 10:00 a.m., 1:00 p.m., 3:00 p.m., 6:00 p.m. and 9:01 p.m., times that were selected based on peak hours and off-peak hours, established in a study carried out by the Municipal Traffic Unit (UMT) of the Autonomous Decentralized Municipal Government of Cuenca; the monitoring period was 15 minutes for each schedule, complying with what is indicated in the TULSMA, which requires monitoring with a minimum duration of 10 min.

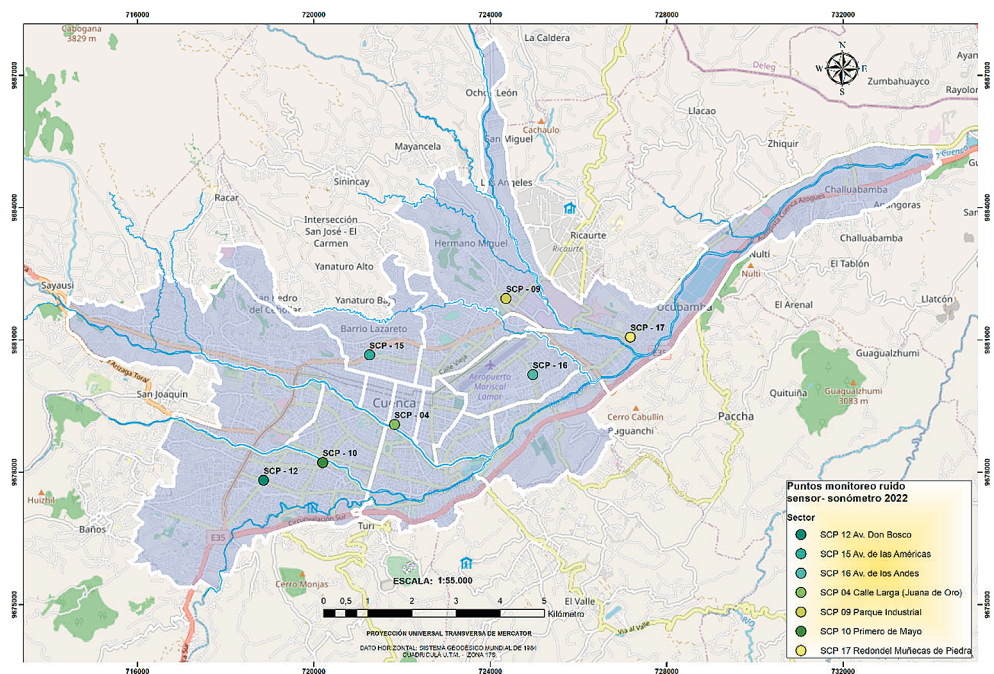
Figure 2. Location map of the 39 noise monitoring sites with a sound level meter





For automatic monitoring, reference sensor nodes “Waspnote plug & sense” Smart Cities PRO (SCP) model were used, these equipments allow the deployment of sensor networks, which work with the concept of the Internet of things. The location of the monitoring sites with sensor nodes requires considering criteria, in addition to the high traffic and population dynamics, the logistical conditions available for the installation and the safety of the equipment. The data was taken at the same six times mentioned above and for a similar period of 15 minutes for each time.

Figure 3. Location map of the 7 monitoring points with sensor nodes



Preparation: Technical team UDA-IERSE-2022

In relation to the sound quality of the city of Cuenca, the results show that at 7:00 a.m. there are large level variations at some points, with increases of up to 12.2 dB, in relation to the measurements of the previous year (2020). The noise emission values obtained between 10:00 a.m. and 3:00 p.m., considered as “valley” hours, present values similar to those obtained at “peak” hours.

When comparing the values collected with the TULSMA standard, in areas with land uses dedicated to social facilities (EQ1), residential (R1) and Commercial (C1), all the measurements are above the permissible limits, only in the area industrial (ID3-ID4) presents 72% of the measurements above the environmental standard. The values are detailed in Table 2.

Table 2. Noise monitoring values in dB-2021

N°	Punto medido (sector)	Uso del suelo actual	Año 2021					
			7h01	10h00	13h00	15h00	18h00	21h01
R_01	El Estadio	C1	65	67,5	69,9	68,9	71,9	64,5
R_02	Gapal	R1	70,2	71,3	72,9	70,3	72,3	67,8
R_03	Aeropuerto Mariscal Lamar	C1	64,4	65,8	66,8	67,6	69,8	58,9
R_04	Tres Puentes	R1	71,4	73,2	72,3	71,5	73,4	73,5
R_05	Remigio Crespo	C1	67,3	70	73,1	74	73,1	70,4
R_06	Hospital Regional	EQ1	65,5	68,3	71,5	66,1	67,8	64,8
R_07	Challuabamba	R1	76,1	76,7	74,9	75,5	75,9	73,8
R_08	Lagunas de oxigenación	R1	71	69,7	71	71,7	71,7	67,7
R_09	Monumento a la Familia	R1	68,6	67,3	68,6	69,7	66	63,4
R_10	Parque industrial	ID3-ID4	74,4	72,7	72,9	72,3	72,6	68,8
R_11	Camal	ID3-ID4	72,9	70,1	73,5	71,5	72,1	71,2
R_12	Camino a Ochoa León	R1	63,3	70,1	61	60,6	66,2	60
R_13	La Libertad	R1	67,5	64,7	68,6	65,2	67,3	61,6
R_14	Los Cerezos Alto	ID3-ID4	67,2	67,3	71,3	69,1	69,9	65,2
R_15	Camino del Tejar	R1	67,7	66,7	69,9	67,4	67,8	65,2
R_16	Vía a Sinincay (Miraflores)	R1	71,4	75,3	68,6	69,4	71,8	79,3
R_17	El Cebollar	R1	79,2	71,1	72,6	71,1	71,3	72,3
R_18	Hospital del IESS	EQ1	74,5	75,3	75,2	77,5	74,2	73,1
R_19	Redondel Paseo de los Cañaris	C1	70,6	72,7	72,3	73	74,7	70,6
R_20	Redondel del Otorongo	EQ1	70,4	73,1	73,1	71,2	73,2	69,7
R_21	Feria Libre	C1	69,9	72,5	69,9	70,3	70,9	65,4
R_22	Isabel La Católica	EQ1	56,8	58,6	62,3	59,1	62,8	55,8
R_23	Av. de las Américas y Don Bosco	C1	71,3	72,7	71,5	70,2	70,4	69,9
R_24	Control Sur	C1	79	75,2	73,9	72,7	75,2	72,1
R_25	Gran Colombia	C1	70,1	69,1	69,6	70,7	69,9	66,7
R_26	Cristo Rey	R1	70,1	72,5	71,6	71,2	74,8	69
R_27	Chola Cuencana	C1	65,4	67,6	67,9	69,8	70,5	69,5
R_28	Vía a Baños	R1	62,5	60,1	63,6	59,6	64,4	57,9
R_29	Bajada del Centenario	C1	69,6	70,4	70,9	71,3	70	70,3
R_30	Totoracocho	R1	59,7	61,2	66,7	63,6	72,2	62,5
R-31	Redondel 24 de Mayo	EQ1s	67,9	68,4	69,6	70,1	68,8	69,3
R-32	Autopista y Felipe Segundo	C1	77,8	77,4	77,1	76,7	78,1	76,3
R-33	Camino al Valle	EQ1	78,1	77,1	78,3	77,7	78,2	74,1
R-34	Camino a Nulti	R1	77,9	77,9	78,2	77,5	78,4	76



N°	Punto medido (sector)	Uso del suelo actual	Año 2021					
			7h01	10h00	13h00	15h00	18h00	21h01
R-35	Redondel Simón Bolívar	C1	68,4	71	70,3	73,4	70,4	67,4
R-36	Av. Primero de Mayo	R1	74,4	73,6	74,2	75,6	77,2	71,5
R-37	Puente del Vado	EQ1	68,1	69,5	70,4	70,9	71,6	68,6
R-38	Héroes de Verdeloma	EQ1	73	75,4	74,5	73,9	75,9	72,6
R-39	Parque Calderón	C1	60,9	66,8	65,2	62,9	71,3	66,5

Source: self-made.

Regarding the data collected simultaneously with a sound level meter and sensor nodes, they showed a high degree of correlation, as indicated by the "Pearson correlation coefficient  $r > 0.90$ ". To corroborate the calculations made, the Determination Coefficient was obtained, which was  $R^2 > 0.90$ "; which indicates that the measurements present results very close to those registered by certified and calibrated equipment, such as the sound level meter; which allows us to infer that its operation is optimal and that the data is reliable. It is worth noting the use of the calibrated sound level meter when sound measurements are made with various instruments, since it allows the verification and validation of the data obtained with other measurement equipment.

In view of what has been observed, it is necessary to sensitize and raise awareness among citizens, in improving their practices in relation to noise generation that periodic maintenance is carried out on vehicles, that decision makers generate public policies that improve mobility in the city and support alternative systems such as the use of bicycles and the trolley car.

**Keywords:** Noise, sound level meter, sensor nodes, environment, TULSMA.

**Funding:** The research carried out during the year 2021 was possible thanks to funding from the University of Azuay, through the Office of the Vice President for Research and the Autonomous Decentralized Municipal Government of Cuenca – Ecuador.

**Acknowledgments:** To the Environmental Management Commission of the Autonomous Decentralized Municipal Government of Cuenca – Ecuador, with whom we have been working on noise pollution issues since 2009.



# GEOESTADÍSTICA Y SIG COMO HERRAMIENTAS DE VALORACIÓN DE INDICADORES URBANOS DE SOSTENIBILIDAD EN CIUDADES MEDIAS

MARTÍNEZ GARCÍA, FRANCISCO MANUEL

Departamento de Arte y Ciencias del Territorio. Facultad de Filosofía y Letras.  
Campus Universitario s/n, 10003, Cáceres (España), [fmartinedu@alumnos.unex.es](mailto:fmartinedu@alumnos.unex.es)

JIMÉNEZ-ESPADA, MONTAÑA

Departamento de Construcción. Instituto de Investigación para el Desarrollo Territorial Sostenible (INTERRA). Escuela Politécnica. Universidad de Extremadura. Avda de la Universidad s/n, 10003 Cáceres (España), [mjespada@unex.es](mailto:mjespada@unex.es)

GONZÁLEZ-ESCOBAR, RAFAEL

Departamento de Construcción. Instituto de Investigación para el Desarrollo Territorial Sostenible (INTERRA). Escuela Politécnica. Universidad de Extremadura. Avda de la Universidad s/n, 10003 Cáceres (España), [rgonzalegb@alumnos.unex.es](mailto:rgonzalegb@alumnos.unex.es)

**E**n la actualidad, una cifra muy elevada de la población de la Unión Europea (UE) reside en áreas urbanas, hecho que genera que las ciudades medias europeas se enfrenten a una compleja serie de impactos y tensiones que demandan el uso de enfoques más sofisticados e integrados en la planificación y la gestión. Este crecimiento urbano implica riesgos importantes e inmensos retos sociopolíticos, pero también ofrece un potencial significativo para el diseño de soluciones innovadoras a largo plazo. En esta coyuntura, debería tenderse a fomentar el desarrollo de áreas urbanas sostenibles que satisfagan las necesidades actuales sin poner en riesgo la capacidad de progreso de las generaciones futuras. En comparación con otros modelos urbanos, la ciudad europea presenta ventajas previas para la puesta en práctica del concepto de desarrollo sostenible basadas en la compacidad, la estructura funcional y el espacio público. Así, la compacidad atiende a la realidad física del territorio (la densidad edificatoria, la distribución de usos espaciales, el porcentaje de espacio verde o de viario), determinando la proximidad entre los usos y funciones urbanas, analizando las formas de movilidad, la accesibilidad a los servicios públicos, el espacio público y el modelo de ordenación territorial. En cuanto a la estructura funcional urbana, constituye el grado o intensidad de relaciones que se producen entre diferentes vecindarios dentro de la ciudad con variedad de actividades e interacciones. Por añadidura, el espacio público representa el elemento estructural de un modelo de ciudad más sostenible, convirtiéndose en el espacio de convivencia ciudadana. Conjuntamente con la red de equipamientos, espacios verdes y de estancia establece los

ejes principales de la vida social y de relación. En definitiva, estos términos definen un modelo urbano más sostenible y cohesionado socialmente, en el que los recursos y servicios de la ciudad aporten una mayor eficiencia y habitabilidad a la ciudad.

El objetivo principal que persigue esta investigación se centra en establecer un análisis de la relación formal existente entre la sostenibilidad urbana y la morfología espacial en una ciudad patrimonio de la humanidad española, como es el caso de la ciudad de Cáceres, teniendo en cuenta las condiciones urbanísticas, la configuración geométrica y la distribución de la población en el territorio. La metodología empleada se basa en el desarrollo de un análisis geoestadístico de los indicadores y estándares de sostenibilidad urbana establecidos en el artículo 14 del Reglamento de Planeamiento de la Ley 11/2018 de ordenación territorial y urbanística sostenible de Extremadura (LOTUS). Inicialmente, ha sido necesario realizar una preselección de aquellos indicadores que caracterizan en suma profundidad el desarrollo urbano y la sostenibilidad del área objeto de estudio, con el propósito de analizar la interrelación entre la sostenibilidad, la accesibilidad y el contexto urbano. Amparado en los criterios de dicha ley se han calculado un total de 9 indicadores, a saber: densidad de población urbana, densidad de viviendas, zonas verdes, dotaciones públicas, compacidad edificatoria, esponjamiento del suelo urbano, aparcamientos públicos, contenedores orgánicos y contenedores de reciclaje. Para la evaluación de los indicadores seleccionados y con objeto de su óptima representación espacial se han establecido como elementos de delimitación territorial en este estudio los 75 barrios que componen el núcleo urbano de la ciudad de Cáceres. Posteriormente, con el fin de comparar e interrelacionar los distintos parámetros, se ha utilizado el análisis de agrupamiento (*Grouping Analysis*), facilitado por el software ArcGIS, siguiendo los parámetros establecidos del algoritmo de K-means. Este agrupamiento se ha llevado a cabo sin asignación espacial, es decir, sin restricciones espaciales con el objeto de asegurar que los datos se agrupan según las variables y sin la influencia de datos vecinos.

De este modo, tras la realización del análisis de grupos de las variables establecidas, se han determinado un total de 5 grupos, en los que estas variables han encontrado una relación particular entre ellas y han podido establecer un modelo que han agrupado aquellos barrios que poseen similares características. Así, los 5 grupos resultantes se han distribuido espacialmente de la siguiente manera: en el Grupo 1 se han combinado los barrios periféricos de la ciudad de Cáceres que se encuentran en torno a zonas industriales o de otros aprovechamientos que no son estrictamente residenciales; el Grupo 2 está compuesto por los barrios exteriores de la ciudad donde se están produciendo los procesos de desarrollo y crecimiento urbano; el Grupo 3 se localiza en los barrios que componen la ciudad histórica; el Grupo 4 combina las zonas residenciales en el anillo exterior al centro de la ciudad y; por último, el Grupo 5 aglutina los barrios situados en el centro de la ciudad (donde existe un mayor dinamismo por la concentración de población y servicios). Por tanto, considerando el objetivo de la investigación y a tenor de las variables empleadas, cada uno de los grupos analizados representa la estimación relativa a la sostenibilidad urbana en los diferentes barrios que componen la ciudad de Cáceres. Esta sostenibilidad urbana se determina bajo los criterios establecidos en la LOTUS, cuyo planteamiento promueve la máxima proximidad y accesibilidad posible a los servicios públicos, potenciando el diseño de las ciudades como un lugar más habitable. En la Tabla 1, se observan los resultados medios obtenidos para cada grupo:

**Tabla 1.** Resultados extraídos del análisis de grupos.

<i>Variables</i>	<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Grupo 3</i>	<i>Grupo 4</i>	<i>Grupo 5</i>
Densidad de población urbana	0,27	38,52	83,77	87,87	218,89
Densidad de viviendas	0,19	18,41	59,93	47,61	145,36
Compacidad Edificatoria	10,53	12,79	54,93	20,90	46,23
Esponjamiento de suelo urbano	24,97	36,52	3,98	13,00	1,96
Zonas verdes (Ha) por habitante	788,21	10,74	0,00	57,85	0,76
Dotaciones públicas	903,05	45,36	15,38	37,97	7,06
Aparcamientos públicos	262,61	1,44	0,21	0,96	0,37
Contenedores orgánicos	93,39	92,66	93,32	90,87	89,70
Contenedores de reciclaje	91,27	87,91	87,82	92,54	93,16

Teniendo en cuenta los resultados alcanzados, se puede apreciar la existencia de grandes diferencias entre los barrios del interior de la ciudad y aquellos que se localizan en la periferia, ya que se observa como el Grupo 5 muestra valores de sostenibilidad urbana elevados, destacando una alta densidad de población urbana, de viviendas y de compacidad edificatoria, dando lugar a que estas variables se encuentren por encima de los estándares mínimos establecidos, localizándose los barrios que componen este grupo en torno a las principales calles y avenidas de la ciudad de Cáceres. Por otro lado, las zonas periféricas muestran valores muy por debajo de los estándares adecuados de sostenibilidad urbana en indicadores como la densidad de población urbana, densidad de viviendas y compacidad edificatoria (como por ejemplo sucede en el Grupo 1). Al mismo tiempo, al ser zonas con una escasa población, el grupo 1 muestra valores muy altos en las variables relativas a las zonas verdes, dotaciones y aparcamientos públicos, debido a que se trata de barrios donde se localizan el campus universitario, complejos deportivos y complejos sanitarios. Por lo tanto, se observa que en los barrios interiores de Cáceres presentan un modelo compacto de ciudad, resultando en estas zonas la densidad de población urbana y de viviendas más alta en paralelo con una alta compacidad edificatoria, al mismo tiempo que en los márgenes del núcleo urbano de Cáceres se desarrolla un sistema diferente al mencionado con anterioridad, prevaleciendo un modelo urbano basado en el consumo de suelo, resultando insostenible para el entorno urbano ya que se reducen las interrelaciones sociales de los habitantes de la ciudad a la vez que dificulta la disponibilidad de los servicios ofrecidos por la ciudad.

La implementación de indicadores de sostenibilidad urbana como herramienta de planificación territorial vinculada a herramientas SIG facilita la aplicación de medidas que impulsen la conversión de la ciudad en un espacio más habitable, en el que se consiga la máxima eficiencia del sistema urbano, incidiendo especialmente en aquellos barrios que obtengan resultados inferiores a los parámetros de referencia establecidos en la ley. Por ende, la investigación en sostenibilidad urbana constituye un elemento esencial para la mejora de la calidad de vida en las ciudades y se ha convertido en un proveedor indispensable de conocimiento con vistas a ofrecer soluciones a los problemas de desarrollo urbano. Los autores consideran el uso de herramientas de geo información una componente clave en los procesos de planificación y gestión municipal

en ciudades históricas de tamaño medio, hecho que pudiera derivar en la consecución de una mayor equidad social y redundar en la mejora de la calidad de vida urbana.

Esta investigación permite aportar nuevos hallazgos en el caso de ciudades medias históricas del sur de Europa y transforma datos en abierto pertenecientes a diferentes administraciones públicas en parámetros de valiosa utilidad para su aplicación práctica, lo que permite una mejora sustancial en la toma de decisiones y su aplicabilidad inmediata con palpable repercusión a nivel ciudadano.

*Palabras clave:* Urbanismo, SIG, geoestadística, indicadores de sostenibilidad, ciudades medias.

## Geostatistics and GIS as assessment tools for urban sustainability indicators in medium-sized cities

Currently, a very high proportion of the European Union's (EU) population resides in urban areas, which means that Europe's medium-sized cities face a complex set of impacts and tensions that demand more sophisticated and integrated approaches to planning and management. Such urban growth entails major risks and immense socio-political challenges, but also offers significant potential for the design of innovative long-term solutions. In this context, the trend should be to encourage the development of sustainable urban areas that fulfil today's needs without compromising the development capacity of future generations. Compared to other urban models, the European city has pre-existing advantages for the implementation of the concept of sustainable development based on compactness, functional structure and public space. Thus, compactness takes into account the physical reality of the territory (building density, distribution of spatial uses, percentage of green space or roads), determining the proximity between urban uses and functions, analysing forms of mobility, accessibility to public services, public space and the spatial planning model. In terms of urban functional structure, it constitutes the degree or intensity of relationships that occur between different neighbourhoods within the city with a variety of activities and interactions. In addition, public space represents the structural element of a more sustainable city model, becoming the space for citizen coexistence. Together with the network of facilities, green spaces and recreational areas, it establishes the main axes of social life and relationships. To summarise, these terms define a more sustainable and socially cohesive urban model, in which the city's resources and services provide the city with greater efficiency and habitability.

The main objective of this research focuses on establishing an analysis of the formal relationship between urban sustainability and spatial morphology in a Spanish World Heritage city, such as the city of Cáceres, taking into account the urban conditions, the geometric configuration and the distribution of the population in the territory. The methodology used is based on the development of a geostatistical analysis of the indicators and standards of urban sustainability established in Article 14 of the Planning Regulations of Law 11/2018 on sustainable land and urban planning in Extremadura (LOTUS). Firstly, it has been necessary to make a pre-selection of those indicators

that characterise in depth the urban development and sustainability of the area under study, in order to analyse the interrelation between sustainability, accessibility and the urban context. Based on the criteria of this law, a total of 9 indicators have been calculated, namely: urban population density, housing density, green areas, public facilities, compactness of buildings, urban land sponging, public car parks, organic bins and recycling bins. For the evaluation of the selected indicators and with the aim of their optimal spatial representation, the 75 neighbourhoods that make up the urban core of the city of Cáceres have been established as territorial delimitation elements in this study. Afterwards, in order to compare and interrelate the different parameters, Grouping Analysis was used, provided by the ArcGIS software, following the established parameters of the K-means algorithm. This grouping has been carried out without spatial assignment, i.e. without spatial restrictions in order to ensure that the data are grouped according to the variables and without the influence of neighbouring data.

Therefore, after carrying out a cluster analysis of the established variables, a total of 5 clusters have been determined, in which these variables have found a particular relationship between them and have been able to establish a model that has grouped together those neighbourhoods that have similar characteristics. Thus, the 5 resulting groups have been spatially distributed as follows: Group 1 combines the peripheral neighbourhoods of the city of Cáceres which are located around industrial areas or other uses which are not strictly residential; Group 2 is made up of the outer neighbourhoods of the city where the processes of urban development and growth are taking place; Group 3 is located in the neighbourhoods that compose the historic city; Group 4 combines the residential areas in the outer ring of the city centre; and finally, Group 5 brings together the neighbourhoods located in the city centre (where there is a greater dynamism due to the concentration of population and services). Consequently, considering the objective of the research and according to the variables used, each of the groups analysed represents the estimate of urban sustainability in the different neighbourhoods that constitute the city of Cáceres. This urban sustainability is determined under the criteria established in the LOTUS, whose approach promotes the maximum possible proximity and accessibility to public services, promoting the design of cities as a more habitable place. Table 1 shows the average results obtained for each group:

**Table 1.** Results extracted from the cluster analysis.

<i>Variables</i>	<i>Group 1</i>	<i>Group 2</i>	<i>Group 3</i>	<i>Group 4</i>	<i>Group 5</i>
Urban population density	0.27	38.52	83.77	87.87	218.89
Housing density	0.19	18.41	59.93	47.61	145.36
Compactness of buildings	10.53	12.79	54.93	20.90	46.23
Urban land sponging	24.97	36.52	3.98	13.00	1.96
Green areas	788.21	10.74	0.00	57.85	0.76
Public facilities	903.05	45.36	15.38	37.97	7.06
Public car parks	262.61	1.44	0.21	0.96	0.37
Organic bins	93.39	92.66	93.32	90.87	89.70
Recycling bins	91.27	87.91	87.82	92.54	93.16

Taking into account the results achieved, it can be appreciated the existence of great differences between the neighbourhoods inside the city and those located in the periphery, as it can be seen how Group 5 shows high values of urban sustainability, highlighting a high density of urban population, housing and building compactness, resulting in these variables being above the minimum standards established, being located around the main streets and avenues of the city of Cáceres. On the other hand, the peripheral areas show values well below the appropriate standards of urban sustainability in indicators such as urban population density, housing density and compactness of buildings (as is the case, for example, in Group 1). At the same time, being sparsely populated areas, Group 1 shows very high values in the variables related to green areas, public facilities and car parks, due to the fact that these are neighbourhoods where the university campus, sports complexes and health complexes are located. Therefore, it is observed that the inner districts of Cáceres present a compact model of city, resulting in these areas the highest density of urban population and housing in parallel with a high building compactness, while at the same time in the margins of the urban core of Cáceres a different system to the one mentioned above is developed, This is unsustainable for the urban environment as it reduces the social interrelationships of the city's inhabitants and at the same time hinders the availability of the services offered in the city.

The implementation of urban sustainability indicators as a territorial planning instrument linked to GIS tools supports the application of measures that promote the transformation of the city into a more liveable space, in which the maximum efficiency of the urban system is achieved, especially in those neighbourhoods that obtain results below the benchmarks established by law. Thus, urban sustainability research is an essential element for the improvement of the quality of life in cities and has become an indispensable provider of knowledge with a view to offering solutions to urban development problems. The authors consider the use of geo-information tools as a key component in municipal planning and management processes in medium-sized historic cities, which could lead to greater social equity and improve the quality of urban life.

This research provides new knowledge in the case of historical medium-sized cities in Southern Europe and turns open data belonging to different public administrations into parameters of valuable use for practical application, allowing for a substantial improvement in decision-making and its immediate applicability with noticeable repercussions at the citizen level.

**Keywords:** Urban planning, GIS, geostatistics, sustainability indicators, medium-sized cities.



# LA POLÍTICA AGRARIA COMÚN (PAC) EN EXTREMADURA DURANTE EL PERÍODO 2014-2020. ANÁLISIS SIG A TRAVÉS DE MODELOS DE REGRESIÓN

MARTÍNEZ GARCÍA, FRANCISCO MANUEL

Departamento de Arte y Ciencias del Territorio. Facultad de Filosofía y Letras. Campus Universitario  
s/n 10003, Cáceres (España), [fmartinedu@alumnos.unex.es](mailto:fmartinedu@alumnos.unex.es)

NIETO MASOT, ANA

Departamento de Arte y Ciencias del Territorio. Facultad de Filosofía y Letras. Campus Universitario  
s/n 10003, Cáceres (España), [ananieto@unex.es](mailto:ananieto@unex.es)

CÁRDENAS ALONSO, GEMA

Departamento de Arte y Ciencias del Territorio. Facultad de Filosofía y Letras. Campus Universitario  
s/n 10003, Cáceres (España), [gemaardenas@unex.es](mailto:gemaardenas@unex.es)

PÉREZ PINTOR, JOSÉ MANUEL

Departamento de Arte y Ciencias del Territorio. Facultad de Filosofía y Letras. Campus Universitario  
s/n 10003, Cáceres (España), [jmperpin@unex.es](mailto:jmperpin@unex.es)

La Política Agraria Común (PAC) es una política europea creada a principios de la década de los sesenta del siglo XX que surge para abordar los problemas alimentarios y económicos que afectaban a la sociedad europea y el sector agrario en particular (Tracy, 1993). Con la incorporación de España a la Comunidad Económica Europea (CEE) en 1986, comenzó un proceso de transformación para el sector agrario nacional y, más concretamente, para el de Extremadura (área de estudio), provocando una transformación de sus estructuras agrarias al beneficiarse de las ayudas de la PAC (Villaverde Castro, 1998). Dicho proceso transformador ha permitido al sector agrario extremeño aumentar su competitividad en el mercado internacional y emprender un proceso de modernización (Compés & García Álvarez-Coque, 2009; Masot & Gascón, 2008). Las diferentes reformas llevadas a cabo en dicha política, han orientado la PAC a una reducción de las ayudas directas a la producción de los agricultores (por su excesivo coste entre otras razones), en favor de las ayudas asociadas a la renta, así como aquellas destinadas a las mejoras medioambientales y la introducción de otras actividades económicas complementarias a la agraria, como es el turismo, para reforzar el desarrollo de las zonas rurales de la Unión Europea (Rocamora Montriél, 2015; Von Meyer, 1997). En los últimos años, el sector agrario extremeño ha recibido

las ayudas de manera muy desigual, con una concentración más significativa en las zonas agrarias donde se ha establecido como base la producción intensiva (Gonzalo Langa, 2016) y donde existe mayor volumen poblacional.

De esta manera, a tenor de las afirmaciones anteriores, se plantea el interés y utilidad del estudio de las ayudas de la PAC a través del uso de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG), al facilitar el análisis de la localización espacial de la distribución de los importes asociados a estas ayudas y, como objetivo principal de esta investigación, analizar las relaciones espaciales entre estas ayudas y otras variables de contexto demográfico, económico y social. Para alcanzar el objetivo propuesto se ha llevado a cabo el cálculo de un modelo de regresión espacial, entre la variable de las ayudas de la PAC (variable dependiente) con las variables de contexto demográfico y socioeconómico: el porcentaje de Superficie Agrícola Utilizada (SAU) respecto al total de la superficie del municipio, el crecimiento poblacional del período 2014-2020, la estandarización del tamaño de los municipios en tres grupos según los criterios establecidos por el Instituto Nacional de Estadística (INE) (menores de 2.000 habitantes, entre 2.000 y 10.000 habitantes y más de 10.000 habitantes), los contratos en el sector agrario en este período y el Producto Interior Bruto (PIB).

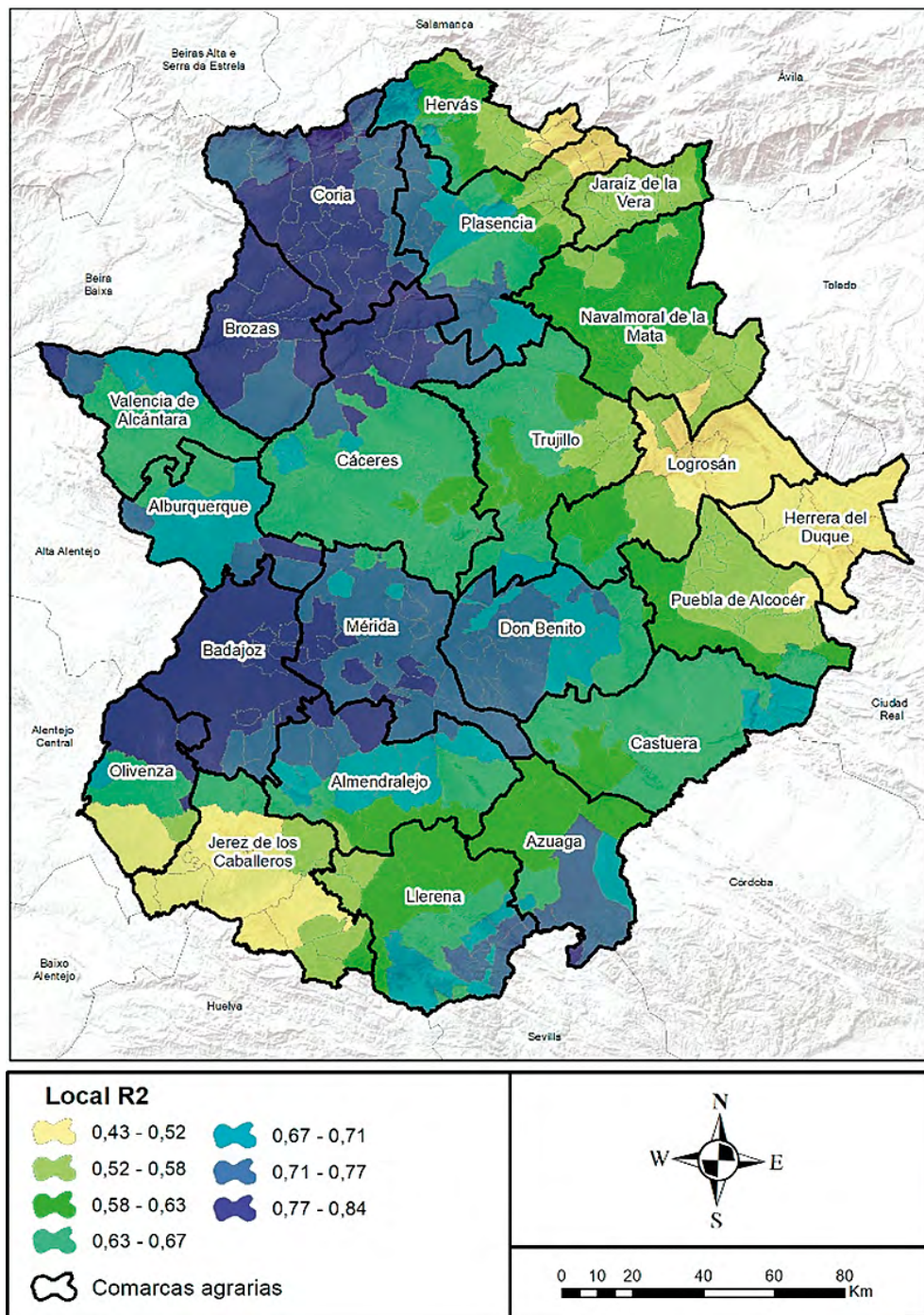
En cuanto a los materiales y métodos, en primer lugar, se procedió a la elaboración de una base de datos alfanumérica con las variables detalladas en el párrafo anterior a nivel municipal y se introdujo en un Sistema de Información Geográfica (SIG) al unirse la base cartográfica municipal de Extremadura. Por lo tanto, se elaboró una base de datos alfanumérica y cartográfica para poder analizar cuantitativamente las ayudas de la PAC durante el período 2014-2020 a nivel municipal. Dichas ayudas se obtuvieron de dos fuentes de datos, por un lado, los datos relativos a los años 2014, 2015 y 2016 fueron proporcionados por la Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Población y Territorio de la Junta de Extremadura y, por otro lado, se obtuvieron del portal de datos abiertos del FEGA los años 2017, 2018, 2019 y 2020.

En segundo lugar, se aplicó la Regresión Geográficamente Ponderada (GWR), a través de la cual se puede conocer y determinar la relación de las cuantías recibidas de la PAC con la situación socioeconómica de cada uno de los municipios extremeños. Esta técnica geoestadística proporciona un modelo local de la variable y del proceso que hace una previsión al ajustar una ecuación de regresión a cada entidad del conjunto de datos (Sánchez-Martín *et al.*, 2020). De esta manera, se conforman las ecuaciones individuales a través de la incorporación de una variable dependiente y de varias explicativas de las entidades que se localizan en cada entidad de destino, con la finalidad de obtener las variaciones geográficas (Martínez Bascañán & Rojas Quezada, 2015) con la finalidad de identificar desequilibrios socio-territoriales. Se propone el uso de la regresión geográficamente ponderada (GWR). El empleo de esta tipología de regresión permite dar un mayor peso en el análisis de la vecindad de las entidades, por lo que, debido a esto, se utilizó la función Kernel adaptativa, permitiendo, así, asignar medidas de variaciones de densidad más elevadas para aquellas zonas donde los valores del porcentaje SAU respecto al total de la superficie del municipio, el crecimiento poblacional, la estandarización del tamaño de los municipios, los contratos en el sector agrario y el PIB se encuentren más concentrados, y

valores más reducidos donde exista una mayor dispersión, adaptándose mejor a una distribución irregular de las observaciones (Martínez Bascuñán & Rojas Quezada, 2015) con la finalidad de identificar desequilibrios socio-territoriales. Se propone el uso de la regresión geográficamente ponderada (GWR). Teniendo en cuenta esto, para el empleo de la GWR se estableció el total de importe de ayudas de la PAC del período 2014-2020 de cada municipio como variable dependiente para poder conocer así las relaciones del resto de las variables analizadas con esta. Para valorar los resultados obtenidos, tras la realización de la GWR, se realizó el análisis I de Moran, el cual permite conocer la autocorrelación espacial basada en las ubicaciones y los valores de las entidades simultáneamente, evaluando si existen en estos un patrón agrupado, disperso o aleatorio. Este análisis se realizó con los valores residuales obtenidos de la GWR, dando como resultado que las variables establecidas tienen un carácter aleatorio que prueba que no existe una interrelación directa entre estas.

Tras la realización de la GWR, los valores obtenidos para el  $R^2$  múltiple y para el  $R^2$  son de 0,82 y 0,77, respectivamente, lo cual significa que la variabilidad de las variables seleccionadas se explican con una precisión superior al 75 %. La proximidad de los valores a 1 refleja la idoneidad de las variables para el estudio y la elevada proporción de la varianza de la variable dependiente (importes totales de las ayudas de la PAC) explicada por el modelo de regresión. La distribución espacial de los ajustes locales producidos con la GWR ( $R^2$  locales) nos permite conocer la variación espacial del poder explicativo del modelo. Así, la distribución del  $R^2$  local a nivel municipal (Figura 1) varía entre 0,43 y 0,84, alcanzando los valores más elevados en los municipios situados en torno a las Vegas del Guadiana, en la zona central de la región, y en el Valle del Alagón al noroeste, donde se incrementan por encima del 0,77.

Así, los municipios con una mayor interrelación de la variable dependiente con las variables explicativas, y que tienen valores más cercanos a 1 (rango de 0,77 a 0,84) son, en gran parte, los municipios situados en las zonas de las Vegas Bajas del Guadiana, comprendiendo un elevado número de municipios de las comarcas agrarias de Olivenza, Badajoz, Mérida y Almendralejo, así como los municipios situados en el Valle del Alagón en el noroeste de la región, concretamente aquellos ubicados en las comarcas de Coria, Cáceres y Brozas. Por tanto, se detecta la concentración de estas ayudas (municipios que tienen valores superiores a 0,77) en territorios que muestran características similares en las variables agrarias, con una tasa de paro por encima del 14 %, con más de un 50 % de contratos del sector agrario y más de un 60 % de SAU respecto al total municipal. Esto provoca que la concentración de estos valores se localice en comarcas agrarias en las cuales destacan los cultivos intensivos de regadío, como es el caso de las vegas bajas del Guadiana y el valle del Alagón. Igualmente, se localizan municipios en Tierra de Barros, donde el sector agrario tiene un importante papel sobre su desarrollo socioeconómico, debido a la alta productividad de explotaciones de olivar y viñedo de secano. Asimismo, también se muestran similitudes sociodemográficas, ya que en ellas se sitúan los principales núcleos urbanos de la región y las mayores rentas (Badajoz, Mérida, Don Benito-Villanueva de la Serena, Almendralejo).

Figura 1. Resultados  $R^2$  por municipios

Fuente: Elaboración propia.



Respecto a los municipios que tienen los valores más bajos del  $R^2$  (entre 0,43 y 0,52), estos se localizan en las comarcas del NE de la provincia de Cáceres (Hervás, Jaraíz de la Vera y Navalmoral de la Marta), y en el E y SO de la provincia de Badajoz (gran parte de los municipios de las comarcas de Logrosán y Herrera del Duque, Jerez de los Caballeros y los municipios meridionales de la comarca agraria de Olivenza). Entre los municipios que componen este rango destacan, por un lado, las pequeñas explotaciones influenciadas por la orografía en los municipios de las comarcas agrarias del norte de Extremadura (Plasencia, Jaraíz de la Vera y Hervás) y, por otro lado, los municipios ubicados en comarcas (Herrera del Duque, Jerez de los Caballeros y Olivenza) donde las explotaciones son de mayor tamaño, ya que estos presentan una ganadería extensiva y los cultivos de secano. A nivel demográfico, estos municipios han sufrido un importante descenso de la población y, en su mayoría cuentan con un tamaño poblacional que no supera los 2.000 habitantes (esto sucede en 20 de los 29 municipios que componen este rango).

De este modo, esta investigación ha permitido advertir la relación entre las ayudas de la PAC y variables demográficas, socioeconómicas, y representativas del sector agrario de los municipios de Extremadura. Determinándose una concentración de estas ayudas en las áreas más dinámicas, con municipios con mayor volumen de población y una agricultura más productiva relacionada con las explotaciones de regadío fundamentalmente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Compés, R. & García Álvarez-Coque, J. M. (2009). La reforma de la PAC y la agricultura española: alternativas y oportunidades para España. In *Observatorio de política exterior española* (vol. 40).
- Gonzalo Langa, J. (2016). *Aplicación de la reforma de la PAC (2015-2020) en Extremadura* (pp. 93-118).
- Martínez Bascuñán, M. & Rojas Quezada, C. (2015). Regresión Geográficamente ponderada para la modelación de la accesibilidad a la red hospitalaria en el área metropolitana de Concepción. *Revista Geográfica Valparaíso*, 52, 28-39.
- Masot, A. N. & Gascón, J. L. G. (2008). Las políticas rurales europeas y su impacto en Extremadura. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 48, 225-246. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3093724&orden=228660&info=link>
- Rocamora Montriél, B. R. (2015). *New agri-environmental policies for the sustainability of mountainous olive farming. Evidences from Andalusia, Spain*. [http://oa.upm.es/37191/1/BEATRIZ\\_ROCAMORA\\_MONTIEL.pdf](http://oa.upm.es/37191/1/BEATRIZ_ROCAMORA_MONTIEL.pdf)
- Sánchez-Martín, J. M., Gurría-Gascón, J. L. & Rengifo-Gallego, J. I. (2020). The distribution of rural accommodation in extremadura, Spain-between the randomness and the suitability achieved by means of regression models (OLS vs. GWR). *Sustainability* (Switzerland), 12(11). <https://doi.org/10.3390/su12114737>
- Tracy, M. (1993). El espíritu de Stresa. In *Revista de Estudios Agro-Sociales* (Issue 165, pp. 13-37).
- Villaverde Castro, J. (1998). Agenda 2000, Fondos estructurales y disparidades regionales. *Cuadernos de Información Económica*, 132-133, 139-143.
- Von Meyer, H. (1997). Agricultura, medio ambiente y PAC. Problemas y perspectivas. *Economía Agraria*, 181, 194-214.

**Palabras clave:** Política Agraria Común (PAC), Extremadura, Sector agrario, 2014-2020, Regresión Geográficamente Ponderada (GWR).

## The Common Agrarian Policy (PAC) in Extremadura during the period 2014-2020. GIS analysis through regression models

The Common Agricultural Policy (CAP) is a European policy created in the early 1960s to address the food and economic problems affecting European society and the agricultural sector (Tracy, 1993). With the incorporation of Spain into the European Economic Community (EEC) in 1986, a transformation process began for the national agricultural sector and, more specifically, for that of Extremadura (study area), causing a transformation of its agricultural structures as it benefited from CAP aid (Villaverde Castro, 1998). This transforming process has allowed the Extremadura agricultural sector to increase its competitiveness in the international market and to undertake a modernization process (Compés & García Álvarez-Coque, 2009; Masot & Gascón, 2008). The different reforms implemented in this policy have oriented the CAP towards a reduction of direct aid to farmers' production (due to its excessive cost among other reasons), in favor of aid associated with rent, as well as those aimed at environmental improvements and the introduction of other economic activities complementary to agriculture, such as tourism, to reinforce the development of rural areas in the European Union (Rocamora Montriél, 2015; Von Meyer, 1997). In recent years, the agricultural sector in Extremadura has received aid very unevenly, with a more significant concentration in agricultural areas where intensive production has been established as a base (Gonzalo Langa, 2016) and where there is a greater population volume.

In this way, based on the above statements, the interest and usefulness of the study of CAP aids using Geographic Information Technologies (GIT) arises, to facilitate the analysis of the spatial location of the distribution of the amounts associated with these aids and, as the main objective of this research, to analyze the spatial relationships between these aids and other variables of demographic, economic and social context. A spatial regression model has been calculated to achieve the proposed objective, between the CAP aid variable (dependent variable) with the demographic and socioeconomic context variables: the percentage of Utilized Agricultural Area (UAA) with respect to the total area of the municipality, the population growth of the 2014-2020 period, the standardization of the size of the municipalities into three groups according to the criteria established by the National Institute of Statistics (INE) (less than 2.000 inhabitants, between 2,000 and 10,000 inhabitants and more than 10,000 inhabitants), contracts in the agricultural sector in this period and Gross Domestic Product (GDP).

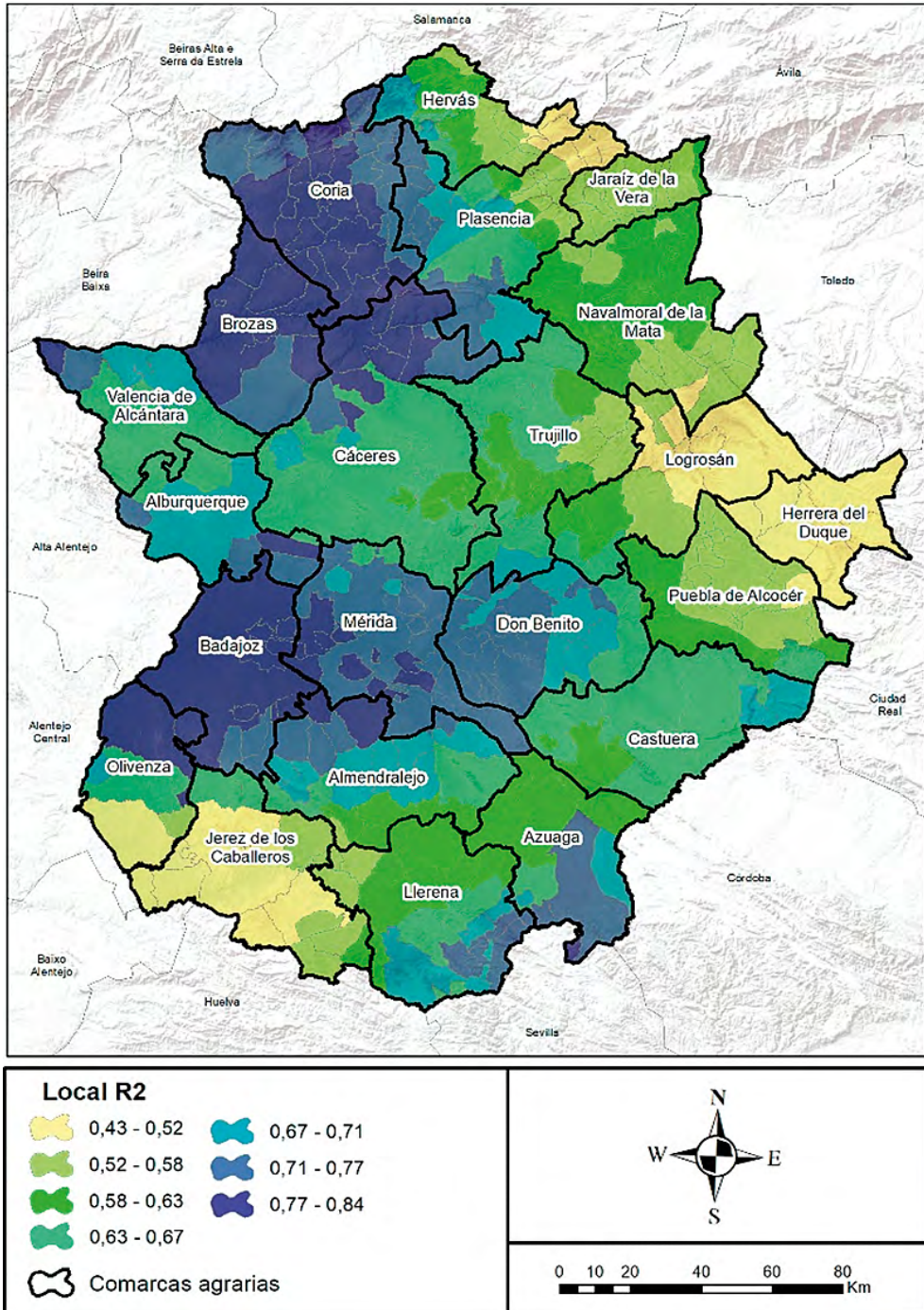
In terms of materials and methods, firstly, an alphanumeric database with the variables detailed in the previous paragraph at the municipal level was prepared and introduced into a Geographic Information System (GIS) by joining the municipal cartographic base of Extremadura. Therefore, an alphanumeric and cartographic database was developed to be able to quantitatively analyze CAP aids during the 2014-2020 period at the municipal level. These aids were obtained from two data sources, on the one hand, the data relating to the years 2014, 2015 and 2016 were provided by the Ministry of Agriculture, Rural Development, Population and Territory of the Regional

Government of Extremadura and, on the other hand, the years 2017, 2018, 2019 and 2020 were obtained from the FEAGA open data portal.

Secondly, Geographically Weighted Regression (GWR) was applied, through which the relationship between the amounts received from the CAP and the socio-economic situation of each of the Extremadura municipalities can be determined. This geostatistical technique provides a local model of the variable and of the process that makes a forecast by adjusting a regression equation to each entity in the data set (Sánchez-Martín *et al.*, 2020). In this way, individual equations are shaped through the incorporation of a dependent variable and several explanatory variables of the entities that are in each target entity, with the aim of obtaining geographic variations (Martínez Bascuñán & Rojas Quezada, 2015). The use of this regression typology allows giving greater weight in the analysis of the neighborhood of the entities, so, due to this, the adaptive Kernel function was used, allowing, thus, to assign higher density variation measures for those areas where the values of the percentage UAA with respect to the total area of the municipality, population growth, standardization of the size of municipalities, contracts in the agricultural sector and GDP are more concentrated, and smaller values where there is greater dispersion, adapting better to an irregular distribution of observations (Martínez Bascuñán & Rojas Quezada, 2015). Taking this into account, for the use of the GWR, the total amount of CAP aid for the 2014-2020 period for each municipality was established as the dependent variable to be able to know the relationships of the rest of the variables analyzed with it. To assess the results obtained, after performing the GWR, Moran's I analysis was performed, which allows knowing the spatial autocorrelation based on the locations and values of the entities simultaneously, assessing whether there is a clustered, dispersed or random pattern in these. This analysis was performed with the residual values obtained from the GWR, giving as a result that the established variables have a random character that proves that there is no direct interrelation between them.

After the GWR, the values obtained for the multiple  $R^2$  and for the  $R^2$  are 0.82 and 0.77, respectively, which means that the variability of the selected variables is explained with an accuracy of more than 75%. The proximity of the values to 1 reflects the suitability of the variables for the study and the high proportion of the variance of the dependent variable (total amounts of CAP subsidies) explained by the regression model. The spatial distribution of the local adjustments produced with the GWR (local  $R^2$ ) allows us to know the spatial variation of the explanatory power of the model. Thus, the distribution of the local  $R^2$  at the municipal level (Figure 1) varies between 0.43 and 0.84, reaching the highest values in the municipalities located around the Vegas del Gadiana, in the central area of the region, and in the Alagón Valley to the northwest, where they increase above 0.77.

Figure 1. R<sup>2</sup> results by municipality.



Source: Own elaboration.



Thus, the municipalities with a greater interrelation of the dependent variable with the explanatory variables, and which have values closer to 1 (range from 0.77 to 0.84) are, to a large extent, the municipalities located in the areas of the Vegas Bajas del Guadiana, including a large number of municipalities in the agricultural counties of Olivenza, Badajoz, Mérida and Almendralejo, as well as the municipalities located in the Alagón Valley in the northwest of the region, specifically those located in the counties of Coria, Cáceres and Brozas. Therefore, the concentration of these aids (municipalities with values above 0.77) is detected in territories that show similar characteristics in the agricultural variables, with an unemployment rate above 14%, with more than 50% of contracts in the agricultural sector and more than 60% of UAA with respect to the total municipalities. This causes the concentration of these values to be in agricultural counties in which intensive irrigated crops predominate, as is the case of the low fertile plains of the Guadiana and the Alagón valley. Likewise, municipalities are in Tierra de Barros, where the agricultural sector plays an important role in its socioeconomic development, due to the high productivity of olive groves and unirrigated vineyards. Likewise, there are also sociodemographic similarities, since the main urban centers of the region and the highest incomes are in them (Badajoz, Mérida, Don Benito-Villanueva de la Serena, Almendralejo).

Municipalities with the lowest  $R^2$  values (between 0.43 and 0.52) are in the NE regions of the province of Cáceres (Hervás, Jaraíz de la Vera and Navalmoral de la Marta), and in the E and SW of the province of Badajoz (most of the municipalities in the regions of Logrosán and Herrera del Duque, Jerez de los Caballeros and the southern municipalities of the agricultural county of Olivenza). Among the municipalities that make up this range, on the one hand, the small farms influenced by the orography in the municipalities of the agricultural counties of northern Extremadura (Plasencia, Jaraíz de la Vera and Hervás) and, on the other hand, the municipalities located in counties (Herrera del Duque, Jerez de los Caballeros and Olivenza) where the farms are larger, since they have extensive livestock farming and dry farming. At the demographic level, these municipalities have suffered a significant decline in population and, for the most part, have a population size that does not exceed 2,000 inhabitants (this is the case in 20 of the 29 municipalities that make up this range).

This research has made it possible to identify the relationship between CAP aid and demographic, socioeconomic and representative variables of the agricultural sector in the municipalities of Extremadura. A concentration of these aids has been determined in the most dynamic areas, with municipalities with a larger population and a more productive agriculture, mainly related to irrigated farms.

**Keywords:** Common Agricultural Policy (CAP), Extremadura, Agricultural sector, 2014-2020, Geographically Weighted Regression (GWR).



# APLICACIÓN DE UN ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA VALIDAR UN MODELO DE SIMULACIÓN DE CRECIMIENTO URBANO A PARTIR DE AUTÓMATAS CELULARES Y BASADO EN PARCELAS (LP-CA)

MOLINERO PAREJO, RAMÓN

Dpto. Geología, Geografía y Medio Ambiente. Universidad de Alcalá, C/ Colegios, 2,  
28801 Alcalá de Henares, [ramon.molinerouah.es](mailto:ramon.molinerouah.es)

GÓMEZ DELGADO, MONTSERRAT

Dpto. Geología, Geografía y Medio Ambiente. Universidad de Alcalá, C/ Colegios, 2,  
28801 Alcalá de Henares, [montserrat.gomez@uah.es](mailto:montserrat.gomez@uah.es)

AGUILERA BENAVENTE, FRANCISCO

Dpto. Geología, Geografía y Medio Ambiente. Universidad de Alcalá, C/ Colegios, 2,  
28801 Alcalá de Henares, [f.aguilera@uah.es](mailto:f.aguilera@uah.es)

**E**n este trabajo se presenta una propuesta de validación a partir del análisis de sensibilidad de un modelo de simulación de escenarios de crecimiento urbano basado en autómatas celulares, ampliamente utilizados ya en este contexto y que en las últimas décadas han experimentado unas importantes mejoras y adaptaciones a la realidad de la planificación urbana, entre ellas la posibilidad de utilizar unidades espaciales de tipo irregular (vectoriales) como la parcela catastral. Además, cada vez es más frecuente encontrar aplicaciones que no se limitan a la simulación de escenarios tendenciales a futuro y que experimentan con la simulación de otros escenarios futuros plausibles. En este contexto, resulta necesario desarrollar y aplicar procesos de validación que den robustez a unos resultados que no pueden ser contrastados con ningún dato real, ni con una situación semejante en el pasado.

Si bien ya hay algunos precedentes en la utilización de índices de sensibilidad de tipo global (basados en la varianza) y de tipo OAT (*One factor At a Time*) para realizar un ejercicio adaptado de validación de dichos resultados a futuro y en formato vectorial, en este trabajo su aplicación presenta dos diferencias y nuevas aportaciones. Partimos de un modelo basado en parcelas (LP-CA model), basado en una estructura de cálculo del potencial de transición tradicional (teniendo en cuenta los factores de vecindad, accesibilidad, adecuación y aleatoriedad) (White *et al.*, 1997), así como de un escenario de tipo disruptivo con un horizonte temporal del año 2050 (ver Molinero-Parejo *et al.* (2023) para mayor detalle).

La primera novedad es que se simulan hasta cinco usos del suelo diferentes (comercial, industrial, mixto, multifamiliar y unifamiliar) y, en segundo lugar, no solo es posible la transformación de suelo vacante en suelo urbano, sino que pueden producirse, además, cambios en los usos preexistentes, como puede ser la conversión de uso industrial a unifamiliar o de uso industrial a suelo vacante (pérdida de uso).

Así, siguiendo la metodología propuesta en Barreira-González *et al.* (2015) adaptada en Urgilez Clavijo *et al.* (2019) al formato irregular de parcela, y partiendo de la ejecución de hasta un total de 15 simulaciones (todas las combinaciones posibles entre todos los factores), se han obtenido los pertinentes índices de sensibilidad de primer orden e índices de sensibilidad total para cada uno de los cinco usos simulados y para la unión de todos ellos (Total Urbano). Además, se han realizado los cálculos para toda el área de estudio (superficie preexistente + cambios) (Tabla 1) y para los cambios exclusivamente (solo nuevas parcelas transformadas en suelo urbano durante el periodo 2018-2050) (Tabla 2).

**Tabla 1.** Efectos principales (individuales) y efectos totales para el total de parcelas.

Modelo	Precisión del productor					Precisión total
	Comercial	Industrial	Mixto	Multifamiliar	Unifamiliar	Total urbano
Estocasticidad	0,12	0,06	0,07	0,08	0,05	0,05
Accesibilidad	0,03	0,09	0,07	0,08	0,10	0,08
Aptitud	0,19	0,10	0,07	0,08	0,09	0,09
Vecindad	0,18	0,25	0,07	0,11	0,13	0,15
Σ Estocasticidad	0,52	0,28	0,49	0,38	0,53	0,41
Σ Accesibilidad	0,44	0,56	0,05	0,38	0,53	0,54
Σ Aptitud	0,53	0,43	0,56	0,40	0,53	0,50
Σ Vecindad	0,55	0,52	0,54	0,59	0,53	0,54

**Tabla 2.** Efectos principales (individuales) y efectos totales para para parcelas que crecieron en el periodo simulado (2018-2050).

Modelo	Precisión del productor					Precisión total
	Comercial	Industrial	Mixto <sup>1</sup>	Comercial	Industrial	Total urbano
Estocasticidad	0,00	0,00	–	0,00	0,02	0,03
Accesibilidad	0,06	0,06	–	0,06	0,00	0,00
Aptitud	0,43	0,04	–	0,43	0,02	0,23
Vecindad	0,31	0,62	–	0,31	0,87	0,42
Σ Estocasticidad	0,09	0,17	–	0,09	0,10	0,13
Σ Accesibilidad	0,20	0,30	–	0,20	0,06	0,01
Σ Aptitud	0,51	0,15	–	0,51	0,07	0,52
Σ Vecindad	0,47	0,81	–	0,47	0,91	0,71

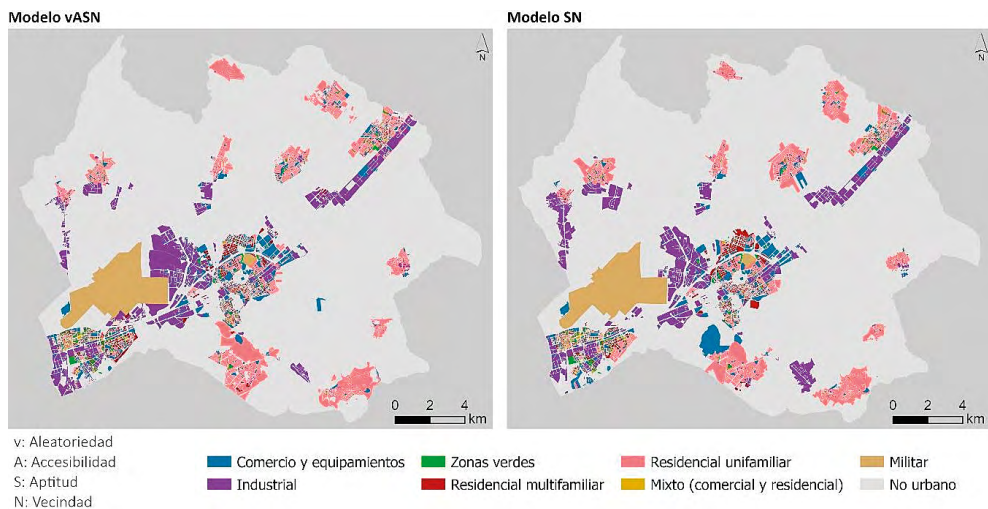
<sup>1</sup> El uso mixto no presenta valores ya que no experimentó crecimiento entre 2018 y 2050.

Aplicando este análisis tan sólo a las zonas que cambiaron de uso durante el periodo simulado (2018-2050), como en los trabajos anteriormente referenciados, se comprueba una incidencia mayor de algunos factores de manera individualizada. Concretamente hasta el 87 % de la variación de los resultados en el caso del uso residencial unifamiliar sería atribuible al factor vecindad, y éste junto con el factor de adecuación serían los responsables de entre el 62 y el 74 % de la variación en el resto de los usos. Las diferencias con los índices de sensibilidad total confirmarían esta ausencia de interacción, no observándose valores superiores a 0,2, excepto en la adecuación y la vecindad para el Total Urbano y la accesibilidad en el uso industrial (siempre inferior a 0,3). Como podemos comprobar en la figura 1, estos resultados no podrían servir para realizar una simplificación del modelo, pues en los resultados con tan solo esos dos parámetros se observan diferencias notables en algunas partes del área de estudio respecto a los resultados simulados con todos los parámetros (especialmente en el caso del uso industrial y unifamiliar).

Dadas las características de este nuevo modelo, resultaría más apropiado realizar este análisis teniendo en cuenta toda el área de estudio, ya que en la simulación todas las parcelas son susceptibles de ser modificadas, pudiendo cambiar aquellas que ya presentan un uso definido a otro uso, incluyendo su conversión a vacante (no urbano), bajo ciertos parámetros y condiciones. En este caso, los resultados de los análisis de sensibilidad arrojan que todos los factores tienen una incidencia mínima de manera individual en la variación de los resultados en todos los usos y en el Total Urbano; tan solo el factor vecindad llega, en el caso de suelo industrial, a acumular el 25 % de la variación, estando todos los demás resultados por debajo del 10 %. Respecto al índice de sensibilidad total, se comprueba que las diferencias respecto a los primeros no son en ningún caso superiores a 0,2, lo que nos indica la importante interacción de todos los factores, siendo todos relevantes en la aplicación del modelo.

Teniendo en cuenta que en la ejecución del modelo un total de 9.893 parcelas ya ocupadas con un uso urbano cambiaron de uso (algo más del 13 % de la superficie del área ya urbanizada), parece razonable atender a los resultados del análisis de sensibilidad resultante y considerar, por una parte, que los cuatro factores están teniendo una incidencia equilibrada en los resultados y, por tanto, todos ellos son relevantes y necesarios. En la figura 1 se muestran los resultados de la simulación utilizando el modelo con todos los factores y el modelo con solo los factores de aptitud y vecindad. Por otro lado, podemos concluir que los resultados del modelo pueden ser validados y considerados suficientemente robustos, pues no se observan grandes variaciones en los resultados.

Figura 1. Mapas de usos del suelo obtenidos de la simulación con los modelos vASN (aleatoriedad, accesibilidad, aptitud y vecindad) y SN (aptitud y vecindad).



## BIBLIOGRAFÍA

- Barreira-González, P., Aguilera-Benavente, F. & Gómez-Delgado, M. (2015). Partial validation of cellular automata based model simulations of urban growth: An approach to assessing factor influence using spatial methods. *Environmental Modelling and Software*, 69, 77-89. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.03.008>
- Molinero-Parejo, R., Aguilera-Benavente, F., Gómez-Delgado, M. & Shurupov, N. (2023). Combining a land parcel cellular automata (LP-CA) model with participatory approaches in the simulation of disruptive future scenarios of urban land use change. *Computers, Environment and Urban Systems*, 99. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2022.101895>
- Urgilez Clavijo, A., Gómez Delgado, M. & Barreira González, P. (2019). Análisis de Sensibilidad aplicado a modelos de crecimiento urbano basados en autómatas celulares de estructura irregular. *Cuadernos Geográficos*, 58(3), 326-348. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i3.7842>
- White, R., Engelen, G. & Uljee, I. (1997). The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land use dynamics. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24, 323-343.

**Palabras clave:** Análisis de sensibilidad, simulación de crecimiento urbano, autómatas celulares irregulares, Corredor del Henares.

**Financiación:** Esta investigación se ha realizado en el contexto del proyecto SIM-4PLAN (Desarrollo Tecnológico de un prototipo de simulación de escenarios futuros de transporte y usos del suelo), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España (PDC2021-121568-C21). El primer autor agradece también la ayuda prestada por el Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad en I+D+i (2018), financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y el Fondo Social Europeo.

## Application of a sensitivity analysis to validate a Land Parcel Cellular Automata (LP-CA) for urban growth simulation

This paper presents a validation proposal for a Cellular Automata (CA) based urban growth simulation model. CA-based models are widely used in urban simulation and have undergone significant improvements and adaptations to the reality of urban planning, including the use of irregular spatial units (vector) such as the cadastral parcel. In addition, it is increasingly common to find applications of these models that go beyond future trends simulation, allowing to simulate more diverse scenarios. In this context, it is necessary to develop and apply validation processes that give robustness to results that cannot be contrasted with any real data, nor with a similar situation in the past.

Variance-based Sensitivity Analysis (SA) and One factor At a Time (OAT) SA are some of the most applied methods for validation exercises on future simulation models in vector format. This work implements the variance-based SA which presents two novel contributions. We conducted the analysis for a Land Parcel Cellular Automata (LP-CA) model used to simulate one disruptive scenario from a set of future visions previously created. The model is based on a traditional structure of transition potential calculation (considering neighborhood, accessibility, suitability, and stochastic factors) (White *et al.*, 1997), with a time horizon for the year 2050 (see Molinero-Parejo *et al.*, 2023 for more detail).

The first novelty is that up to five different land uses are simulated (commercial, industrial, mixed, multi-family residential and single-family residential). Secondly, not only it is possible to transform vacant land into urban land, but it can also produce changes in pre-existing uses, such as the conversion from industrial use to single-family residential use or from industrial use to vacant land (urban land use loss).

Following the methodology proposed in Barreira-González *et al.* (2015) and adapted by Urgilez Clavijo *et al.* (2019) to the irregular land parcels, 15 simulations were run with all the possible factor combinations, thus obtaining main (First-order indices) and total effects (Total indices) for each of the five simulated uses and for the combination of all of them (Total Urban) (Table 1). In addition, we calculate these indices for the entire study area (pre-existing area + changes) and for the changes exclusively (only new developed parcels during the period 2018-2050) (Table 2).

Given the characteristics of this new model, it would be more appropriate to conduct this analysis considering the entire study area, since all the parcels are susceptible to change their land use in the simulation, being able to change those that already have a defined use to another use, including its conversion to vacant (non-urban), under certain parameters and conditions. In this case, the results of first sensitivity indices show that all the factors have a minimum influence in the variation of the results individually, and for all the uses and Total Urban; only the neighborhood factor, in the case of industrial land, accumulates 25% of the variation, while all the other results are below 10%. Regarding the total sensitivity index, no difference greater than 0.2 were found with first sensitivity indices, which indicates the important interaction of all the factors and shows that all of them are relevant in the application of the model.

**Table 1.** Main effects and total effects for the total number of parcels.

Model	Producer accuracy					Overall accuracy
	Comercial	Industrial	Mixed	Multi-family	Single-family	Total urban
Stochasticity	0.12	0.06	0.07	0.08	0.05	0.05
Accessibility	0.03	0.09	0.07	0.08	0.10	0.08
Suitability	0.19	0.10	0.07	0.08	0.09	0.09
Neighbourhood	0.18	0.25	0.07	0.11	0.13	0.15
∑ Stochasticity	0.52	0.28	0.49	0.38	0.53	0.41
∑ Accessibility	0.44	0.56	0.05	0.38	0.53	0.54
∑ Suitability	0.53	0.43	0.56	0.40	0.53	0.50
∑ Neighbourhood	0.55	0.52	0.54	0.59	0.53	0.54

**Table 2.** Main effects and total effects for the growing parcels in the simulated period (2018-2050).

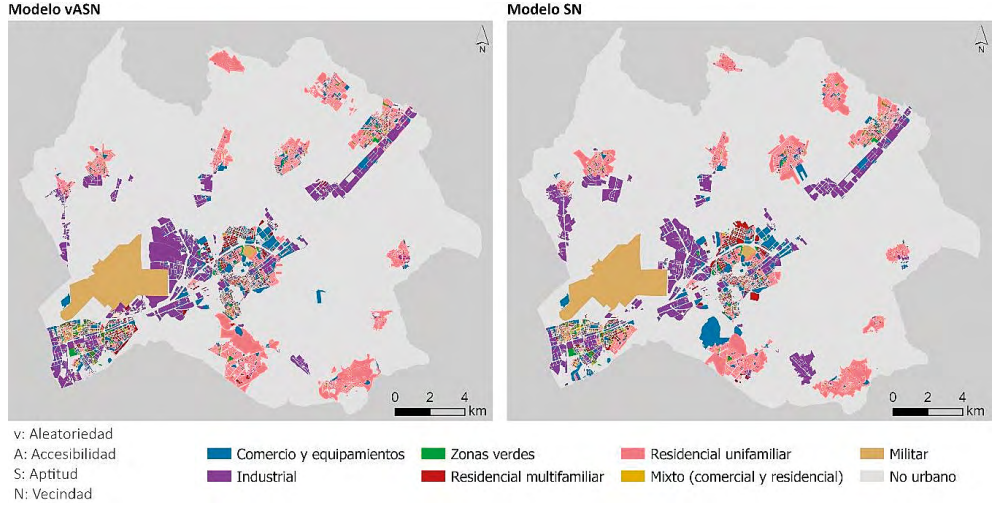
Model	Producer accuracy					Overall accuracy
	Comercial	Industrial	Mixed <sup>1</sup>	Industrial	Comercial	Industrial
Stochasticity	0.00	0.00	–	0.00	0.02	0.03
Accessibility	0.06	0.06	–	0.06	0.00	0.00
Suitability	0.43	0.04	–	0.43	0.02	0.23
Neighbourhood	0.31	0.62	–	0.31	0.87	0.42
∑ Stochasticity	0.09	0.17	–	0.09	0.10	0.13
∑ Accessibility	0.20	0.30	–	0.20	0.06	0.01
∑ Suitability	0.51	0.15	–	0.51	0.07	0.52
∑ Neighbourhood	0.47	0.81	–	0.47	0.91	0.71

<sup>1</sup> Mixed use has no values as it did not grow between 2018 and 2050.

In the execution of the model a total of 9,893 parcels already occupied with an urban use changed their use (more than 13% of the urbanized area), it seems reasonable to consider the results of the resulting SA and consider, on the one hand, that the four factors are having a balanced impact on the results and, therefore, all of them are relevant and necessary. Figure 1 shows the spatial outcome of the simulation using the model with all the factors (vASN) and the model with only the suitability and neighborhood factors (SN). On the other hand, we can conclude that the results of the model can be validated and considered sufficiently robust, since large variations in the results are not observed.



*Figure 1. Land use maps simulated with all factors (vASN) and only with suitability and neighborhood (SN).*



**Keywords:** Sensitivity analysis, urban growth simulation, irregular cellular automata, Corredor del Henares.



# PROPUESTA DE SENDERO INTERPRETATIVO A TRAVÉS DE SIG EN EL AREA NATURAL PROTEGIDA EL DORADILLO, PUERTO MADRYN, CHUBUT, ARGENTINA

NOVARA, MAURO

Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales,  
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Ciudad Universitaria km 4, 9005 Comodoro  
Rivadavia, Chubut, Argentina, [mauronovara@fhcs.unp.edu.ar](mailto:mauronovara@fhcs.unp.edu.ar)

La utilización de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG), especialmente las herramientas avanzadas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son fundamentales en tanto geoherramientas teórico-metodológicas al momento de apoyar el proceso de toma de decisiones para el desarrollo racional del territorio. Este hecho es de suma relevancia en instancias de planificación y gestión de los espacios públicos naturales protegidos. En este sentido, la Geografía, en especial su vertiente Automatizada, ha venido ofreciendo orientaciones a las decisiones tomadas desde la gestión estatal en todas sus escalas de aplicación.

El presente trabajo tiene como objetivo un aporte actualizador al plan de manejo del "Área Natural Protegida El Doradillo", ubicada a 15 km al nornordeste de la ciudad costera de Puerto Madryn (Provincia del Chubut, Argentina).

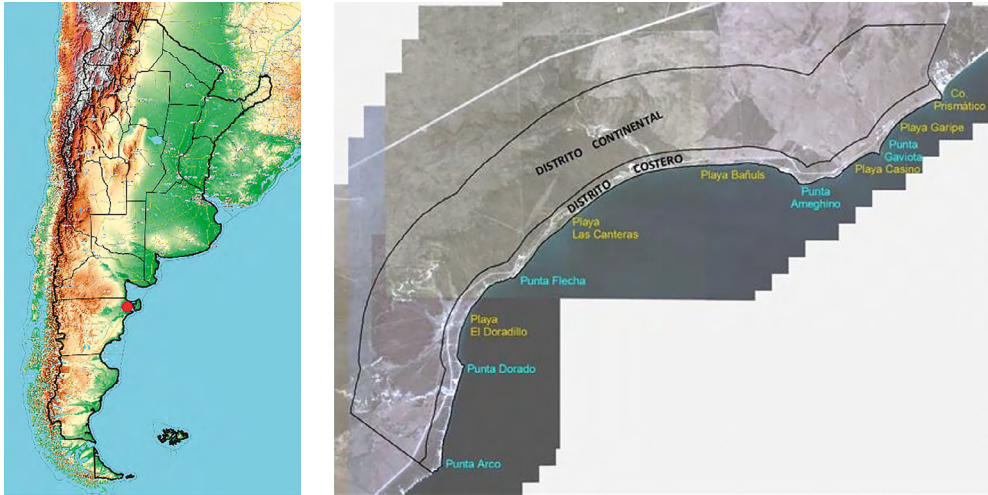
A través de la ordenanza n° 4263, aprobada por el Consejo Deliberante de la ciudad de Puerto Madryn el 29 de noviembre de 2001, se crea el Área Natural Protegida El Doradillo (en adelante, ANPED), de gestión y administración municipal. La misma abarca un área paralela a la costa de 3 km de ancho y unos 25 km de largo, que se extiende desde Punta Arco (extremo sur) hasta Cerro Prismático (extremo norte). Su principal acceso vial, atravesándola de sudoeste a noreste, es la Ruta Provincial n° 42. Su superficie es de 7.404 Hectáreas.

Desde el momento mismo de su creación, el ANPED promueve por la conservación de dos ambientes –distritos– naturales interconectados, pero diferenciados; el Distrito Costero y el Distrito Continental (Figura 1). Esta diferenciación entre los distritos se puede realizar en función de los procesos geomorfológicos actuantes y geoformas resultantes. El Distrito Costero corresponde principalmente a una costa dominada por la erosión, caracterizada por un marcado desarrollo de acantilados activos y, asociados a estos, plataformas de abrasión de olas. Entre los acantilados, se

reconocen playas de acumulación marina-litoral, evidenciada por cordones elevados y depósitos de playas actuales de gravas y/o arenas.

El Distrito Continental, por su parte, es el resultando de la interacción del conjunto de procesos geomorfológicos de erosión hídrica, remoción en masa y accionar eólico; constituyéndose así un paisaje de tipo compuesto con diversas geoformas asociadas: meseta, escarpe de erosión activo (barrancas), abanicos aluviales, cárcavas, médanos y acumulaciones arenosas, depresiones y bajos, y cañadones.

**Figura 1.** Ubicación del ANPED en el contexto de la República Argentina y la provincia del Chubut, y los Distritos Continental y Costero (con sus principales playas y puntas de referencia).



Fuente: Elaboración propia en base SIG, geoservicio OpenTopoMap e imágenes satelitales Geoeye-1.

El uso turístico-recreativo del ANPED se produce de forma intensiva sobre el Distrito Costero; específicamente, en el eje Playa El Doradillo – Punta Flecha – Playa Canteras. Allí se encuentra concentrada la mayor demanda turística, y los impactos ambientales negativos asociados (principalmente la disposición indebida de residuos). Este uso intensivo se produce en la temporada estival, en tanto balneario; y, durante la temporada de invierno y primavera por el avistamiento costero de Ballena Franca Austral (*Eubalaena australis*). La intensidad de uso del Distrito Costero dificulta seriamente los esfuerzos de conservación propios del ANPED y, si bien en la actualidad se cuenta con un plan de manejo, el mismo data del momento de creación del área natural, careciendo de una actualización en términos de zonas de uso que se torna fundamental para asegurar un uso turístico sustentable del área. En este sentido, se propone aquí la creación de sendero interpretativo sobre el Distrito Continental. El diseño del sendero, al estar anclado en lo territorial, se realiza mediante herramientas geoinformáticas que permiten trabajar digitalmente modelizándolo. Se enfatiza aquí el carácter de *experimentación* –modelado digital– que permiten los SIG, donde sus usuarios pueden trabajar o plantearse diferentes escenarios virtuales de una

determinada región por parte de los que se producirían con la ejecución de ciertas políticas, como lo asevera Bosque Sendra (2000). En el caso de este trabajo, los SIG permitirán experimentar, explorar las alternativas para el diseño digital de un sendero interpretativo que atraviese el Distrito Continental del ANPED, valorizándolo principalmente como recurso geoturístico y contribuyendo, mediante alternativas de uso turístico-recreativo, a disminuir la presión (aliviando la capacidad de carga) de visitantes sobre el Distrito Costero del ANPED.

Al momento de plantear un sendero interpretativo, se considera indispensable contar con una guía metodológica que permita orientar su desarrollo, diseño y operación de una manera ordenada y lógica. Se considera aquí el esquema metodológico sugerido por la Secretaría de Turismo –SECTUR– México (2004), en el que establece tres fases diferenciadas y secuenciales: 1) la planeación y diagnóstico del sendero, 2) el diseño del sendero y, por último, 3) la operación del sendero. Este trabajo se centra sobre la fase 2) (diseño del sendero) utilizando para ello las geoherramientas avanzadas de los SIG para el establecimiento del tipo recorrido y las zonas que lo conformaran, a partir del diagnóstico y los atractivos identificados (las geoformas del Distrito Continental). Los criterios básicos del diseño considerados se refieren al emplazamiento, zonificación, tipos de recorrido y las modalidades del sendero.

Respecto a las características del sendero interpretativo que se propone, el mismo discurre por el Distrito Continental del ANPED en forma circular, iniciándose y concluyendo sobre la Ruta Provincial N° 42 (Figura 2). Tiene una longitud lineal de 5.300 m, con un suave desnivel positivo de 115 m y un desnivel negativo de 113 m. La longitud total del sendero, incluyendo los desniveles positivos y negativos acumulados, es de 6.700 m. Su altura mínima es 10 msnm. y la altura máxima es de 114 msnm en la sección más alta del escape de erosión activo (parte superior de las barrancas). Considerando un promedio de 1 hora de caminata para realizar 3 km, se recorre en –aproximadamente– en unas 2 horas.

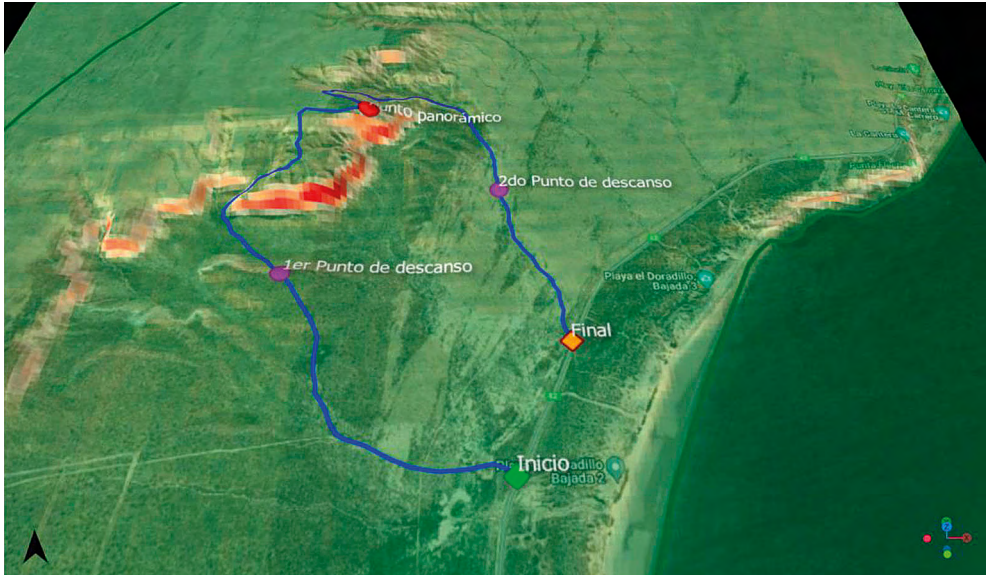
Al momento de diseñar el sendero, se tomó en cuenta la importancia del hecho que debe fundirse con el entorno natural, manteniendo una continuidad y regularidad en la manera a medida que atraviesa el paisaje. Se evitaron los cambios abruptos de dirección y el exceso de vueltas; pero, al mismo tiempo, se utilizaron con moderación las secciones rectas y largas, dado que generalmente no presentan interés para los caminantes. Al presentar un diseño de forma circular, los visitantes no tienen que volver sobre el mismo sendero y, por ende, se mantiene constante el nivel de interés al transitarlo.

El sendero intenta facilitar a los visitantes el ingreso a un estrecho contacto con el ambiente natural de la Estepa Patagónica, desafiar moderadamente sus cuerpos, y aportar conocimiento sobre las geoformas, flora y fauna del Distrito Continental del ANPED. Se buscó que el diseño sea discreto, ambientalmente cuidadoso y, también, entretenido. Tratando de encontrar un balance entre belleza y funcionalidad, una integración entre los rasgos naturales y escénicos con la continuidad, eficiencia, seguridad del sendero.

Otra de las características que se tuvieron en cuenta al momento de diseñar el sendero, para poder incluir a un mayor número de visitantes potenciales, es el grado

de “facilidad” de recorrerlo en función de la pendiente del terreno. En este sentido, se evitaron las pendientes más escarpadas para potenciar la accesibilidad al sendero, mediante el remonte paralelo a los cursos temporarios de agua que bajan desde la sección alta de la estepa.

**Figura 2.** Sendero interpretativo –circular– propuesto, con el inicio y final sobre la RP n° 42, sus puntos de descanso y punto panorámico principal. Asimismo, se pueden observar las áreas de mayores pendientes (en rojo, > a 34°) correspondiente al escarpe de erosión activo (barrancas).



Fuente: Elaboración propia mediante SIG, geoservicio Google Earth y datos altimétricos ALOS Global Digital Surface Model.

Sobre la base de los datos anteriores, y siguiendo a los tipos de “niveles de dificultad” propuestos por Senderos de México (2022), el sendero propuesto cualifica en la categoría de “Fácil”, por ser una caminata de hasta 3 horas, por un sendero bien definido, de diseño circular, sobre un terreno sencillo y que presenta poco desnivel (0 a 300 m de desnivel positivo).

Para que los visitantes tengan una experiencia positiva y puedan disfrutar del atractivo satisfactoriamente y, a la vez, minimizar los daños y perturbación al ambiente y sus formas de vida animal y vegetal, se estableció el número máximo de visitas que puede recibir un área del sendero en base a las condiciones biofísicas, a través del establecimiento de la Capacidad de Carga Física (CCF) (Cifuentes *et al.*, 1992) del sendero. En función de ello se establecen los límites de 10.050 visitantes diarios en la temporada estival, y 5.862 visitantes diarios en la temporada invernal.

Tanto el ANPED, como su plan de manejo, se crearon y establecieron en el año 2001. En el censo nacional poblacional de ese año, Puerto Madryn rondaba sobre



los 58.000 habitantes; en la actualidad (2023) se estima que aproximadamente rondan los 124.000. La cantidad de visitantes locales del ANPED en 2001 era sustancialmente menor a la actual, así como la cantidad de turistas nacionales e internacionales que la visitan. Todos ellos continúan centrándose intensivamente sobre el eje de “Playa El Doradillo – Punta Arco – Playa de la Canteras” del Distrito Costero. En función del aumento poblacional de visitantes y de turistas, durante los 22 años entre la creación del plan de manejo y la actualidad, se requiere tipo de modificación, ajuste, ampliación de las actividades turístico-recreativas ofrecidas en el ANPED. En este sentido, se sugiere la creación de un sendero interpretativo mediante SIG, dado que estas geotecnológicas permiten potenciar los estudios de planificación territorial al poder experimentar, digitalmente, diversos escenarios y propuestas alternativas posibles. La experimentación, permite discernir y elegir aquella que minimice los impactos ambientales negativos y que permita la inclusión de la mayor cantidad de senderistas posibles, respetando las capacidades de cargas del sendero, en vistas a la mejor calidad de la experiencia y conservación del ambiente del Distrito Continental. En este sentido, el potencial sendero interpretativo por el Distrito Continental, no solo contribuiría a descomprimir el uso turístico intensivo del Distrito Costero actual, sino que a la vez permitiría poner en valor geoturístico el Distrito Continental hoy relegado, subvaluado y subutilizado. A través de esta puesta en valor, los residentes y visitantes nacionales e internacionales, ávidos de experiencias sensoriales en ambientes naturales, podrán vivenciar de primera mano los elementos geológicos y geomorfológicos que componen el paisaje del ANPED. De este modo, valorar, apreciar y disfrutar (y porque no contribuir a respetar y conservar) plenamente los componentes del paisaje geológico y geomorfológico de la Patagonia Esteparia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bosque Sendra, J. (2000). *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid: Rialp.
- Cifuentes, M. et al. (1992). *Determinación de capacidad de carga turística en áreas protegidas*. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico n° 194. Turrialba, Costa Rica.
- Secretaría de Turismo –SECTUR– México (2004). *Guía para el diseño y operación de senderos interpretativos*. Fascículo 5. Serie Turismo Alternativo.
- Senderos de México (2022). *Niveles de Dificultad*. Disponible desde [www.senderosdemexico-jalisco.org/index.php/esp/senderismo\\_dificultad](http://www.senderosdemexico-jalisco.org/index.php/esp/senderismo_dificultad)

**Palabras clave:** Ordenamiento territorial, SIG, turismo, senderismo, áreas naturales protegidas municipales.

## Proposal for an interpretive trail through GIS in the El Doradillo Protected Natural Area, Puerto Madryn, Chubut, Argentina

The use of Geographic Information Technologies (TIG), especially the advanced tools of Geographic Information Systems (GIS), are fundamental as theoretical-methodological geotools when supporting the decision-making process for the rational development of the territory. This fact is extremely relevant in planning and management instances of protected natural public spaces. In this sense, Geography, especially its Automated perspective, has been offering guidance to the decisions taken from the state management in all its application scales.

The objective of this work is to provide an updated contribution to the management plan of the "El Doradillo Protected Natural Area", located 15 km northeast of the coastal city of Puerto Madryn (Chubut Province, Argentina).

Through ordinance N° 4.263, approved by the Deliberative Council of the city of Puerto Madryn on November 29, 2001, the El Doradillo Protected Natural Area (hereinafter, ANPED) is created, under municipal management and administration. It covers an area parallel to the coast of 3 km wide and about 25 km long, which extends from Punta Arco (south limit) to Cerro Prismático (north limit). Its main road access, crossing it from southwest to northeast, is Provincial Route 42. Its surface is 7.404 hectares.

From the very moment of its creation, ANPED promotes the conservation of two interconnected but differentiated natural environments –districts–; the Coastal District and the Continental District (Figure 1). This differentiation between the districts can be made based on the geomorphological processes in force and the resulting geoforms. The Coastal District corresponds mainly to a coast dominated by erosion, characterized by a marked development of active cliffs and, associated with these, wave abrasion platforms. Between the cliffs, beaches of marine-coastal accumulation are recognized, evidenced by elevated ridges and current beach deposits of gravel and/or sand.

The Continental District is the result of the interaction of the set of geomorphological processes of water erosion, mass removal and wind power; thus constituting a landscape of a compound type with various associated geoforms: plateau, escarpment of active erosion (ravines), alluvial fans, gullies, sand dunes and accumulations, depressions and lowlands, and canyons.

The tourist-recreational use of ANPED occurs intensively on the Coastal District; specifically, on the Playa El Doradillo – Punta Flecha – Playa Canteras axis. The greatest tourist demand is concentrated there, and the associated negative environmental impacts (mainly the improper disposal of waste). This intensive use occurs in the summer season, as a beach spot; and, during the winter and spring season, for the coastal sighting of the Southern Right Whale (*Eubalaena australis*). The intensity of use of the Coastal District seriously hinders ANPED's own conservation efforts and, although there is currently a management plan, it dates from the moment the natural area was created, lacking an update in terms of zones of use that becomes fundamental to ensure a sustainable tourist use of the area. In this sense, the creation of



an interpretive hiking trail over the Continental District is proposed here. The design of the trail, being anchored in the territorial, is carried out using geoinformatic tools that allow working digitally by modeling it. Here we want to mention the nature of experimentation –digital modeling– that GIS allows, where its users can work or consider different virtual scenarios of a certain region from those that would occur with the execution of certain policies, as asserted by Bosque Sendra (2000). In the case of this work, the GIS will allow experimenting, exploring the alternatives for the digital design of an interpretive path that crosses the Continental District of ANPED, valuing it mainly as a geotourism resource and contributing, through alternatives for tourist-recreational use, to reduce the pressure (relieving the load capacity) of visitors on the ANPED Coastal District.

When proposing an interpretive hiking trail, it is considered essential to have a methodological guide that allows guiding its development, design and operation in an orderly and logical manner. The methodological scheme suggested by the Secretaría de Turismo –SECTUR– Mexico (2004) is considered here, in which it establishes three differentiated and sequential phases: 1) the planning and diagnosis of the trail, 2) the design of the trail and, finally, 3) trail operation. This work focuses on phase 2) (design of the trail) using advanced GIS geotools to establish the type of route and the zones that make it up, based on the diagnosis and the identified attractions (the geofoms of the Continental District). The basic design criteria considered refer to the location, zoning, types of route and the modalities of the path.

Regarding the characteristics of the interpretive trail that is proposed, it runs through the Continental District of ANPED in a circular way, starting and ending on Provincial Route No. 42 (Figure 2). It has a linear length of 5.300 m, with a positive gradient of 115 m and a negative gradient of 113 m. The total length of the trail, including the accumulated positive and negative gradient, is 6.700 m. Its minimum height is 10 meters above sea level, and the maximum height is 114 meters above sea level. in the highest section of the active erosion escape (upper part of the ravines). Considering an average of 1 hour of walking to complete 3 km, it is traveled in –approximately– in about 2 hours.

When designing the trail, the importance of the fact that it must blend with the natural environment was considered, maintaining continuity and regularity in the way as it crosses the landscape. Abrupt changes of direction and excessive turning were avoided; but, at the same time, long, straight sections were used sparingly, as they are generally of no interest to walkers. By presenting a circular design, visitors do not have to retrace the same path and, therefore, the level of interest while walking it is maintained constant.

The trail tries to make it easier for visitors to come into close contact with the natural environment of the Patagonian Steppe, moderately challenge their bodies, and provide knowledge about the geofoms, flora and fauna of the ANPED Continental District. The design was sought to be discreet, environmentally careful and also entertaining. Trying to find a balance between beauty and functionality, an integration between the natural and scenic features with the continuity, efficiency, safety of the trail.

Another of the characteristics that were considered when designing the trail, in order to include a greater number of potential visitors, is the degree of “ease” of walking it depending on the slope of the terrain. In this sense, the steepest slopes

were avoided to enhance the accessibility to the trail, by means of the lift parallel to the temporary watercourses that descend from the upper section of the steppe.

Based on the above data, and following the types of "difficulty levels" proposed by Senderos de México (2022), the proposed trail qualifies in the "Easy" category, as it is a walk of up to 3 hours, for a well-defined path, with a circular design, on a simple terrain with little unevenness (0 to 300 meters of positive unevenness).

In order for visitors to have a positive experience and to be able to enjoy the attraction satisfactorily and, at the same time, minimize damage and disturbance to the environment and its forms of animal and plant life, the maximum number of visits that an area of the trail can receive was established. based on the biophysical conditions, through the establishment of the Physical Carrying Capacity (CCF) (Cifuentes *et al.*, 1992) of the trail. Based on this, the limits of 10.050 daily visitors are established in the summer season, and 5.862 daily visitors in the winter season.

Both, the ANPED and its management plan were created and established in the year 2001. In the national population census of that year, Puerto Madryn had around 58.000 inhabitants; Currently (2023) it is estimated that there are approximately 124.000. The number of local visitors to ANPED in 2001 was substantially less than it is today, as is the number of national and international tourists who visit it. All of them continue to focus intensively on the axis of "Playa El Doradillo – Punta Arco – Playa de la Canteras" of the Coastal District. Depending on the population increase of visitors and tourists, during the 22 years between the creation of the management plan and the present, type of modification, adjustment, expansion of the tourist-recreational activities offered in the ANPED is required. In this sense, the creation of an interpretive trail through GIS is suggested, since these geotechnologies allow to promote territorial planning studies by being able to experience, digitally, various scenarios and possible alternative proposals. Experimentation makes it possible to discern and choose the one that minimizes negative environmental impacts and that allows the inclusion of the greatest number of hikers possible, respecting the carrying capacities of the trail, in view of the best quality of the experience and conservation of the District's environment. Continental. In this sense, the potential interpretive trail through the Continental District would not only contribute to decompressing the intensive tourist use of the current Coastal District, but would also allow the geotourism value of the Continental District today relegated, undervalued and underutilized. Through this enhancement, national and international residents and visitors, eager for sensory experiences in natural environments, will be able to experience first-hand the geological and geomorphological elements that make up the ANPED landscape. In this way, value, appreciate and enjoy (and why not contribute to fully respect and conserve) the components of the geological and geomorphological landscape of Steppe Patagonia.

**Keywords:** Land-use planning, GIS, tourism, hiking, natural protected areas.

# ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE ÍNDICES CLIMÁTICOS SOBRE LA SEQUÍA EN ZONAS DE PÁRAMO ANDINO ECUATORIANO

PACHECO NIVELÓ, JHEIMY

Grupo Territorio y Geomática, Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE),  
Universidad del Azuay, Av. 24 de Mayo 7-77 y Hernán Malo, Cuenca 010204, Ecuador,  
[jpacheco@uazuay.edu.ec](mailto:jpacheco@uazuay.edu.ec)

SOLERA SOLERA, ABEL

Research Institute of Water and Environmental Engineering (IIAMA), Universitat Politècnica de  
València, 46022 Valencia, España, [asolera@upvnet.upv.es](mailto:asolera@upvnet.upv.es)

AVILÉS AÑAZCO, ALEX

Grupo de Evaluación de Riesgos Ambientales en Sistemas de Producción y Servicios (RISKEN),  
Departamento de Química Aplicada y Sistemas de Producción, Eco Campus Balzay, Universidad de  
Cuenca, Cuenca 010207, Ecuador  
Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Químicas, Eco Campus Balzay, Universidad de  
Cuenca, Cuenca 010207, Ecuador, [alex.aviles@ucuenca.edu.ec](mailto:alex.aviles@ucuenca.edu.ec)

La sequía es una amenaza natural que inicia con un déficit en la precipitación en determinado momento hasta llegar a convertirse en un evento recurrente del clima (Wilhite 1997). A diferencia de otros peligros naturales, se la define como un fenómeno complejo y multifacético porque involucra procesos naturales y actividades humanas. La sequía no se refiere únicamente a la falta de lluvia o disminución en los caudales sino también, a los impactos que ésta puede causar en los sistemas ambientales, socioeconómicos y culturales los cuales varían dependiendo de las características de la zona en la que se produce (Van Loon *et al.*, 2016).

Factores como la precipitación y la temperatura, al igual que factores climáticos de gran escala como El Niño Oscilación del Sur (ENSO), Oscilación del Ártico (AO), Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), entre otros, modifican las condiciones de sequía. Los cambios en la temperatura del mar también causan alteraciones sobre los patrones de precipitación exacerbando las condiciones extremas como la sequía, estas condiciones pueden diferir según la zona en la que se produzca (Hao *et al.*, 2020). Por ejemplo, Torres-Valcárcel (2018) encontró que ENSO no representa un factor primordial para estudiar sequías en Puerto Rico, mientras que para la región Andina sí presenta una fuerte influencia (Poveda *et al.*, 2006).

Los índices climáticos ligados a la presión atmosférica como Índice de Oscilación del Sur (SOI, por sus siglas en inglés) se asocian a cambios en la frecuencia e intensidad de eventos extremos como sequías, inundaciones y ciclones tropicales. Por ejemplo, cuando el SOI es positivo se suele observar un aumento en la frecuencia de precipitación en algunas partes de Sudamérica, mientras que, en otras partes del mundo, como el sur de Asia y Australia, hay menos lluvias (Harisuseno, 2020).

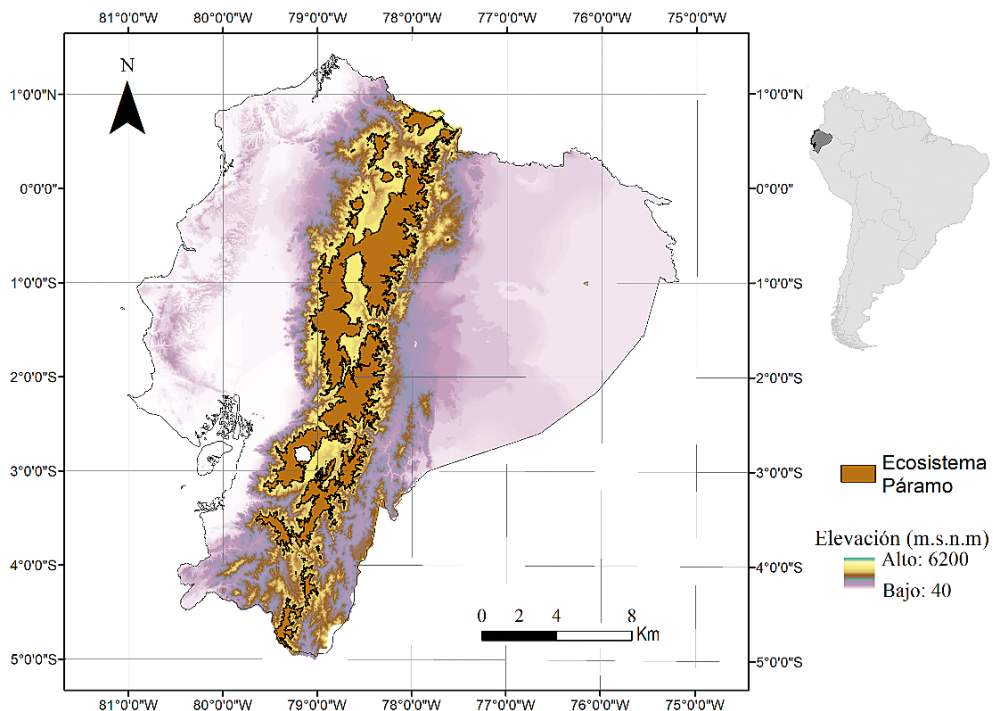
Dado que el comportamiento de algunos índices climáticos agrava las condiciones extremas de lluvia, es necesario estudiar la relación que existe entre estos componentes del clima. Para el caso de la sequía se han definido varios índices que permiten caracterizar este peligro natural (Pedro-Monzonís *et al.*, 2015). El Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI por sus siglas en inglés) es de los más recomendados al momento de evaluar la sequía meteorológica, debido a que considera la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración teniendo en cuenta la temperatura, y además puede calcularse en varias escalas de tiempo según se acumule la sequía (1, 3, 6, 9, 12, 48 meses) (Vicente-Serrano *et al.*, 2010).

Desde una perspectiva ambiental, la vegetación es un componente vital de los ecosistemas terrestres ya que ayuda a regular el clima y el ciclo hidrológico. En este sentido, la sequía puede ser perjudicial para la vegetación y la regulación climática (Bala *et al.*, 2007; Peng *et al.*, 2014). Procesos como el ciclo del agua, presupuesto de energía y el ciclo biogeoquímico en los ecosistemas se equilibran mediante las actividades como fotosíntesis, respiración y transpiración (Piao *et al.*, 2014) que pueden verse afectadas por un desbalance en la precipitación y temperatura. Uno de los ecosistemas que más contribuyen a la regulación del agua son los páramos andinos. Este tipo de vegetación es considerada frágil y está expuesta a efectos climáticos adversos (Vuille *et al.*, 2003). Aunque a nivel global se han realizado varios estudios que consideran la influencia de factores climáticos sobre la sequía (Gupta & Jain, 2021; Vicente-Serrano *et al.*, 2017; Zambrano Mera *et al.*, 2018), incluso en cuencas andinas (Nieves *et al.*, 2022; Pacheco *et al.*, 2022; Zhiña *et al.*, 2019), extender el tiempo y la zona de análisis podría mostrar resultados más interesantes.

Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado, el objetivo del presente estudio es conocer las relaciones existentes entre índices macro-climáticos y la sequía meteorológica que se han producido sobre zonas de páramo andino.

La zona de estudio se encuentra delimitada como ecosistema páramo (Figura 1) por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) y atraviesa la región andina ecuatoriana. La zona de páramo se obtuvo de la clasificación por unidades biogeográficas del MAATE disponible en <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo>. Estas unidades atienden criterios sobre fisonomía de la vegetación, paisaje, componentes florísticos e incluso condiciones climáticas.

Figura 1. Ecosistema páramo en el Ecuador.



Elaboración propia.

ENSO comprende las variaciones de la SST en la franja ecuatorial del océano Pacífico. Para monitorear la temperatura del mar en esta región existen cuatro índices: Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4 según sea la zona de la franja ecuatorial del Pacífico. ENSO presenta dos fases: El Niño cuando el promedio de la anomalía de la SST está por encima de los 0.5 °C durante tres meses consecutivos y La Niña cuando el promedio de la SST se registra por debajo de los 0.5 °C por tres meses consecutivos. ENSO tiene un ciclo de entre 3 y 7 años, en tanto que El Niño y La Niña pueden mantenerse por entre 6 y 8 meses.

El Índice del Niño Oceánico (ONI, por sus siglas en inglés) se refiere a la media móvil de tres meses de la anomalía SST en la región Niño 3.4. Se verifica la presencia de un evento por la observación de ciertos umbrales para cinco períodos consecutivos de 3 meses de media superpuesta.

SOI es una medida de la diferencia entre la presión del nivel del mar en el Pacífico ecuatorial occidental (cerca de Indonesia) y oriental (cerca de la costa de Sudamérica). La variación de SOI se produce como resultado de los cambios en la presión atmosférica en ambas zonas. Cuando la presión atmosférica es más alta en el Pacífico este y más baja en el Pacífico oeste, se considera que hay un SOI positivo. En cambio, cuando la presión atmosférica es más baja en el Pacífico este y más alta en el Pacífico oeste, se considera que hay un SOI negativo. SOI mantiene una relación

inversa con SST y sus ciclos en la atmósfera son más extensos que ENSO, alrededor de 2 a 3 años (Abiy *et al.*, 2019). Los índices ONI y SOI se obtuvieron de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) disponible en <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>.

El índice SPEI se obtuvo del producto SPEIbase v2.8 de la base de datos global disponible en <https://spei.csic.es/database.html>. La resolución temporal de SPEI es mensual entre 1901 y 2011 y la resolución espacial de 0.5 grados (Berguería *et al.*, 2014). Este producto contiene el índice SPEI en escalas de tiempo de 1 a 48 meses y para este estudio se empleó las escalas de 1, 3, 6, 9 y 12 meses.

Para obtener la influencia de ONI y SOI sobre SPEI en las zonas de páramo, se realizó correlación cruzada wavelet entre las series de tiempo entre 1951 y 2011. El método Wavelet permite analizar dos series de tiempo mediante correlación cruzada en el dominio de tiempo y frecuencia. Si hay una relación entre las series de tiempo en una determinada frecuencia, se muestra como un área de alta coherencia en el gráfico Wavelet (WTC). Este método permite identificar patrones y determinar si las series de tiempo están relacionadas entre sí en diferentes niveles de frecuencia. Un valor de 1 indica una fuerte correlación y un valor de 0 indica una correlación inexistente (Torrence & Compo, 1998).

Los resultados de esta investigación mostraron que en promedio el año con el SPEI más bajo (mayor sequía) fue 1979, y el menor valor de SPEI se registró en abril de 1985 (-2.66).

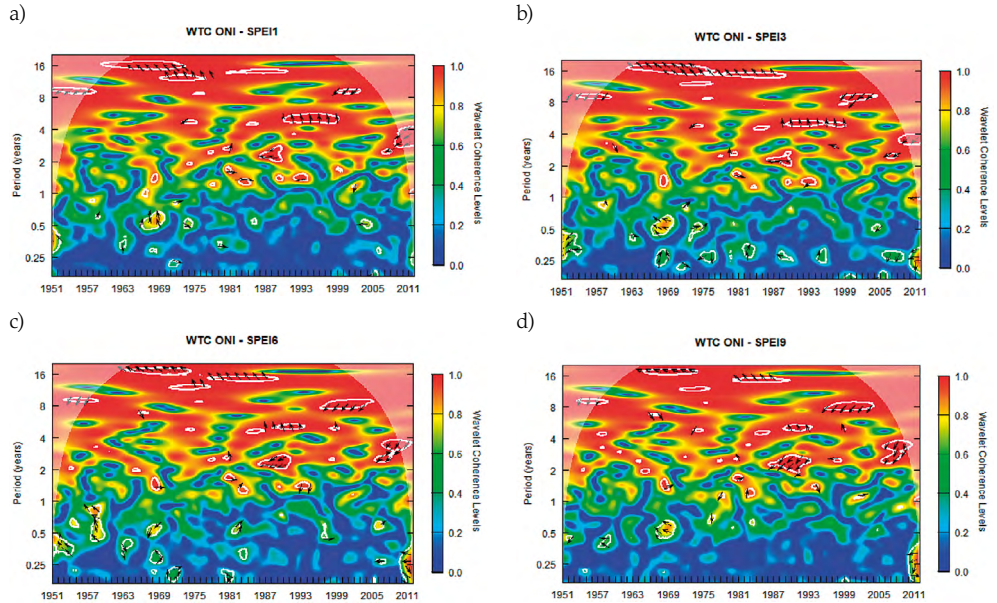
Las correlaciones entre ONI y SPEI (Figura 2) fueron negativas y se identificaron dos períodos comunes: 1963-1975 y 1975-1987 para SPEI1, SPEI3, SPEI6 y SPEI9 con un período de retorno cercano a 16 años, en tanto que para SPEI12 las correlaciones se tornaron difusas. El índice SPEI lideró la correlación. Si bien se encontraron correlaciones en períodos de retorno más bajos, se reportaron las correlaciones significativas con valores más altos (superiores a 0.8) y mayor extensión en el tiempo.

Las correlaciones entre SOI y SPEI (Figura 3) fueron positivas. Se identificaron para SOI-SPEI1 dos períodos comunes, entre 1963 y 1975 con un período de retorno cercano a 16 años y entre 1990 y 1998 con un período de retorno cercano a 4 años. Para SOI-SPEI6, SPEI9 y SPEI12, los años de correlación fueron durante 1987-1991, y 2003-2011 ambos con un período de retorno cercano a los 2 años. Las correlaciones entre SOI y SPEI3 no fueron tan claras como las indicadas (Figura 3). En las correlaciones con SPEI6, 9 y 12 es SOI el índice que lidera la relación.

Si bien se encontraron correlaciones en períodos de retorno más bajos, se reportaron correlaciones significativas con valores más altos (superiores a 0.8).

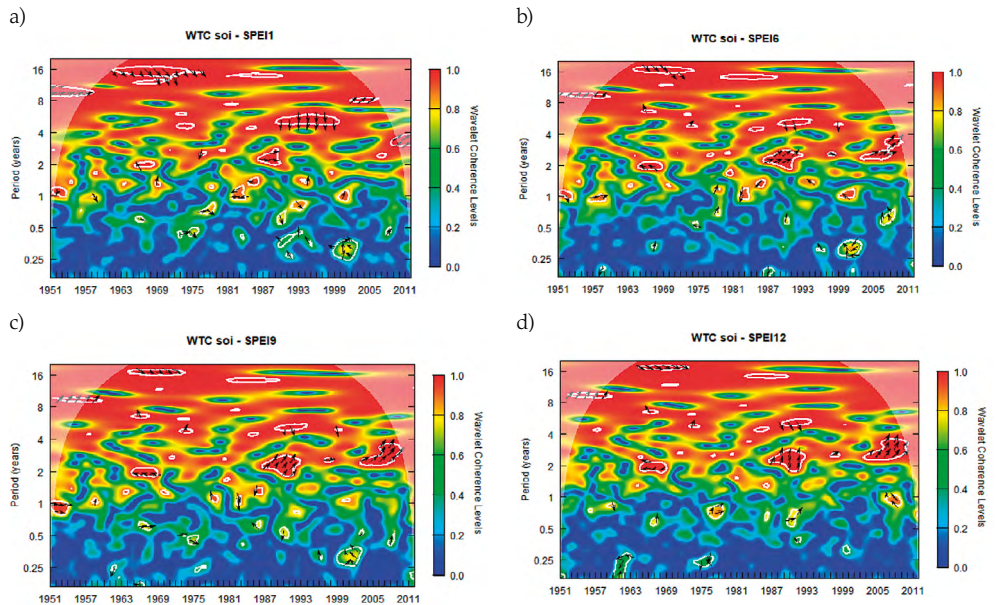


Figura 2. Coherencia Wavelet entre ONI y SPEI a) ONI-SPEI1, b) ONI-SPEI3, c) ONI-SPEI6, d) ONI-SPEI9.



Elaboración propia.

Figura 3. Coherencia Wavelet entre SOI y SPEI a) SOI-SPEI1, b) SOI-SPEI6, c) SOI-SPEI9, d) SOI-SPEI12.



Elaboración propia.

Durante los años de correlación ONI-SPEI se presentaron eventos El Niño y La Niña categorizados como muy fuertes y fuertes. Mientras que durante los años de correlación SOI-SPEI los eventos El Niño y La Niña se categorizaron como fuertes y moderados.

Esta investigación analizó la relación de índices climáticos ONI y SOI con la sequía SPEI en zona de páramo mediante correlación Wavelet. Para ONI, se reportaron correlaciones significativas durante 1963 a 1998 con un largo período de retorno (alrededor de 16 años). Para SOI las correlaciones significativas se observaron durante 1963-1998 y 2003-2011 con diferente período de retorno. Las correlaciones se presentan difusas para SPEI12 con ONI y para SPEI3 con SOI. Además, eventos muy fuertes de El Niño y eventos fuertes La Niña se presentaron durante los años de correlación. Por lo general, SOI lideró la correlación de SPEI6 a SPEI12, es decir SOI se presentó antes que el evento de sequía. Las correlaciones encontradas muestran que los índices climáticos pueden modificar las condiciones de sequía en la zona de páramo. En futuras investigaciones podría abordarse la reacción de este tipo de vegetación ante variables climáticas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abiy, A. Z., Melesse, A. M., Seyoum, W. M. & Abtew, W. (2019). Drought and climate teleconnection and drought monitoring. In *Extreme Hydrology and Climate Variability* (pp. 275-295). Elsevier.
- Beguiría, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig, F. & Latorre, B. (2014). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International journal of climatology*, 34(10), 3001-3023.
- Hao, Y., Hao, Z., Feng, S., Zhang, X. & Hao, F. (2020). Response of vegetation to El Niño-Southern Oscillation (ENSO) via compound dry and hot events in southern Africa. *Global and Planetary Change*, 195(19), 103358. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103358>
- Harisuseno, D. (2020). Meteorological drought and its relationship with Southern Oscillation Index (SOI). *Civil engineering journal*, 6(10), 1864-1875.
- Kalisa, W., Igbawua, T., Henchiri, M., Ali, S., Zhang, S., Bai, Y. & Zhang, J. (2019). Assessment of climate impact on vegetation dynamics over East Africa from 1982 to 2015. *Scientific Reports*, 9(1), 1-20. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53150-0>
- Li, P., Wang, J., Liu, M., Xue, Z., Bagherzadeh, A. & Liu, M. (2021). Spatio-temporal variation characteristics of NDVI and its response to climate on the Loess Plateau from 1985 to 2015. *Catena*, 203(March), 105331. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105331>
- Pedro-Monzonís, M., Solera, A., Ferrer, J., Estrela, T. & Paredes-Arquiola, J. (2015). A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *Journal of Hydrology*, 527, 482-493. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.003>
- Poveda, G., Waylen, P. R. & Pulwarty, R. S. (2006). Annual and inter-annual variability of the present climate in northern South America and southern Mesoamerica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 234(1), 3-27. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.10.031>
- Torrence, C. & Compo, G. P. (1998). A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79 (pp. 61-78). Co. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<0061:APGTWA>2.0](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0061:APGTWA>2.0)
- Torres-Valcárcel, A. R. (2018). Teleconnections between ENSO and rainfall and drought in Puerto Rico. *International Journal of Climatology*, 38, e1190-e1204.



- Van Loon, A. F., Stahl, K., Di Baldassarre, G., Clark, J., Rangelcroft, S., Wanders, N., Gleeson, T., Van Dijk, A. I. J. M., Tallaksen, L. M., Hannaford, J., Uijlenhoet, R., Teuling, A. J., Hannah, D. M., Sheffield, J., Svoboda, M., Verbeiren, B., Wagener, T. & Van Lanen, H. A. J. (2016). Drought in a human-modified world: Reframing drought definitions, understanding, and analysis approaches. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(9), 3631-3650. <https://doi.org/10.5194/hess-20-3631-2016>
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S. & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Vuille, M., Bradley, R. S., Werner, M. & Keimig, F. (2003). 20th Century Climate Change in the Tropical Andes: Observations and Model Results. *Climatic Change*, 59(1), 75-99. <https://doi.org/10.1023/A:1024406427519>

*Palabras clave:* SPEI, ONI, SOI, drought, correlación wavelet.

## Analysis of the influence of climatic indices on drought in areas of the Ecuadorian Andean páramo

Drought is a natural hazard that begins with a deficit in precipitation at a certain point until it becomes a recurrent climate event (Wilhite, 1997). Unlike other natural hazards, it is defined as a complex and multifaceted phenomenon because it involves natural processes and human activities. Drought does not only refer to the lack of rain or decreased streamflow, but also to the impacts it can cause on environmental, socioeconomic, and cultural systems, which vary depending on the characteristics of the area in which it occurs (Van Loon *et al.*, 2016).

Factors such as precipitation and temperature, as well as large-scale climate factors such as El Niño-Southern Oscillation (ENSO), Arctic Oscillation (AO), Pacific Decadal Oscillation (PDO), among others, modify drought conditions. Changes in sea temperature also cause alterations in precipitation patterns, exacerbating extreme conditions such as drought, which can differ depending on the area in which it occurs (Hao *et al.*, 2020). For example, Torres-Valcárcel (2018) found that ENSO does not represent a primary factor for studying droughts in Puerto Rico, while for the Andean region it does have a strong influence (Poveda *et al.*, 2006).

Climate indices linked to atmospheric pressure, such as the Southern Oscillation Index (SOI), are associated with changes in the frequency and intensity of extreme events such as droughts, floods, and tropical cyclones. For example, when the SOI is positive, an increase in the frequency of precipitation is usually observed in some parts of South America, while in other parts of the world, such as southern Asia and Australia, there is less rainfall (Harisuseno, 2020).

Given that the behavior of some climate indices aggravates extreme rainfall conditions, it is necessary to study the relationship between these climate components. For the case of drought, several indices have been defined that allow characterizing this natural hazard (Pedro-Monzónis *et al.*, 2015). The Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) is one of the most recommended when evaluating

meteorological drought, because it considers the difference between precipitation and evapotranspiration, taking into account temperature, and can be calculated at several time scales depending on the drought accumulation (1, 3, 6, 9, 12, 48 months) (Vicente-Serrano *et al.*, 2010).

From an environmental perspective, vegetation is a vital component of terrestrial ecosystems as it helps regulate the climate and hydrological cycle. In this sense, drought can be detrimental to vegetation and climate regulation (Bala *et al.*, 2007; Peng *et al.*, 2014). Processes such as the water cycle, energy budget, and biogeochemical cycle in ecosystems are balanced through activities such as photosynthesis, respiration, and transpiration (Piao *et al.*, 2014), which can be affected by imbalances in precipitation and temperature. One of the ecosystems that contributes the most to water regulation is the Andean paramo. This type of vegetation is considered fragile and exposed to adverse climate effects (Vuille *et al.*, 2003). Although several studies have been conducted globally considering the influence of climatic factors on drought (Gupta & Jain, 2021; Vicente-Serrano *et al.*, 2017; Zambrano Mera *et al.*, 2018), even in Andean basins (Nieves *et al.*, 2022; Pacheco *et al.*, 2022; Zhiña *et al.*, 2019), extending the time and area of analysis could show more interesting results.

Taking into account the aforementioned, the objective of this study is to understand the existing relationships between macro-climatic indices and meteorological droughts that have occurred in Andean páramo zones.

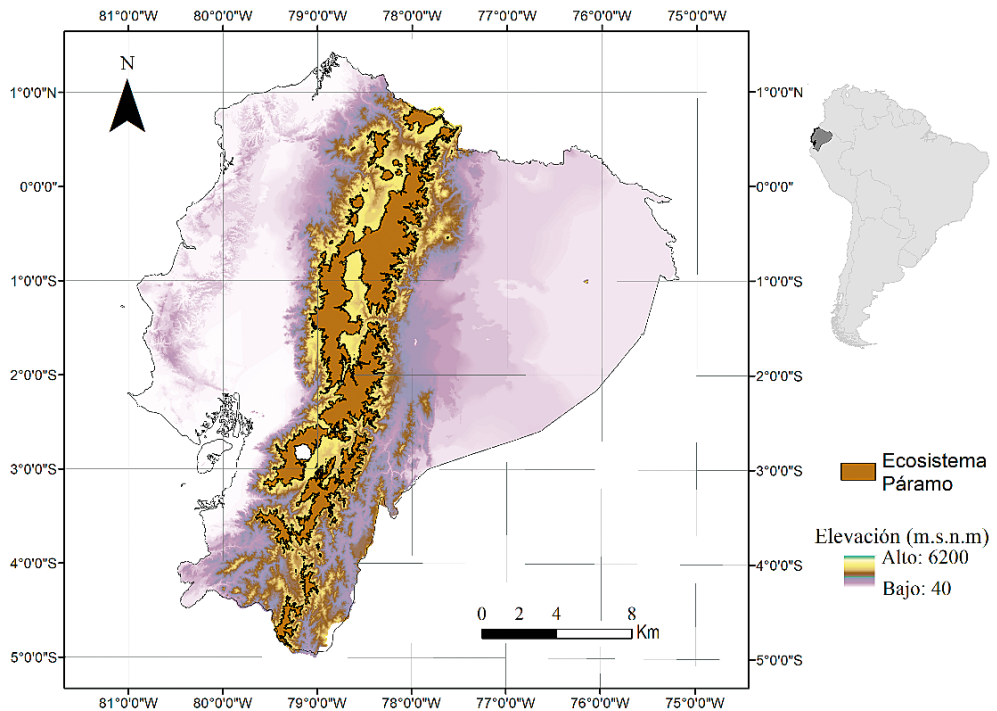
The study area is delimited as a páramo ecosystem (Figure 1) by the Ministry of Environment, Water, and Ecological Transition (MAATE) and spans the Ecuadorian Andean region. The páramo zone was obtained from the biogeographic units classification of MAATE available at <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo>. These units address criteria on vegetation physiognomy, landscape, floristic components, and even climatic conditions.

ENSO comprises variations in SST in the equatorial strip of the Pacific Ocean. To monitor the sea temperature in this region, there are four indices: Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, and Niño 4 depending on the zone of the equatorial strip of the Pacific. ENSO has two phases: El Niño when the average SST anomaly is above 0.5 °C for three consecutive months, and La Niña when the average SST is recorded below -0.5 °C for three consecutive months. ENSO has a cycle of between 3 and 7 years, while El Niño and La Niña can last for 6 to 8 months.

The Oceanic Niño Index (ONI) refers to the three-month moving average of the SST anomaly in the Niño 3.4 region. The presence of an event is verified by observing certain thresholds for five consecutive periods of overlapping three-month averages.

SOI is a measure of the difference between sea level pressure in the western equatorial Pacific (near Indonesia) and eastern (near the coast of South America). SOI variation occurs as a result of changes in atmospheric pressure in both zones. When the atmospheric pressure is higher in the eastern Pacific and lower in the western Pacific, there is considered to be a positive SOI. In contrast, when the atmospheric pressure is lower in the eastern Pacific and higher in the western Pacific, there is considered to be a negative SOI. SOI has an inverse relationship with SST, and its cycles in the atmosphere are more extensive than ENSO, around 2 to 3 years (Abiy *et al.*, 2019). The ONI and SOI indices were obtained from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) available at <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>.

Figure 1. Páramo ecosystem in Ecuador.



Own elaboration.

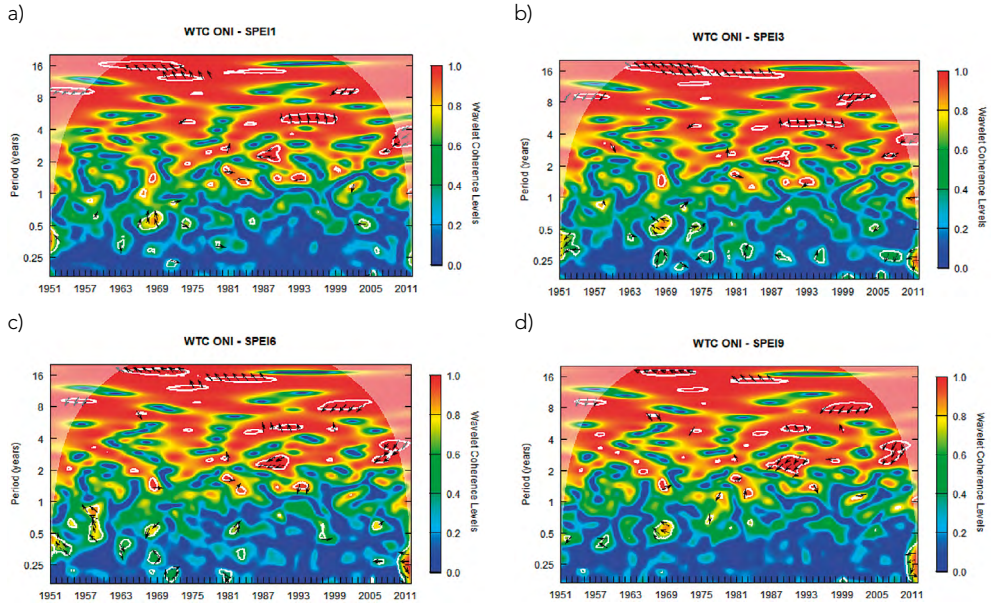
The SPEI index was obtained from the SPEIbase v2.8 product of the global database available at <https://spei.csic.es/database.html>. The temporal resolution of SPEI is monthly from 1901 to 2011 and the spatial resolution is 0.5 degrees (Berguería et al., 2014). This product contains the SPEI index at time scales of 1 to 48 months, and for this study, the time scales of 1, 3, 6, 9, and 12 months were used.

To obtain the influence of ONI and SOI on SPEI in the páramo zones, a wavelet cross-correlation was performed between the time series from 1951 to 2011. The Wavelet method allows for the analysis of two-time series by cross-correlation in the time and frequency domain. If there is a relationship between the time series at a certain frequency, it is shown as a high coherence area on the Wavelet graph (WTC). This method allows for the identification of patterns and determining if the time series are related to each other at different frequency levels. A value of 1 indicates a strong correlation, and a value of 0 indicates no correlation (Torrence & Compo, 1998).

The results of this study showed that on average, the year with the lowest SPEI (highest drought) was 1979, and the lowest SPEI value was recorded in April 1985 (-2.66). The correlations between ONI and SPEI (Figure 2) were negative, and two common periods were identified: 1963-1975 and 1975-1987 for SPEI1, SPEI3, SPEI6, and SPEI9 with a return period of about 16 years, while for SPEI12, the correlations became diffuse. The SPEI index led to the correlation. Although correlations were

found at lower return periods, significant correlations with higher values (above 0.8) and longer time span were reported.

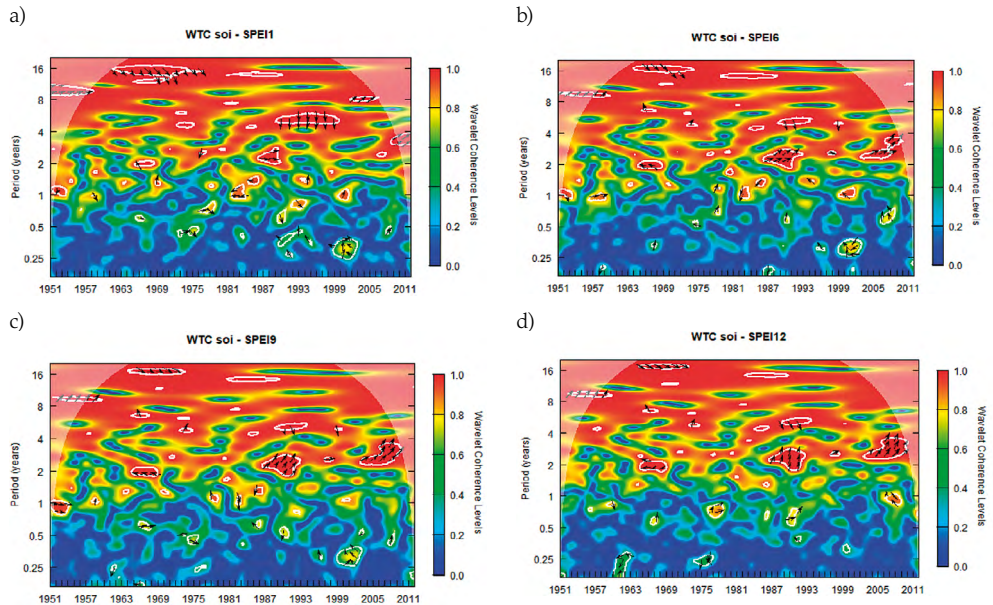
**Figure 2.** Wavelet Coherence between ONI and SPEI a) ONI-SPEI1, b) ONI-SPEI3, c) ONI-SPEI6, d) ONI-SPEI9.



Own elaboration.

The correlations between SOI and SPEI (Figure 3) were positive. For SOI-SPEI1, two common periods were identified between 1963 and 1975 with a return period of about 16 years, and between 1990 and 1998 with a return period of about 4 years. For SOI-SPEI6, SPEI9, and SPEI12, the correlation years were during 1987-1991 and 2003-2011, both with a return period of about 2 years. The correlations between SOI and SPEI3 were not as clear as indicated (Figure 3). For the correlations with SPEI6, 9, and 12, SOI was the leading index in the relationship. Although correlations were found at lower return periods, significant correlations with higher values (above 0.8) were reported.

**Figure 3.** Wavelet Coherence between SOI and SPEI a) SOI-SPEI1, b) SOI-SPEI6, c) SOI-SPEI9, d) SOI-SPEI12.



Own elaboration.

During the ONI-SPEI correlation years, very strong, and strong El Niño and La Niña events occurred. Whereas during the SOI-SPEI correlation years, El Niño and La Niña events were categorized as strong and moderate.

This research analyzed the relationship of climate indices ONI and SOI with SPEI drought in the highland zone using Wavelet correlation. For ONI, significant correlations were reported during 1963 to 1998 with a long return period (around 16 years). For SOI, significant correlations were observed during 1963-1998 and 2003-2011 with a different return period. The correlations were diffuse for SPEI12 with ONI and for SPEI3 with SOI. In addition, very strong El Niño and strong La Niña events occurred during the years of correlation. Generally, SOI led the correlation from SPEI6 to SPEI12, meaning SOI occurred before the drought event. The correlations found show that climate indices can modify drought conditions in the highland zone. In future research, the reaction of this type of vegetation to climatic variables could be addressed.

**Keywords:** SPEI, ONI, SOI, drought, wavelet-correlation.

**Funding:** This research was funded by the University of Azuay through its Vicerrectorado de Investigaciones and Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE) via the project "Análisis de sequía en el Ecuador y su relación con el Fenómeno de El Niño".

**Acknowledgments:** The authors would like to thank IERSE for the support provided.





# IDENTIFICACIÓN DE ÁRBOLES EN ZONAS URBANAS POR TRANSFERENCIA DE APRENDIZAJE

PACHECO PRADO, DIEGO

Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE), Universidad del Azuay,  
Av. 24 de Mayo 7-77, 010204, Cuenca, Ecuador, [dpacheco@uazuay.edu.ec](mailto:dpacheco@uazuay.edu.ec)

BRAVO LÓPEZ, PAUL

Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE), Universidad del Azuay,  
Av. 24 de Mayo 7-77, 010204, Cuenca, Ecuador, [pbravo@uazuay.edu.ec](mailto:pbravo@uazuay.edu.ec)

RUIZ, LUIS ÁNGEL

Geo-Environmental Cartography and Remote Sensing Group (CGAT), Universitat Politècnica de València, 46022 Valencia, Spain, [laruiz@cgf.upv.es](mailto:laruiz@cgf.upv.es)

**M**ejorar la calidad de vida de la ciudadanía es uno de los principales objetivos de los administradores de ciudades, y aunque las áreas verdes y espacios públicos contienen una gran cantidad de recursos naturales, muchas veces no son conocidas por ellos o los ciudadanos. Ante esto, el inventario del arbolado existente se convierte en una herramienta necesaria para la gestión pública. Una problemática de construir o actualizar estos inventarios suelen ser sus costos elevados, además de requerir personal especializado para su identificación; por ello en la actualidad se encuentran pocos ejemplos de su implementación.

En el caso de la ciudad de Cuenca (Ecuador), la Universidad del Azuay a través del Instituto de Estudios de Régimen Seccional (IERSE) y el Herbario Azuay, han construido el Inventario de Árboles de la ciudad de Cuenca (IAC) desde el año 2017, el cual está disponible en el sitio web <http://ierse.uazuay.edu.ec>. Hasta junio de 2022, se registraron un total de 12.688 árboles. De estos, 6.646 (52 %) corresponden a especies introducidas, 5.972 (47 %) a especies nativas y los 70 restantes (menos de 1 %) a especies endémicas o no categorizadas. En dicho inventario, parte de la información recolectada consiste en dos fotografías de cada árbol, tomadas con teléfonos inteligentes con sistema operativo Android de varios modelos.

Siguiendo un enfoque de visión por computador, apoyado de Inteligencia Artificial (IA), se pretendió evaluar si estas fotografías pueden ser utilizadas para la creación de modelos de clasificación de imágenes a través de Redes Neuronales Convolucionales. Estas redes tienen la capacidad de aprender patrones y características de las

imágenes mediante el uso de filtros y buscan extraer características relevantes de la imagen como bordes, esquinas y curvas. Por ello puede tener millones de parámetros, lo que significa que entrenarlas requiere una gran cantidad de datos etiquetados para evitar problemas de sobreajuste (poca capacidad de aprender patrones generalizables), además de una gran capacidad computacional de procesamiento.

Para reducir el sobreajuste, se pueden aplicar dos técnicas de trabajo: el aumento de datos y la transferencia de aprendizaje. La primera consiste en crear muestras sintéticas a partir de las imágenes de entrenamiento con operaciones de rotación, recorte, *zoom*, *entre otros*. La segunda consiste en crear modelos a partir de la arquitectura y pesos de redes neuronales previamente entrenadas. Para nuestro trabajo se aplican las dos técnicas y la implementación de estas redes neuronales se realizó a través de la librería *TensorFlow Lite Model Maker 0.3.4* en un lenguaje de programación Python 3.7.16.

De las especies de árboles existentes en el IAC, se seleccionaron catorce que poseían más de 100 individuos, entre las que tenemos: Álamo blanco, Capulí, Cepillo, Cepillo blanco, Ciprés, Cucarda, Eucalipto, Guabisay, Guaylo, Huesito, Ramo de novia, Sauce, Tilo o sauco blanco y Urapán. De las fotografías existentes de cada especie, se realizó un proceso de selección a través de mapas de activación, los cuales utilizan una red previamente entrenada (EfficientNetB0 en nuestro caso) y resaltan los píxeles más relevantes en la decisión de clasificar una imagen, lo que nos permitió eliminar las fotografías donde el ruido de fondo era más relevante que las características del árbol. Posterior a este proceso de selección varias de las imágenes originales fueron eliminadas por lo cual cada clase tuvo un número diferente de imágenes. Tomado como referente la clase con mayor cantidad de imágenes se aplicó operaciones de rotación (90, 180 y 270°) para igualar la cantidad de imágenes de entrenamiento por clase, manteniendo para la validación imágenes originales.

Con las imágenes obtenidas se encuadró y redimensionó a un tamaño de imagen de 224 × 224 píxeles, que es un tamaño estándar de imágenes usado por varios modelos previamente entrenados. Luego de la selección y preparación de imágenes se obtuvo un conjunto de 5.964 imágenes organizadas en catorce clases, eso significa que por clase se dispone de 426 imágenes, de las cuales 340 (80 %) son para entrenamiento y 86 (20 %) para validación.

Para el proceso de transferencia de aprendizaje se utilizó dos modelos como base: EfficientNet-Lite y ResNet V2, disponibles en el sitio web de *Tensorflow Hub* (<https://www.tensorflow.org/hub>). EfficientNet-Lite es una familia de modelos de clasificación de imágenes desarrollado por Google y optimizado para móviles, al tener menos parámetros y operaciones. Por otro lado, ResNet V2, es una versión mejorada de la arquitectura ResNet (Residual Network), desarrollada por Microsoft Research la cual ha obtenido un alto rendimiento en tareas de clasificación de imágenes, detección de objetos y segmentación semántica.

Para valorar la fiabilidad de los dos modelos nos basaremos en dos herramientas: las curvas de aprendizaje y los reportes de clasificación. La primera describe el grado de éxito obtenido durante el aprendizaje en el transcurso del tiempo de los datos de entrenamiento y validación. La segunda, se obtiene de la matriz de confusión resultante de las imágenes de validación. De este último usaremos la métrica F1-score, que



combina las medidas de *Precision* (capacidad del modelo para identificar correctamente las instancias positivas) y *Recall* (capacidad del modelo para identificar correctamente todas las instancias positivas, incluidas aquellas que se han identificado erróneamente como negativas) en un solo valor.

Al comparar el rendimiento de estos dos modelos base con nuestra base de datos de imágenes, las curvas de aprendizaje revelaron que la fiabilidad del modelo EfficientNet-Lite con los datos de validación se aproxima a 0.91 en la época 20, la pérdida a 0.8 y tres clases superaron el valor de 0.9 de F1-score: Cepillo Blanco (0.94), Ramo de novia (0.93) y Ciprés (0.90). Usando el mismo conjunto de imágenes con el modelo base de ResNet V2 se alcanza una fiabilidad aproximada de 0.9 a partir de la época tres, la pérdida llega a 1.09 y F1-score supera el valor de 0.9 en cuatro clases: Ramo de novia (0.97), Sauce (0.93), Cepillo blanco (0.93) y Álamo Blanco (0.91). En ambos casos las clases Urapán y Cepillo son las de menor fiabilidad. Adicionalmente, las matrices de confusión revelan que el modelo de ResNet V2 tiene una fiabilidad mayor para el resto de las clases, comparado con los resultados de la clasificación obtenida por EfficientNet-Lite, por lo cual nuestro modelo a implementar fue el construido a partir de ResNet V2. El modelo final fue desplegado en un aplicativo Android y está disponible en el sitio web <https://gis.uazuay.edu.ec/redneuronol>.

Con este trabajo concluimos que las imágenes provenientes desde los teléfonos inteligentes que se integraron al IAC pueden ser usadas para entrenar modelos de clasificación de imágenes con mayor fiabilidad en la detección de especies como Cepillo Blanco y Ramo de novia. A través del uso de estas tecnologías se propone la creación de un modelo de clasificación de imágenes adaptable a plataformas móviles. Estas se podrían enfocar como herramientas de ayuda a los usuarios no expertos en la identificación de clases de árboles existentes en su entorno. Además, estos modelos nos permiten plantear trabajos futuros orientados a la creación de herramientas de recolección de datos del Inventario de Árboles de la ciudad de Cuenca semiautomatizados.

*Palabras clave:* Cuenca, EfficientNet-Lite, Inventario de Árboles, Redes neuronales Convolucionales, ResNet V2, TensorFlow Lite.

## Tree identification in urban areas by Transfer Learning

Improving the quality of life of citizens is one of the main objectives of city administrators, and although green areas and public spaces contain many natural resources, they are often not known by them or by citizens. Given this fact, the inventory of existing trees becomes a necessary tool for public management. One problem with a building or updating these inventories tends to be their high costs, in addition to requiring specialized personnel for their identification; therefore, there are currently few examples of their implementation.

In the case of the city of Cuenca (Ecuador), the University of Azuay through the Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE) and the Azuay Herbarium, have built the Tree Inventory of Cuenca (TIC) since 2017, which is available on the website <http://ierse.uazuay.edu.ec>. Until June 2022, a total of 12,688 trees were registered. Of these, 6,646 (52%) corresponded to introduced species, 5,972 (47%) to native species, and the remaining 70 (less than 1%) to endemic or non-categorized species. In this inventory, part of the information collected consisted of two photographs of each tree, taken with smartphones with Android operating system of various models.

Through the computer vision approach, supported by Artificial Intelligence (AI), the aim was to evaluate if these photographs can be used for the creation of image classification models through Convolutional Neural Networks. These networks have the ability to learn patterns and features of images through the use of filters and seek to extract relevant features of the image such as edges, corners and curves. For this reason, they can have millions of parameters, which means that training them requires a large amount of labeled data to avoid overfitting problems (poor ability to learn generalizable patterns), in addition to a large computational processing power.

To reduce overfitting, two techniques can be applied: data augmentation and transfer learning. The first consists of creating synthetic samples from the training images with operations such as rotation, cropping, zooming, etc. The second consists of creating models from the architecture and weights of previously trained neural networks. For our work, both techniques are applied and the implementation of these neural networks was carried out through the TensorFlow Lite Model Maker 0.3.4 library in a Python 3.7.16 programming language.

Fourteen tree species with more than 100 individuals were selected from the existing tree species in the TIC: White poplar, Capuli, Bottlebrush, White Bottlebrush, Cypress, Cucarda, Eucalyptus, Guabisay, Guaylo, Huesito, Bridal Bouquet, Willow, Tilo o sauco blanco and Urapan. From the existing photographs of each species, a selection process was carried out through activation maps, which use a previously trained network (EfficientNetB0 in our case) and highlight the most relevant pixels in the decision to classify an image, this allowed us to eliminate photographs where the background noise was more relevant than the features of the tree. After this selection process, several of the original images were eliminated so that each class had a different number of images. Taking as a reference the class with the highest number of images, rotation operations (90, 180 and 270°) were applied to equalize the number of training images per class, keeping original images for validation.

The images obtained were framed and resized to an image size of 224×224 pixels, which is a standard image size used by several previously trained models. After image selection and preparation, a set of 5,964 images organized in fourteen classes was obtained, that means that per class 426 images are available, of which 340 (80%) are for training and 86 (20%) for validation.

For the learning transfer process, two models were used as a base: EfficientNet-Lite and ResNet V2, available on the Tensorflow Hub website (<https://www.tensorflow.org/hub>), were used for the knowledge transfer phase. EfficientNet-Lite is a family of image classification models developed by Google and optimized for mobile, having fewer parameters and operations. On the other hand, ResNet V2, is an improved version of the ResNet (Residual Network) architecture, developed by Microsoft Research and

has obtained high performance in image classification, object detection and semantic segmentation tasks.

To assess the reliability of the two models we will rely on two tools: learning curves and classification reports. The first one describes the degree of success obtained during the learning over time of the training and validation data. The second, is obtained from the confusion matrix resulting from the validation images. From the latter we will use the F1-score metric, which combines the Precision (ability of the model to correctly identify positive instances) and Recall (ability of the model to correctly identify all positive instances, including those misidentified as negative) measures into a single value.

Comparing the performance of these two base models with our image database, the learning curves revealed that the reliability of the EfficientNet-Lite model with the validation data approaches 0.91 at epoch 20, the loss at 0.8 and three classes exceeded the 0.9 F1-score value of 0.9: White Brush (0.94), Bridal Bouquet (0.93) and Cypress (0.90). Using the same set of images with the ResNet V2 base model an approximate reliability of 0.9 is reached from epoch three onwards, loss reaches 1.09 and F1-score exceeds the value of 0.9 in four classes: Bridal bouquet (0.97), Willow (0.93), White brush (0.93) and White poplar (0.91). In both cases, the Urapan and Brush classes have the lowest reliability. Additionally, the confusion matrices reveal that the ResNet V2 model has a higher reliability for the rest of the classes, compared to the classification results obtained by EfficientNet-Lite, so our model to implement was the one built from ResNet V2. The final model was deployed in an Android application and is available on the website <https://gis.uazuay.edu.ec/redneuronal>.

With this work we conclude that the images coming from the smartphones that were integrated to the IAC can be used to train image classification models with higher reliability in the detection of species such as White Brush and Bridal Bouquet. Through the use of these technologies, we proposed the creation of an image classification model adaptable to mobile platforms. These could focus on helping non-expert users in the identification of tree classes existing in their environment. In addition, these models allow us to propose future work oriented to the creation of semi-automated data collection tools for the Tree Inventory of the city of Cuenca.

**Keywords:** Cuenca, EfficientNet-Lite, Tree Inventory, Convolutional Neural Networks, TensorFlow Lite.

**Funding:** This research was funded by Universidad del Azuay in the context of investigation project 2020-0125-21 denominated "Caracterización de unidades forestales a partir de datos espectrales, espaciales y de relieve a distintas escalas. Aplicación a los bosques andinos del cantón Cuenca (Ecuador) Fase 3".



# SOSTENIBILIDAD Y PLANIFICACIÓN URBANA MEDIANTE HERRAMIENTAS GIS EN CIUDADES MEDIAS: EL CASO DE LA CIUDAD DE LOS 15 MINUTOS APLICADO EN LA RED URBANA DE EXTREMADURA (ESPAÑA)

PÉREZ PINTOR, JOSÉ MANUEL

Departamento de Arte y Ciencias del Territorio, Facultad de Filosofía y Letras. Avenida de las Letras  
s/n, 10003, Cáceres (España), [jmperpin@unex.es](mailto:jmperpin@unex.es)

PÉREZ PINTOR, JUAN CARLOS

Departamento de Arte y Ciencias del Territorio, Facultad de Filosofía y Letras. Avenida de las Letras  
s/n, 10003, Cáceres (España), [pintor@unex.es](mailto:pintor@unex.es)

RUIZ LABRADOR, ENRIQUE EUGENIO

Departamento de Arte y Ciencias del Territorio, Facultad de Empresa, Finanzas y Turismo. Avenida de  
la Universidad s/n, 10003, Cáceres (España), [eruizl@unex.es](mailto:eruizl@unex.es)

**E**l proceso de concentración urbana en todas las escalas territoriales es un hecho consumado. En la actualidad, el porcentaje de la población mundial que reside en ciudades es del 56 %, cuando apenas medio siglo antes se situaba en el 37 %. En el caso español, la atracción de los espacios urbanos es aún más significativa; durante este mismo período de tiempo, la población residente en ciudades ha pasado del 37 % al 81 % (United Nations Population División, 2022). En líneas generales, esta tendencia va afianzando un desequilibrio progresivo entre los ámbitos urbanos y rurales, convirtiéndose los primeros, en los grandes activos desde el punto de vista de la dinámica poblacional y la actividad económica, frente al paulatino despoblamiento de los segundos.

En este contexto de progresiva urbanización en todo el planeta, se plantean como resultado de esta dinámica, una serie de desafíos destacados en materia medioambiental, alimentación, vivienda, seguridad y movilidad, que se incrementan de manera exponencial al tamaño de los asentamientos. Los datos más recientes sobre este proceso de concentración urbana destacan que las ciudades aglutinan tres cuartas partes de las emisiones de carbono mundiales, y absorben entre el 60 % y el 80 % de los recursos, preferentemente vinculado al consumo de energía, a pesar de ocupar menos del 5 % de la superficie terrestre. Ante esta situación, se plantea la necesidad de abordar la

puesta en marcha de un cronograma de acciones, encaminado preferentemente a la transformación del modelo socioeconómico vigente hacia un nuevo paradigma que contribuya a erradicar o mitigar estas amenazas y desigualdades.

Desde un punto de vista operativo de actuación, el Acuerdo de París de 2015 y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas, se han convertido en los pilares de referencia en la implementación de políticas conducentes a alcanzar mayores cotas de sostenibilidad, incorporando específicamente acciones dirigidas al impacto urbano y sus consecuencias. En esta línea, el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11 (en adelante ODS) de la ONU, se plantea como aspiración principal lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Para alcanzarlo, se reseñan diez metas orientadas a implementar este ODS, entre las que destaca el incremento de los procesos de urbanización inclusiva y sostenible, y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos (ODS 11.3).

En España el marco normativo de referencia alineado a estas pautas internacionales en la lucha contra el cambio climático y la progresiva descarbonización de la actividad socioeconómica a través de la eliminación de las emisiones de gases de efecto invernadero es la Ley 7/2021, de Cambio Climático y Transición Energética. En concreto, el título IV de esta recoge acciones vinculadas a la movilidad sin emisiones y el transporte, donde se indica, que los municipios españoles de más de 50.000 habitantes deberán adoptar antes de finalizar 2023 planes de movilidad urbana sostenible, que incluyan medidas de reducción de emisiones resultantes de los desplazamientos dentro de los propios contextos urbanos (Artículo 14.3). De manera excepcional, deberá aplicarse esta misma circunstancia, en el caso de los municipios de más de 20.000 habitantes, que superen los límites de emisión de contaminantes fijados en la normativa reguladora de 2011 (Real Decreto 102/2011). Entre las medidas más destacadas recogidas en la ley, figuran el establecimiento de zonas de bajas emisiones (en adelante ZBE) y la promoción de los desplazamientos peatonales, en bicicleta u otros medios de transporte activo, que favorezcan los hábitos de vida más saludables.

Como resultado de todos estos acuerdos, iniciativas y desarrollos normativos surgen nuevos planteamientos con los que fomentar una sociedad más sostenible y racional con el uso de los recursos naturales. Entre los ejemplos más relevantes se debe considerar la definición de la denominada como ciudad de proximidad (OMAU, 2015; Fortes, 2021) y más recientemente, el concepto de la ciudad de los 15 minutos o del cuarto de hora (Moreno *et al.*, 2021; Lamíquiz *et al.*, 2022). Estos conceptos que abogan por facilitar a toda la población demandante el acceso equitativo a todos los servicios y equipamientos esenciales dentro de la ciudad (atención médica, trabajo, comercio, educación, ocio, principalmente), en un rango de tiempo aproximado de acceso de 15 minutos (entre 750 y 1000 metros a pie), buscan minimizar el uso del vehículo privado en los entornos urbanos en favor de los desplazamientos de carácter más saludable, minimizando de manera directa el impacto de la huella de carbono generada. Todas estas iniciativas son resultado de aplicar el principio de “cronourbanismo” según el cual, la calidad de vida de los residentes en un núcleo urbano es inversamente proporcional a la cantidad de tiempo invertida en los desplazamientos de carácter cotidiano.

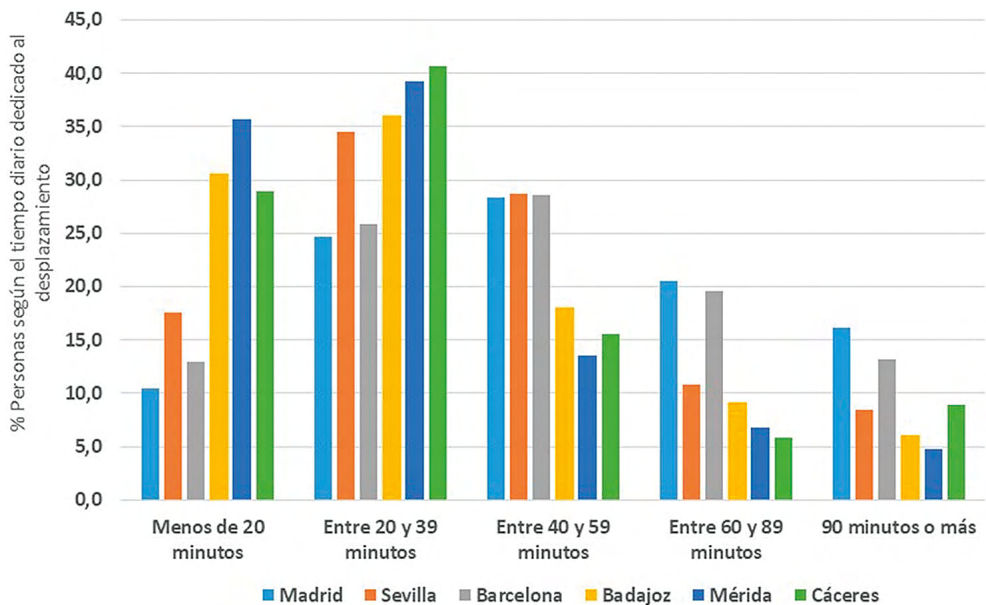
Considerando que ya contamos con algunos ejemplos de aplicación de estos conceptos en diferentes ciudades como París, Chile, o Málaga (Correa *et al.*, 2022; Garnier, 2020; Marín y Palomares, 2020), el objetivo principal de esta contribución se centra en evaluar la incidencia de este modelo a través de la utilización de herramientas GIS en una serie de ciudades de tamaño medio, y analizar su posicionamiento desde el punto de vista de la sostenibilidad y calidad de vida de sus residentes, con respecto a las aglomeraciones urbanas más pobladas. Para ello, la metodología aplicada ha tomado como referencia la población empadronada el último año en estas ciudades, y a partir de estos datos, se ha calculado el tiempo de desplazamiento necesario desde el lugar de residencia a los diferentes tipos de equipamientos y servicios considerados de interés cotidiano preferente (alimentación, asistencia sanitaria, educación, actividad laboral y ocio). A continuación, los datos individuales se han agrupado por barrios, calculando el valor medio correspondiente para cada caso, y obteniendo finalmente su correspondiente cartografía de referencia a escala para cada ciudad analizada.

Por lo que respecta a la definición del área de estudio, este trabajo tiene como finalidad desarrollar el objetivo planteado anteriormente, a través del análisis de la implantación del modelo de la ciudad de proximidad o de 15 minutos, en el contexto de la Comunidad Autónoma de Extremadura (España). Atendiendo a la dificultad relativa a la identificación de qué asentamientos se han de considerar como ciudades, se optó, en primer lugar, por utilizar el criterio fijado por ONU-Hábitat, consensuado con otras organizaciones internacionales, donde se concluye que deben contar con una población de, al menos, 50.000 habitantes y más de 1.500 habitantes por km<sup>2</sup>. A tenor de esta circunstancia y considerando que los municipios extremeños no cumplen con este requisito, se optó, en segundo lugar, por seleccionar aquellos municipios localizados en la región extremeña con una población superior a 50.000 habitantes, independientemente de su densidad, como se indica de forma preferente en la Ley española de cambio climático para la aplicación de medidas de sostenibilidad, siendo seleccionados, por tanto, los núcleos de Badajoz, Cáceres y Mérida.

A partir de los resultados preliminares obtenidos, se pone de manifiesto que en el contexto de proximidad (o 15 minutos de desplazamiento) las ciudades de Badajoz, Cáceres y Mérida presentan una buena accesibilidad a los principales equipamientos y servicios, salvo determinadas excepciones, como sucede en los accesos al trabajo, determinados centros de estudio, o atención sanitaria de tipo hospitalario. El tamaño actual y el proceso de evolución urbana acontecido durante los últimos siglos, heredero de la tradicional ciudad mediterránea, favorece en gran medida los valores resultantes. Si nos fijamos en el tiempo destinado diariamente al acceso a los motivos obligados (trabajo y estudio atendiendo a la Figura 1), se corrobora cómo las ciudades extremeñas se posicionan en un lugar privilegiado en comparación con las más pobladas de España (Madrid, Barcelona o Sevilla), al presentar de media una proporción más abundante de ciudadanos que dedica un máximo de 20 minutos a estos desplazamientos. En el conjunto urbano regional, las debilidades más significativas se revelan como consecuencia de los nuevos desarrollos urbanos de carácter funcional desplegados durante las últimas décadas del siglo XX y principios del XXI, donde los polígonos residenciales y la localización periférica de equipamientos comerciales, hospitalarios y educativos, fundamentalmente de índole universitaria, han

sido deslocalizados al extrarradio de las ciudades. Como resultado de este proceso, se pone de manifiesto un incremento del tiempo de desplazamiento medio superior a los 15-20 minutos, incentivando el uso del vehículo privado, como sucede de manera más acentuada en las ciudades de Badajoz y Cáceres, especialmente en esta última. No obstante, al margen de determinados desajustes, se puede afirmar que las ciudades extremeñas se posicionan en un lugar preferente desde el punto de vista de la implantación de modelos más sostenibles, exteriorizando así la importancia de las ciudades de tamaño medio como ejes vertebradores ideales desde el punto de vista de la gestión y planificación territorial entre los ámbitos rurales en decadencia y las grandes urbes metropolitanas.

*Figura 1. Porcentaje de personas de 16 años o más según el tiempo diario dedicado al desplazamiento al lugar de trabajo/estudio por grupo de edad y ciudad de residencia.*



Fuente: Encuesta de Características Esenciales de la Población y las Viviendas 2021. Elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística.

## BIBLIOGRAFÍA

- Correa Parra, J., Vergara Perucich, F. & Aguirre Núñez, C. (2022). La ciudad de 15 minutos en Chile: análisis empírico para Gran Santiago, Concepción y Valparaíso. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 15. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu15.cmca>
- Fortes Martín, A. (2021). La ciudad de proximidad y el disfrute de la vida urbana como intangible jurídico. *Práctica urbanística: Revista mensual de urbanismo*, 173.
- Garnier, M. (2020). *La Ville du ¼ d'heure. Du concept à la mise en oeuvre*. Paris: Université Paris 1 Panthéon Sorbonne.



- Gobierno de España – Ministerio de la Presidencia (2011). Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. *Boletín Oficial del Estado (BOE)*, 25. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-1645-consolidado.pdf>
- Gobierno de España (2021). Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. *Boletín Oficial del Estado (BOE)*, 121, 62009-62052. <https://www.boe.es/boe/dias/2021/05/21/pdfs/BOE-A-2021-8447.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística (2022). Encuesta de Características Esenciales de la Población y las Viviendas, 2021. INE. España. <https://www.ine.es/dynt3/inebase/es/index.htm?padre=8981>
- Lamíquiz Daudén, P.J., Carpio Pinedo, J. & Benito Moreno, M. (2022). Genealogía de la ciudad de 15 minutos: aproximación a los conceptos. *Cuaderno de Investigación Urbanística*, 142, 29-39. <https://doi.org/10.20868/ciur.2022.142.4885>
- Marin Cots, P. & Palomares Pastor, M. (2020). En un entorno de 15 minutos. Hacia la ciudad de proximidad, y su relación con el Covid-19 y la crisis climática: el caso de Málaga. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 205, 685-700. <https://doi.org/10.37230/CyTET.2020.205.13.3>
- Moreno, C., Allam, Z., Chabaud, D., Gall, C. & Pralong, F. (2021). Introducing the “15-Minute City”: Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities. *Smart Cities*, 4, 93-111. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010006>
- Observatorio de Medio Ambiente Urbano, OMAU (2015). *Agenda urbana en la estrategia de sostenibilidad 2020-2050*. Ayuntamiento de Málaga.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 32. [https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022\\_summary\\_of\\_results.pdf](https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf)

**Palabras clave:** GIS, Ciudad-compacta, 15-minutos, Sostenibilidad.

## Sustainability and urban planning through GIS tools in medium-sized cities: the case of the 15-minute city applied in the urban network of Extremadura (Spain)

The process of urban concentration at all territorial scales is an accomplished fact. Currently, the 56% of the inhabitants of the world are located in urban environments, when just half a century earlier it stood at 37%. In Spain, the attraction of urban spaces is even more significant; during this same period, the population residing in cities has gone from 37% to 81% (United Nations Population Division, 2022). In general terms, this trend is consolidating a progressive imbalance between urban and rural areas, becoming the urban ones in the great assets from the point of view of population dynamics and economic activity, compared to the gradual depopulation of the rural environments.

In the context of constant urban growth throughout the planet as a result of this dynamic, a series of outstanding challenges arise in terms of environment, food, housing, security and mobility, which increase exponentially with the size of the settlements. The most recent data on this process highlight that cities account for three quarters

of global carbon emissions and absorb from 60% to 80% of the resources, preferably linked to energy consumption, despite occupying less than 5% of the earth's surface. Given this situation there is a need to address the implementation of a schedule of actions, preferably aimed at transforming the current socioeconomic model into a new paradigm that contributes to eradicating or mitigating these threats and inequalities.

From an operational point of view of action, the 2015 Paris Agreement and the United Nations 2030 Agenda for Sustainable Development have become the reference tasks in the implementation of policies leading to achieving higher levels of sustainability, specifically incorporating actions aimed at urban impact and its consequences. For it, the UN's Sustainable Development Goal 11 (hereinafter SDG) sets out as the main aspiration to make cities more inclusive, safe, resilient and sustainable. To achieve this, ten goals are outlined aimed at implementing this SDG, among which the increase in inclusive and sustainable urbanization processes stands out, and the capacity for participatory, integrated and sustainable planning and management of human settlements (SDG 11.3).

In Spain, the regulatory framework of reference aligned with these international guidelines in the fight against climate change and the progressive decarbonization of socioeconomic activity through the elimination of greenhouse gas emissions is Law 7/2021, on Climate Change and Energy Transition. Specifically, the title IV includes actions related to mobility without emissions and transport and it indicates that Spanish municipalities with more than 50,000 inhabitants must adopt before the end of 2023 sustainable urban mobility plans, which include reduction measures of emissions resulting from displacements within the urban contexts themselves (Article 14.3). Exceptionally, this same circumstance must be applied in the case of municipalities with more than 20,000 inhabitants, which exceed the pollutant emission limits set in the 2011 regulatory regulations (Royal Decree 102/2011). Among the most notable measures included in the law are the establishment of low emission zones (hereinafter ZBE) and the promotion of pedestrian, bicycle or other means of active transport, which favour healthier lifestyle habits.

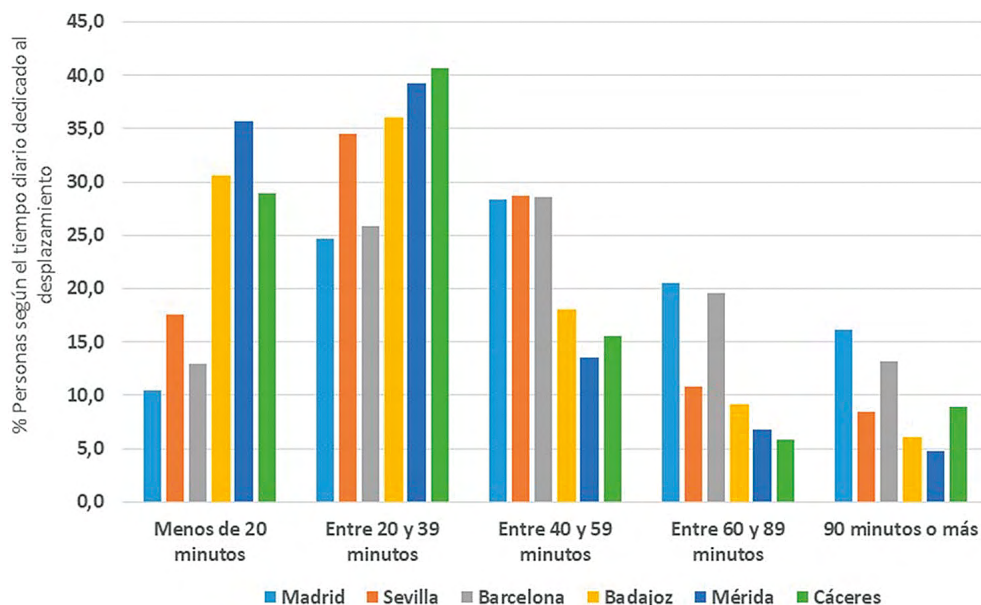
As a result of all these agreements, initiatives and regulatory developments, new approaches arise with which to promote a more sustainable and rational society with the use of natural resources. Among the most relevant examples should be considered the case of the definition of the so-called proximity city (OMAU, 2015; Fortes, 2021) and more recently, the concept of the city of 15 minutes or quarter of an hour (Moreno *et al.*, 2021; Lamiquiz *et al.*, 2022). These concepts that advocate facilitating equitable access to all the demanding population to all essential services and equipment within the city (medical care, work, commerce, education, leisure, mainly) in an approximate access time range of 15 minutes (between 750 and 1000 meters on foot), seek to minimize the use of private vehicles in urban environments in favour of healthier journeys, directly minimizing the impact of the carbon footprint generated. They are the result of applying the principle of "chronourbanism" according to which the quality of life of residents in an urban centre is inversely proportional to the amount of time invested in commuting of a everyday.

Considering that we already have some examples of the application of these concepts in different cities such as Paris, Chile, or Malaga (Correa *et al.*, 2022; Garnier, 2020; Marín and Palomares, 2020), the main objective of this contribution focuses on to evaluate the incidence of this model through the use of GIS tools in a series of

medium-sized cities, and to analyse its position from the point of view of sustainability and quality of life of its residents, with respect to the largest urban agglomerations populated. For this, the applied methodology has taken as a reference the population registered in the last year in these cities, and based on these data, the necessary travel time from the place of residence to the different types of facilities and services considered of interest has been calculated. preferred daily life (food, health care, education, work activity and leisure). Next, the individual data have been grouped by neighbourhoods, calculating the corresponding average value for each case, and finally obtaining its corresponding reference cartography at scale for each city analysed.

Regarding the definition of the study area, this work aims to develop the objective set out above, through the analysis of the implementation of the model of the city of proximity or 15 minutes, in the context of the Autonomous Community of Extremadura (Spain). Given the difficulty relating to the identification of which settlements are to be considered as cities, it was first decided to use the criteria set by UN-Habitat, agreed upon with other international organizations, where it is concluded that they must have a population of at least less than 50,000 inhabitants and more than 1,500 inhabitants per square kilometres. In view of this circumstance and considering that Extremadura municipalities do not meet this requirement, secondly, it was decided to select those municipalities located in the Extremadura region with a population of more than 50,000 inhabitants regardless of their density, as indicated preferentially. in the Spanish Climate Change Law for the application of sustainability measures, therefore, the cities of Badajoz, Cáceres and Mérida were selected.

*Figure 1. Percentage of people aged 16 or over, according to the daily time trips dedicated to study or work by age group and residence location.*



Source: Essential Characteristics of the Population and Housing Survey in 2021. Own elaboration with data of the Statistics National Institute.

Based on the preliminary results obtained, in the context of proximity (or 15-minute drive) the cities of Badajoz, Cáceres and Mérida present good accessibility to the main facilities and services, with certain exceptions: access to work, certain study centres, or hospital-type health care. The current size and the process of urban evolution that has taken place in recent centuries, heir to the traditional Mediterranean city, greatly favours the resulting values. If we look at the daily time to accessing obligatory reasons (work and study according to Figure 1), it is corroborated how Extremadura cities are positioned in a privileged place compared to the most populated in Spain (Madrid, Barcelona or Seville), presenting on average a more abundant proportion of citizens who spend a maximum of 20 minutes on these journeys. In the regional urban complex, the most significant weaknesses are revealed as a consequence of the new urban developments of a functional nature deployed during the last decades of the 20th century and the beginning of the 21st, where residential estates and the peripheral location of commercial, hospital and educational facilities (like a university nature), have been relocated to the outskirts of cities. As a result of this process, an increase in the average travel time of more than 15-20 minutes is revealed, encouraging the use of owner cars, as the case occurred in the cities of Badajoz and Cáceres, especially the last one. However, apart from certain imbalances, it can be said that the cities of Extremadura are positioned in a preferential place from the point of view of the implementation of more sustainable models, thus externalizing the importance of medium-sized cities as ideal backbones from the point of view of territorial management and planning between rural areas in decline and large metropolitan cities.

**Keywords:** GIS, Compact city, 15 minutes city, Sustainability.

# METODOLOGÍA SIG PARA EL CÁLCULO DE ZONAS CLIMÁTICAS LOCALES

PICONE, NATASHA

MURCS, Glasgow Caledonian University, Glasgow, Reino Unido, [npicon200@caledonian.ac.uk](mailto:npicon200@caledonian.ac.uk)  
Instituto de Geografía Historia y Ciencias Sociales UNCPBA/CONICET y  
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires-FCH-CIG, Pinto 399, Tandil (7000),  
Argentina, [npicone@fch.unicen.edu.ar](mailto:npicone@fch.unicen.edu.ar)

ESPOSITO, ANTONIO

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali, University of Salento, S.P. 6  
Lecce-Monteroni, 73100 Lecce, Italia, [antonio.esposito@unisalento.it](mailto:antonio.esposito@unisalento.it)

PALUSCI, OLGA

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali, University of Salento, S.P. 6  
Lecce-Monteroni, 73100 Lecce, Italia, [olga.palusci@unisalento.it](mailto:olga.palusci@unisalento.it)

EMMANUEL, ROHINTON

School of Computing, Engineering and Built Environment, Glasgow Caledonian University,  
Glasgow, Reino Unido, [Rohinton.Emmanuel@gcu.ac.uk](mailto:Rohinton.Emmanuel@gcu.ac.uk)

BUCCOLIERI, RICCARDO

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali, University of Salento, S.P. 6  
Lecce-Monteroni, 73100 Lecce, Italia, [riccardo.buccolieri@unisalento.it](mailto:riccardo.buccolieri@unisalento.it)

Las Zonas Climáticas Locales (ZCL) es una metodología desarrollada por Stewart y Oke (2012) originalmente para describir el área urbana en donde las mediciones meteorológicas se realizan. En los últimos años, ha sido utilizada principalmente para la caracterización de las zonas urbanas y sus particularidades en la morfología urbana. Stewart y Oke (2012) presentan 10 clases urbanas y 7 naturales, cada una de ellas se la caracteriza con parámetros morfológicos y de cobertura, en su propuesta presenta la posibilidad de combinar clases. En relación a las 10 clases urbanas, las tres primeras presentan altas densidades de superficie construida con tres alturas diferentes (altas -1-, medias -2- y bajas -3-); las tres siguientes presentan menores densidades manteniendo las tres clases en altura (altas -4-, medias -5- y bajas -6-); la ZCL 7 se refiere a asentamiento informales con materiales livianos; la ZCL 8 presenta grandes complejos de galpones asociados a actividades comerciales e industriales; la ZCL 9 son áreas de muy baja densidad de construcción con baja altura dominadas por áreas naturales; finalmente la ZCL 10 está asociada a actividades industriales. En cuanto a las ZCL naturales: A para bosques densos; B para bosques dispersos; C para arbustos; D para plantas bajas o producción agrícola;

E para áreas con suelo desnudo o rocas; F para áreas con arena; y G para zonas con agua. La escala local es central para la clasificación ya que la superficie ocupada por cada zona no puede tener menos de 400 metros cuadrados (Stewart & Oke 2012).

WUDAPT es una iniciativa que pretende instalar las ZCL y crear una base de datos de ciudades a nivel mundial para poder generar información relevante para los tomadores de decisiones en relación con la climatología urbana (Ching *et al.*, 2018; Bechtel *et al.*, 2019). En este sentido, esta metodología se basa en la utilización de imágenes satelitales Landsat, el conocimiento de las ciudades de los expertos locales, las potencialidades del Google Earth y los SIG para generar productos. El protocolo tiene tres niveles de clasificaciones según la información que se puede derivar de ella: nivel 0, la clasificación base; nivel 1 con datos de morfología urbana; nivel 2 con datos precisos sobre materiales y albedos. A partir de este proyecto internacional se ha desarrollado el LCZ generator (Demuzere *et al.*, 2021b; Demuzere *et al.*, 2021a) que permite la generación de los mapas de ZCL utilizando el Google Earth Engine y continúa basándose en el conocimiento de los expertos locales. Actualmente existen productos regionales y globales que se han desarrollado a partir de estas metodologías.

Este trabajo presenta una metodología que genera mapas de ZCL para lo cual se desarrollan diferentes etapas. En primer lugar, se obtuvieron datos de fuentes oficiales de la Puglia del Consorcio de Datos Territoriales (Condivisione della Conoscenza per il Governo del Territorio 2023), y se seleccionaron: áreas con cobertura vegetal, áreas edificadas y puntos de altura. A partir de estos se calcularon en QGIS diferentes parámetros urbanos tanto de cobertura como de morfología. En cuanto a los datos de cobertura se calcularon: Factor de Superficie Edificada (superficie ocupada por edificaciones sobre el total del área); Factor de Superficie Permeable (superficies verdes sobre superficie total) y Factor de Superficie Permeable (se obtuvo restando a la superficie total la suma de superficies verdes y edificadas). Los parámetros de morfología urbana se generaron: Altura Media de las edificaciones (se calculó la diferencia entre el punto de base de cada edificio y el valor de altura sobre superficie); el Factor de Visibilidad (se utilizó la herramienta del complemento UMEP-Sky View Factor, con los datos de edificación y altura) por último, utilizando el último producto se generó el Aspect Ratio (relación entre la altura de las edificaciones y el ancho de la calle). A continuación, se creó una malla de 10×10 km con celdas de 100×100 metros de dimensión; utilizando la herramienta de Estadística Zonal, se calculó el valor medio de cada uno de esos seis parámetros para cada celda. Se determinaron los rangos correspondientes de cada parámetro para cada ZCL utilizando los propuestos por Stewart y Oke (2012), los cuales se incorporaron a un código python que permite la generación del mapa de ZCL dentro de QGIS. Este código genera tres iteraciones de clasificación, determinando según los parámetros cuáles son las dos clases mayoritarias en cada celda. Esta metodología ya ha sido testeada en diferentes ciudades italianas (Esposito *et al.*, 2023) y este trabajo se centra en presentar otro caso de aplicación en una ciudad media italiana. Finalmente, es importante destacar que esta clasificación se centra en las clases construidas de las ZCL, por lo tanto, las clases de cobertura natural solo se presentan como una zona extraurbana. El caso seleccionado para la aplicación de esta metodología es la ciudad de Brindisi, localizada en la región de la Puglia en el sur de Italia. Dicha área urbana es capital de la provincia de Brindisi y tiene costa sobre el mar Adriático. La ciudad

presenta un clima mediterráneo con veranos calurosos y secos e inviernos frescos; con una población total de 83317 habitantes (Istituto Nazionale di Statistica 2017) y con una importante actividad portuaria e industrial.

El mapa resultado muestra que el área de estudio presenta mayormente zonas de cobertura natural, incluidas en ellas las áreas de producción agrícola que rodea la ciudad, principalmente de frutales. En cuanto a las ZCL construidas se destaca que no existen clases 1 y 4, las cuales representan zonas de edificaciones muy altas (más de 10 pisos). Se observa que las clases de mediana altura, tanto densas (2) como dispersas (5), representan el 28 % de las superficies construidas; las de baja altura, densas (3) y dispersas (6) son las de mayor superficie con el 40 %; las ZCL 8 (grandes superficies con galpones) y 10 (industrias) ocupan el 20 %; por último, el 12 % restante lo ocupan ZCL 9, de construido extremadamente disperso. La corroboración de la clasificación se hizo de manera manual (por corroboración visual) y la mayoría de los resultados en áreas urbanas densas son excelentes. Los mayores problemas se presentan en la clasificación de la ZCL 8 y 10. En estos casos particulares, se corroboró que la clasificación de la segunda mayoría son las más adecuadas para el área. Esto demuestra la necesidad de realizar pequeños ajustes en el código. Por otro lado, se realizó una validación del mapa con el producto de ZCL generado por el proyecto WUDAPT para Europa. Esto demostró una precisión superior al 70 %. Los mapas de ZCL son de gran importancia para poder comunicar resultados de manera comparable no sólo en el campo de climatología urbana sino para todos los estudios de ambiente urbano. Esto se debe a que los parámetros que reflejan cada una de las ZCL son relevante para diferentes áreas como la hidrología urbana, la biogeografía y la bioclimatología. Todas ellas siempre teniendo en cuenta la escala local de la clasificación.

En el caso particular de la metodología propuesta en este trabajo tiene la particularidad de realizar la clasificación teniendo en cuenta los parámetros originales de las ZCL planteadas por Stewart y Oke (2012). Si bien los resultados pueden ser mejorados, la cantidad de información que contiene este mapa es mayor que las resultantes de los procesos de clasificación mediante imágenes satelitales. En este caso se avanza sobre el nivel de datos del proyecto WUDAPT del 0 al 1.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bechtel, B., Alexander, P.J., Beck, C., Böhner, J., Brousse, O., Ching, J., Demuzere, M., Fonte, C., Gál, T. & Hidalgo, J. (2019). Generating WUDAPT Level 0 data – Current status of production and evaluation. *Urban Climate*, vol. 27, pp. 24-45.
- Ching, J., Mills, G., Bechtel, B., See, L., Feddema, J., Wang, X., Ren, C., Brousse, O., Martilli, A. & Neophytou, M. (2018). WUDAPT: An urban weather, climate, and environmental modeling infrastructure for the anthropocene. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 99, no. 9, pp. 1907-1924.
- Condivisione della Conoscenza per il Governo del Territorio (2023). *Puglia.con*. Available from: <http://www.sit.puglia.it/>.
- Demuzere, M., Kittner, J. & Bechtel, B. (2021a). LCZ Generator: a web application to create Local Climate Zone maps. *Frontiers in Environmental Science*, vol. 9, pp. 637455.
- Demuzere, M., Kittner, J. & Bechtel, B. (2021b). LCZ Generator: online tool to create Local Climate Zone maps Anonymous. *EGU General Assembly Conference Abstracts*.



- Esposito, A., Grulois, M., Pappaccogli, G., Palusci, O., Donateo, A., Salizzoni, P., Santiago, J.L., Martilli, A., Maffei, G. & Buccolieri, R. (2023). On the Calculation of Urban Morphological Parameters Using GIS: An Application to Italian Cities. *Atmosphere*, vol. 14, no. 2, p. 329.
- Istituto Nazionale di Statistica (2017). *Popolazione residente: Puglia*. Available from: <http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=18550>.
- Stewart, I.D. & Oke, T.R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 93, no. 12, pp. 1879-1900.

**Palabras clave:** Zonas Climáticas Locales, SIG, Python, climatología urbana.

**Agradecimientos:** Natasha Picone agradece a la Comisión Europea por financiar la realización del Master in Urban Climate and Sustainability (MURCS). Glasgow Caledonian University, Glasgow, Escocia; LAB Applied Sciences, Lahti, Finlandia, Universidad de Huelva, Huelva, España y HTW, Dresden, Alemania.

Antonio Esposito reconoce la financiación de su Doctorado por parte del Ministerio Italiano de Universidad e Investigación (MUR) mediante el PON "Ricerca e Innovazione 2014-2020 – Asse IV" –Curso de Doctorado en "Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali"– XXXVII cycle-University of Salento.

Olga Palusci reconoce a la Región de la Apulia por financiar su trabajo en el marco del programa regional RIPARTI en la Universidad de Salento (Número de identificación 32251bed).

## GIS Methodology for the calculation of Local Climatic Zones

Local Climate Zones (LCZ) is a methodology developed by Stewart and Oke (2012) originally to describe the urban area where meteorological measurements are made. In recent years, it has been used mainly for the characterization of urban areas and their particularities in urban morphology. Stewart and Oke (2012) present 10 build-ups and 7 cover natural classes, each of them characterized by morphological and coverage parameters; their proposal presents the possibility of combining classes. About the 10 build-up classes, the first three have high densities of a built surface with three different heights (high –1–, medium –2– and low –3–); the next three have lower densities maintaining the three classes in height (high –4–, medium –5– and low –6–); LCZ 7 refers to informal settlements with lightweight materials; LCZ 8 has large complexes of warehouses associated with commercial and industrial activities; LCZ 9 are areas of very low building density with low height dominated by natural areas; finally, LCZ 10 is associated with industrial activities. For natural LCZs: A for dense forests; B for dispersed forests; C for shrubs; D for low plants or agricultural production; E for areas with bare soil or rocks; F for sand; and G for water. The local scale is central to the classification since the area occupied by each zone cannot be less than 400 square meters (Stewart, Oke 2012).



WUDAPT is an initiative that aims to install the LCZ and create a database of cities worldwide to generate relevant information for decision-makers concerning urban climatology (Ching *et al.*, 2018; Bechtel *et al.*, 2019). In this sense, this methodology is based on the use of Landsat satellite images, the knowledge of local experts, and the potential of Google Earth and GIS to generate products. The project has three levels of classifications according to the information that can be derived from it: level 0, the base classification; Level 1 with urban morphology data; Level 2 with accurate data on materials and albedos. From this international protocol, the LCZ generator (Demuzere *et al.*, 2021b; Demuzere *et al.*, 2021a) has been developed, which allows the generation of LCZ maps using the Google Earth Engine and continues to rely on the knowledge of local experts. There are currently regional and global products that have been developed from these methodologies.

This work presents a methodology that generates LCZ maps for which different stages are developed. First, data were obtained from official sources of Puglia from the Territorial Data Consortium (Condivisione della Conoscenza per il Governo del Territorio 2023), and selected: areas with vegetation cover, built-up areas, and height points. From these, different urban parameters of both coverage and morphology were calculated in QGIS. Regarding the coverage data, the following were calculated: Built-up Surface Factor (area occupied by buildings over the total area); Permeable Surface Factor (green surfaces over the total surface), and Permeable Surface Factor (it was generated by subtracting green and built-up surfaces from the total area). Concerning the urban morphologies parameters were generated: Average Height of the Buildings (using the difference between the base points of each building and the height value on the surface was calculated); the Sky View Factor (the UMEP-Sky View Factor add-on tool was used, with the building and height data) finally, using the last product, the Aspect Ratio (relationship between the height of the buildings and the width of the street) was generated. Next, a 10×10 km mesh with cells of 100×100 meters in dimension was created; using the Zonal Statistics tool, the mean value of the six parameters for each cell was calculated. The corresponding ranges of each parameter for each LCZ were determined using those proposed by Stewart and Oke (2012), which were incorporated into a Python code that allows the generation of the LCZ map within QGIS. This code generates three iterations of classification, determining according to the parameters which are the two majority classes in each cell. This methodology has already been tested in different Italian cities (Esposito *et al.*, 2023) and this work focuses on presenting another case of application in an average Italian city. Finally, it is important to note that this classification focuses on the built-up classes, therefore, the natural cover classes are only presented as an extra-urban area.

The case selected case for the application of this methodology is the city of Brindisi, located in the region of Puglia in southern Italy. This urban area is the capital of Brindisi province and has a coastline on the Adriatic Sea. The city has a Mediterranean climate with hot, dry summers and cool winters; a total population of 83317 inhabitants (Istituto Nazionale di Statistica 2017), and an important port and industrial activity.

The resulting map shows that the study area presents mostly natural cover areas, including the areas of agricultural production surrounding the city, mainly fruit trees. As for the LCZ built-up, it is noteworthy that there are no classes 1 and 4, which represent areas of very tall buildings (more than 10 floors). It is observed that the classes of medium height, both dense (2) and dispersed (5), represent 28% of the

built-up surfaces; those of low height, dense (3) and dispersed (6) are the ones with the largest surface with 40%; ZCL 8 (warehouses) and 10 (industries) occupy 20%; finally, the remaining 12% is occupied by ZCL 9, which is sparsely built areas. Classification corroboration was done manually (by visual corroboration) and most results in the urban areas are excellent. The biggest problems arise in the classification of LCZ 8 and 10. In these particular cases, it was corroborated that the classification of the second majority is the most appropriate for the area. This demonstrates the need to make small adjustments to the code. On the other hand, a map validation was carried out with the LCZ product generated by the WUDAPT project for Europe. This demonstrated an accuracy of more than 70%.

LCZ maps are of great importance to be able to communicate urban climate results comparably not only in the field of urban climatology but for all urban environment studies. This is because the parameters reflected in each LCZ are relevant to different areas such as urban hydrology, biogeography, and bioclimatology. All of them always take into account the local scale of the classification.

In the particular case of the methodology proposed in this work, it has the particularity of making the classification taking into account the original parameters of the LCZ proposed by Stewart and Oke (2012). Although the results can be improved, the amount of information contained in this map is greater than that resulting from classification processes using satellite imagery. Our process, therefore, is an advancement on the WUDAPT data level from level 0 to 1.

**Keywords:** Local Climate Zones, GIS, Python, urban climate.

**Acknowledgement:** Natasha Picone acknowledged the European Commission for funding the Master in Urban Climate and Sustainability (MURCS). Glasgow Caledonian University, Glasgow, Scotland; LAB Applied Sciences, Lahti, Finland; Universidad de Huelva, Huelva, Spain, and HTW, Dresden, Germany Antonio Esposito acknowledges the Ph.D. financial support of the Italian Ministry of University and Research (MUR) by the PON "Ricerca e Innovazione 2014-2020 – Asse IV" –Ph.D. course in "Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali"– XXXVII cycle-University of Salento.

Olga Palusci acknowledges the Apulia Region for supporting her research work within the framework of the regional program RIPARTI at the University of Salento (grant number 32251bed).

# DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DO CENTRO INTERIOR DE PORTUGAL PARA O TURISMO DE NATUREZA COM RECURSO A UM SISTEMA ESPACIAL DE APOIO À DECISÃO

QUINTA-NOVA, LUÍS

Instituto Politécnico de Castelo Branco, Quinta da Senhora de Mércules, Castelo Branco  
6000-084, Portugal

O Turismo de Natureza pode contribuir para a conservação dos valores ambientais e para o desenvolvimento de sinergias positivas entre os agentes do sector do turismo, os turistas e a população local. O Turismo de Natureza, como prática alternativa de turismo, envolve a visita a espaços naturais para vivenciar a simbiose entre os recursos naturais, a herança cultural e o modo de vida rural. Trata-se de um tipo de turismo que procura cenários que permitam ao turista satisfazer curiosidades e aprender sobre a paisagem, a flora, a fauna ou os habitats locais, e o envolvimento com maior proximidade com a comunidade local. O crescente interesse por ofertas turísticas de baixo impacto ambiental, que suportem a economia local, traduzem-se numa vantagem competitiva para os territórios de baixa densidade. Com base neste princípio, no âmbito do presente estudo, pretende-se avaliar o potencial dos recursos naturais e rurais existentes na região da Beira Interior. A região da Beira Interior é uma divisão administrativa do Centro Interior de Portugal que inclui duas sub-regiões principais: Beira Baixa e Beiras/Serra da Estrela. Esta região abrange uma área de 10.919 km<sup>2</sup> e possui uma população de 325.086 habitantes. Este território é maioritariamente ocupado por floresta, usos agroflorestais e terras agrícolas, podendo ancorar a criação de produtos turísticos sustentáveis. Apesar do inegável interesse na realização de estudos que permitam determinar um índice agregado de aptidão para o desenvolvimento do Turismo de Natureza através da Análise Espacial Multicritério de Decisão, ainda não existem estudos realizados em Portugal. Este estudo teve como objetivo analisar o potencial para a prática de atividades de Turismo de Natureza nos 21 concelhos que integram a região da Beira Interior. Foi utilizada a ferramenta de análise espacial multicritério –Processo Analítico Hierárquico (AHP)– em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), integrando diferentes fatores biofísicos e humanos do território para a produção de mapas de aptidão. O método AHP consiste em quatro fases essenciais: geração de critérios e análise espacial, normalização e avaliação de adequação. A seleção dos critérios, para determinar a aptidão do território

em causa para a prática de atividades de Turismo de Natureza, considerou todos os fatores de atração para a realização de atividades de natureza, bem como a existência de infraestruturas e equipamentos que permitam um melhor aproveitamento do território. Os critérios selecionados resultaram da pesquisa bibliográfica realizada, consulta a especialistas, tendo em consideração os objetivos do estudo. Uma base de dados espacial foi criada para incluir todas as camadas vetoriais e matriciais, e modelos de dados. Todas os temas espaciais foram preparados no software ArcGIS 10.8. Todos os critérios incluídos na análise tiveram que ser normalizados. Deste modo, todas os temas vetoriais foram convertidos para formato matricial e o comando reclassificar do ArcGIS foi usado para normalizar, atribuindo valores inteiros para cada critério. Uma matriz de comparação par-a-par foi criada usando uma escala de 1 a 9 de modo a determinar a importância relativa de cada critério, na qual 1 corresponde a igual importância e 9 a extrema importância de um critério relativamente a outro. A aplicação deste método permitiu identificar os municípios com maior potencial para o Turismo de Natureza com base nos recursos naturais, designadamente o valor de conservação da natureza, a riqueza de espécies vegetais e animais, o valor geológico, a disponibilidade de recursos hídricos, a diversidade paisagística, o valor paisagístico, e o grau de hemerobia, e incorporando informação relativa às infraestruturas que suportam a oferta turística, nomeadamente a rede viária, a oferta de alojamento e oferta de percursos na natureza. Os resultados revelam que a região tem uma aptidão elevada para atividades de Turismo de Natureza, dado o importante património natural. Os concelhos com maior aptidão para o desenvolvimento do Turismo de Natureza são Castelo Branco, Idanha-a-Nova, Covilhã, Seia, Sabugal e Almeida. Estes municípios caracterizam-se por possuírem paisagens de elevado valor, caracterizadas pela predominância de usos agrosilvopastoris, aliadas a níveis assinaláveis de diversidade e valor animal e vegetal, bem como pela presença de sítios de interesse geoturístico. Também o maior potencial do território coincide com as áreas naturais protegidas, como o Parque Natural do Tejo Internacional, o Parque Natural da Serra da Estrela e a Reserva Natural da Serra da Malcata, o que revela que as medidas de proteção e conservação da natureza têm um efeito benéfico na proteção dos valores naturais. Estes são recursos importantes que devem ser valorizados, sendo o turismo uma atividade que poderá ter um impacto positivo na geração de rendimentos para a sua conservação. Embora exista uma pequena percentagem de território com baixo potencial para o Turismo de Natureza, é importante destacar o facto de se tratar de um território com baixo valor paisagístico onde a floresta de produção, onde predomina o eucaliptal e o pinhal na paisagem. O que se traduz-se numa baixa aptidão para práticas de Turismo de Natureza. Áreas de moderada aptidão merecem atenção especial, principalmente na adequação das medidas de conservação da natureza decorrentes das atividades antrópicas. Os resultados também são influenciados pelo baixo nível de acessibilidade local. Esta é uma característica particular deste destino transfronteiriço, onde a densidade de empreendimentos, a oferta cultural e os serviços de saúde ou educativos são baixos. Contrariando esta realidade, o Turismo de Natureza pode contribuir para o desenvolvimento desta região e atrair novos investimentos, como mostram estudos anteriores. A abordagem AHP/SIG revelou-se adequada na avaliação da aptidão para o desenvolvimento de atividades de Turismo de Natureza na região da Beira Interior, uma vez que permite integrar vários critérios como a extensão de

áreas classificadas, de interesse paisagístico e diversidade do mosaico paisagístico, o valor geológico, a diversidade da fauna, a disponibilidade de superfícies de água e a densidade de percursos, sendo uma ferramenta interativa muito útil na análise do território. Além disso, a técnica AHP/GIS corresponde a uma ferramenta adequada para considerar as preferências de vários atores no processo de tomada de decisão, permitindo uma investigação qualitativa da natureza, quantidade e importância dos recursos. Do ponto de vista instrumental, a exploração da metodologia pode ter interesse como instrumento de apoio à decisão dos agentes da administração pública com funções de planeamento, gestão do território e gestão de mecanismos de apoio ao setor turístico, mais especificamente às atividades de Turismo de Natureza, bem como como uma ferramenta de apoio ao planeamento de atividades turísticas específicas. Além disso, os resultados deste estudo podem ser úteis para a conceção de novas políticas de valorização dos recursos naturais por meio do turismo. Sendo o turismo uma atividade complexa, importa ter em conta os impactos negativos que pode gerar e, por isso, a sua promoção deve assegurar os princípios da sustentabilidade, a necessidade de um controlo e gestão eficaz do número e distribuição turística que se revelou como um dos razões mais importantes para estudos de caso insustentáveis. O Turismo de Natureza pode beneficiar as áreas protegidas e as comunidades locais circundantes se for de pequena escala e operado ou detido localmente. Além disso, é uma boa forma de prestar assistência económica à população local, com diversas atividades económicas no âmbito do Turismo de Natureza a população local pode obter rendimentos financeiros significativos.

*Palabras clave:* Análise Espacial Multicritério, Potencial turístico, Sistemas de Informação Geográfica, Sustentabilidade.

*Financiación/Funding:* Este trabalho é financiado por Fundos Nacionais através da FCT, fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto UIDB/00681/2020 / This work is supported with Portuguese national funds by FCT-Foundation for Science and Technology, I.P., under the project UIDB/00681/2020.

## Determining the potential of the Interior Center of Portugal for Nature Tourism using a Spatial Decision Support System

Nature Tourism can contribute to the conservation of environmental values and the development of positive synergies between agents in the tourism sector, tourists, and the local population. Nature Tourism, as an alternative tourism practice, involves visiting natural spaces to experience symbiosis between natural resources, cultural heritage, and rural livelihood. Also seeks scenarios that allow the tourist to satisfy curiosities and learn about the landscape, flora, fauna, or local habitats, and the involvement with greater proximity with the local community. The growing interest in tourist offers

with low environmental impact, which supports the local economy, translates into a competitive advantage for low-density territories. Based on this principle, within the scope of the present study, it is intended to evaluate the potential of the existing natural and rural features in the Beira Interior region. The Beira Interior region is an administrative division in central eastern Portugal that includes two main subregions: Beira Baixa and Beiras/Serra da Estrela. This region covers an area of 10,919 km<sup>2</sup> and has a population of 325 086 inhabitants. This territory is mainly occupied by forest, agroforestry uses and agricultural land, and can anchor the creation of sustainable tourism products. Despite the undeniable interest in carrying out studies to determine an aggregate suitability index for the development of Nature Tourism using Spatial Multi-criteria Decision Analysis, there are still no studies carried out in Portugal. The study aimed to analyze the potential for the practice of Nature Tourism activities in the 21 municipalities that belong to the Beira Interior region, covering a huge part of protected territory. Multi-criteria spatial analysis tool –the Analytical Hierarchical Process (AHP)– in a Geographical Information System (GIS) environment was used, integrating different biophysical and human factors of the territory in order to produce suitability maps. The AHP method consists of four essential phases: criteria generating and spatial analysis, standardization, and suitability assessment. The selection of criteria, to determine the suitability of the territory in question for the practice of Nature Tourism activities, considered all the attraction factors for carrying out activities based on nature, as well as the existence of infrastructure and equipment that allow a better usufruct of the territory. The selected criteria resulted from the bibliographic research carried out, consultation of specialists, and considering the objectives of the study. A spatial database was created to include all vector and raster layers and data models. All spatial layers were prepared, and the consistency of coordinates was maintained in ArcGIS 10.8 software. All criteria included in the analysis had to be standardized. Standardization makes all spatial layers constant and in the same measurement units' format. Hence, all vector layers were converted into raster format and the reclassify tool in ArcGIS was used to standardize and assign values for each criterion. A pairwise comparison matrix was created using a scale of 1-9 in order to determine the relative importance of each criterion, in which 1 had equal importance and 9 had extreme importance between two criteria. The application of this method allowed for identifying the municipalities with the highest potential for Nature Tourism in the region based on natural resources, especially related to nature conservation value, plant and animal species richness, geological value, water resources, landscape diversity, landscape value, and level of hemeroby, and combining information related to the infrastructures that support tourism supply, namely road network, accommodation offer, and nature routes offer. The results reveal that the region is highly suitable for Nature Tourism activities, given the important natural heritage. The municipalities with the greatest suitability for the development of Nature Tourism are Castelo Branco, Idanha-a-Nova, Covilhã, Seia, Sabugal and Almeida. These municipalities are characterized by having landscapes of high value, characterized by the dominance of agrosilvopastoral uses, combined with remarkable levels of animal and plant diversity and value, as well as the presence of sites of geotouristic interest. Also, the higher potential in the territory coincides with protected natural areas, such as the Tejo Internacional Nature Park, the Serra da Estrela Nature Park, and the Serra da Malcata Natural Reserve, which reveals that measures for the protection and conservation of nature have a beneficial effect on the protection of natural values. These are important resources that must be

valued, with tourism being an activity that could have a positive impact on generating income for their protection. Although there is a small percentage of territory with low potential for Nature Tourism, it is important to highlight the characteristics that stand out the most, as it is a territory with low landscape value where the production forest of Eucalyptus and Pine tree dominates the landscape. As a result, it translates into their low suitability for Nature Tourism practices. Areas of moderate suitability deserve special attention, especially in the adequacy of nature preservation and conservation measures that are caused by human activities. This result is influenced by the low level of local accessibility too. This is a particular characteristic of this cross-border destination, where the density of enterprises, cultural offer, and health or educational services are low. To contradict this fact, Nature Tourism can contribute to developing this region and attract new investments, such shows in previous studies. The AHP/GIS approach proved to be adequate in the assessment of suitability for the development of Nature Tourism activities in the Beira Interior region, as it allows the integration of several criteria such as the extension of classified areas, of scenic interest, and diversity of the landscape mosaic, geological value, wildlife diversity, availability of water surfaces and pathway density, being a very useful interactive tool in the analysis of the territory. Also, the AHP/GIS technique, is an appropriate tool to consider the preferences of various stakeholders in the decision-making process, allowing a qualitative investigation of the nature, amount, and significance of resources. From an instrumental point of view, the exploration of the methodology can be of interest as an aid to public administration agents with functions in planning, territorial management, and management of support mechanisms for the tourist sector, more specifically for Nature Tourism activities, as well as an aid in the planning of specific tourist activities. Also, the information produced in the study may be useful for the design of new policies for valuing natural resources through tourism. As tourism is a complex activity, it is important to consider the negative impacts it can generate and, therefore, its promotion must ensure the principles of sustainability, the need for effective control and management of tourist numbers and distribution which came out as one of the most important reasons for unsustainable case studies. Nature Tourism can benefit protected areas and the surrounding local communities if it is small-scale and locally operated or owned. In addition, is a good way to render economic assistance to the local population, with diverse economic activities within Nature Tourism the local population can achieve significant financial income.

**Keywords:** Geographical Information Systems, Tourism suitability, Sustainability, Spatial Multicriteria analysis.





# ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA PANDEMIA DE LA COVID-19 EN LA ACTIVIDAD TURÍSTICA MEDIANTE EL EMPLEO DE ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO

RÍOS RODRÍGUEZ, NEREA

Departamento de Arte y Ciencias del Territorio. Facultad de Filosofía y Letras. Campus Universitario s/n 10003, Cáceres (España), [nerearios@unex.es](mailto:nerearios@unex.es)

NIETO MASOT, ANA

Departamento de Arte y Ciencias del Territorio. Facultad de Filosofía y Letras. Campus Universitario s/n 10003, Cáceres (España), [ananieto@unex.es](mailto:ananieto@unex.es)

CÁRDENAS ALONSO, GEMA

Departamento de Arte y Ciencias del Territorio. Facultad de Filosofía y Letras. Campus Universitario s/n 10003, Cáceres (España), [gemacardenas@unex.es](mailto:gemacardenas@unex.es)

Desde mediados del siglo pasado, el sector turístico español ha experimentado un gran desarrollo, el cual se vio truncado por los efectos de la COVID-19. Esta situación pandémica tuvo una gran incidencia en nuestro país, puesto que es un destino líder del turismo mundial y presenta una elevada dependencia de este sector en su economía, lo cual lo convierte en un destino vulnerable cuando no existe una elevada demanda de estos servicios. El modelo territorial turístico español no es homogéneo, y en las regiones del litoral mediterráneo y de zonas insulares, la atracción de viajeros constituye una actividad primordial en sus rentas económicas, por lo que las consecuencias de la pandemia fueron mayores (Simancas *et al.*, 2020; Bauzá & Melgosa, 2020).

Los primeros estudios realizados por la Organización Mundial del Turismo (OMT) sobre el impacto de la COVID-19 en el sector turístico mostraron que esta crisis sanitaria es la que más ha impactado en el turismo en el último siglo. Además, de sus consecuencias sobre la salud, esta pandemia generó la paralización y establecimiento de estrictas restricciones de viaje y desplazamientos en todos los países del mundo (Gössling *et al.*, 2020; Martorell & Arcos, 2020). Así, en los primeros meses de esta pandemia, marzo y mayo de 2020, el 100 % de los países aplicó algún tipo de restricción a los viajes, el 83 % de los destinos en Europa cerró por completo las fronteras al turismo internacional, el 80 % en América, el 70 % en Asia y el Pacífico, el 62 % en Oriente Medio y el 57 % en África (OMT, 2020). A grandes rasgos, el turismo mundial registró su peor año en 2020, con una caída de las llegadas internacionales del 74 % (OMT, 2022).

En nuestro país esta situación ha sido especialmente grave, debido a la elevada dependencia de su economía del sector turístico y por ser un destino líder del turismo mundial (Vega *et al.*, 2020). De hecho, el turismo en España generaba más del 12 % del PIB, aportando miles de millones de euros a la economía española durante el 2019 (INE, 2020). Un claro ejemplo lo encontramos en el periodo de Semana Santa (meses de marzo y abril) del 2019, que supuso para el país una llegada de 12,8 millones de turistas con un ingreso de 13 100 millones de euros, un 6,4 % más que en 2018 (INE, 2020).

De esta manera, siguiendo las líneas de investigaciones previas (Ríos *et al.*, 2022), la comunicación que se presenta se basa en el estudio del efecto de la pandemia ocasionada por la COVID-19 en la actividad turística española, concretamente, en observar qué tipos de alojamientos, por Comunidad Autónoma, han sido los más afectados por la crisis sanitaria en relación, además, con la demanda turística. Para alcanzar el objetivo se ha desarrollado una metodología basada en la asignación de clústeres espaciales, como es el análisis de grupos o de agrupamiento (*Grouping Analysis*), para formar un modelo cuyo resultado sirva para conocer qué CCAA han sufrido un mayor impacto de la pandemia y, consecuentemente, qué tipos de alojamientos se han visto más afectados.

Con respecto a los datos empleados para este estudio, las variables turísticas se obtuvieron del Instituto Nacional de Estadística (INE), concretamente de las Encuestas de Ocupación de cada una de las tipologías de alojamiento de los años 2019-2021, a partir de los cuales se elaboraron las distintas variables. De este modo, se calculó el porcentaje de viajeros nacionales e internacionales por alojamiento turístico y la variación de viajeros del año 2021 con respecto al 2019. Además, aunando todas las tipologías, se obtuvo la variación del total de viajeros, pernoctaciones, plazas estimadas y personal empleado atendiendo a cada categoría de alojamiento turístico (hotelero, extrahotelero y rural) y por 1.000 habitantes, teniendo en cuenta la población total de cada Comunidad Autónoma. Para conocer las características sociodemográficas de la población española se ha trabajado con cifras de población y censos demográficos del INE, calculándose dos variables: la población de 2021 de cada Comunidad Autónoma respecto al total nacional y el incremento de la población en cada una de las regiones teniendo en cuenta la población existente con respecto al año anterior al inicio de la pandemia (2019). Del mismo modo, se incorporó a este estudio la aportación del turismo a la economía española a partir del Producto Interior Bruto turístico del 2019 de cada Comunidad Autónoma consultado en la Cuenta satélite del turismo de España del INE.

Como se ha comentado, para lograr el objetivo planteado y poder conocer los efectos de la pandemia de la COVID-19 en el sector turístico español, se ha aplicado el análisis de grupos o de agrupamiento. Atendiendo a esto, se realizaron numerosos análisis seleccionando diferentes valores de conglomerados hasta determinar que la obtención de 4 grupos era lo más óptimo, debido al número de variables empleadas y de regiones analizadas. Estos 4 grupos aúnan las 17 Comunidades Autónomas, y cada uno posee características homogéneas en cuanto a las variables turísticas, demográficas y socioeconómicas. La estandarización previa de las variables y la elaboración de los promedios facilitó el estudio, ya que permitió determinar qué variables describen mejor a cada grupo, al identificar si se encuentran por encima o por debajo de la media y la magnitud de su desviación. Para el desarrollo de este análisis se tuvieron

en cuenta distintos rangos de tiempo (2019-2020, 2020-2021 y 2019-2021), utilizando finalmente el periodo transcurrido desde el año 2019 al 2021 (Tabla 1) para determinar la situación actual del turismo ya que, en el resto de los periodos de estudio, al analizarlos por separado, se obtuvieron valores reiterativos.

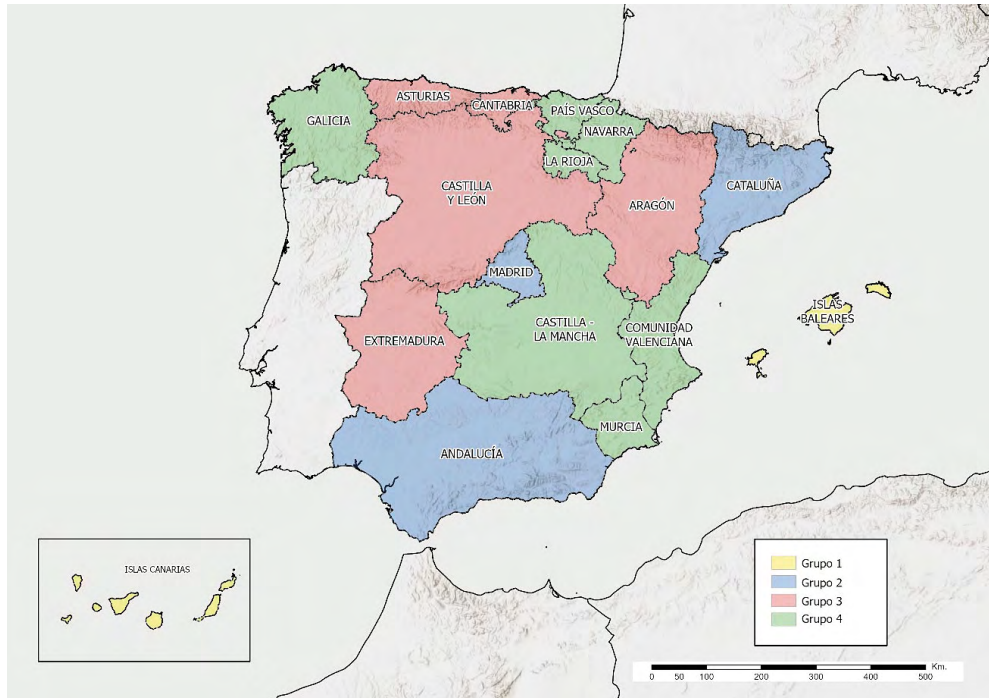
**Tabla 1.** Grupos y variables medias del análisis de agrupamiento

	<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Grupo 3</i>	<i>Grupo 4</i>
	<i>Islas Baleares e Islas Canarias</i>	<i>Andalucía, Cataluña y Madrid</i>	<i>Aragón, Asturias, Castilla y León, Extremadura y Cantabria</i>	<i>Castilla-La Mancha, Galicia, La Rioja, Murcia, Navarra, País Vasco y Comunidad Valenciana</i>
Incremento de la Población (2019-2021)	1,5	1,1	-0,3	0,8
Población 2021 respecto al total (%)	3,5	16,2	2,7	4,4
Producto Interior Bruto Turístico 2019	24.728	28.888	24.149	26.315
Variación de viajeros hoteleros (%)	-50,4	-48,4	-33,8	-34,0
Variación de viajeros extrahoteleros (%)	-18,1	-22,2	-19,5	-30,5
Variación de viajeros rurales (%)	-50,8	-25,2	-8,6	8,5
Variación viajeros nacionales (%)	-11,03	-20,49	-22,38	-18,29
Variación viajeros internacionales (%)	-58,61	-67,39	-56,47	-52,70
Variación de viajeros totales (%)	-50,1	-44,8	-29,2	-28,2
Variación de pernoctaciones totales (%)	-55,7	-45,1	-24,8	-26,4
Plazas totales (%)	-37,3	-20,3	-16,0	-9,8
Personal empleado total (%)	-45,1	-39,4	-21,4	-23,5
Viajeros por 1000 habitantes (2021)	4.173	1.531	1.872	1.367
Pernoctaciones por 1000 habitantes (2021)	22.750	4.330	4.487	3.486
Plazas ofertadas por 1000 habitantes (2021)	1.497	436	556	432
Personal empleado por 1000 habitantes (2021)	199	32	46	30

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (2022). Elaboración propia.

En la siguiente figura (Figura 1) se establece la distribución espacial de los grupos establecidos y sus características.

Figura 1. Resultado del análisis de agrupamiento.



Fuente: Elaboración propia.

De este modo, y con respecto a los resultados obtenidos, se ha comprobado que hay diferentes comportamientos de las regiones respecto a los efectos de la pandemia COVID-19 en su sector turístico. Estos resultados reflejan la disparidad y vulnerabilidad de las regiones españolas ante la crisis turística, existiendo zonas más especializadas ligadas al turismo que sufrieron un decrecimiento provocado por las limitaciones y por la caída de la demanda de viajeros internacionales. Como es el caso de las CCAA enmarcadas dentro de los Grupos 1 y 2, caracterizadas, por un lado, por un turismo de sol y playa y, por otro lado, Madrid con el efecto de la capitalidad de España, que ha generado una dependencia de un turismo internacional, sobre todo en los alojamientos de carácter hotelero, lo cual ha producido un descenso en el número de plazas y personal. Es destacable la diferencia existente entre ambos grupos, ya que en el caso de los archipiélagos la reducción de viajeros, tanto nacionales como internacionales, fue mayor debido a su dependencia del transporte aéreo. Teniendo en cuenta todo ello, cabe mencionar que la incidencia en el Grupo 1 fue mayor, ya que el sector turístico es su principal fuente de ingresos, mientras que en las regiones que componen el Grupo 2, como es el caso de Cataluña y Madrid, también tienen

otros sectores (industria o servicios administrativos) que son fundamentales para su economía.

Por otro lado, existen regiones con zonas más rurales y receptoras mayoritariamente de turismo nacional que, por lo tanto, han sufrido, en menor medida, los efectos de la crisis. Como es el caso de los Grupos 3 y 4 ya que no son tan dependientes del turismo en sus economías y del turismo internacional. Han sufrido pérdidas menores en el volumen de viajeros y pernoctaciones que los Grupos 1 y 2 y, además, en mucha menor medida en la variación de los alojamientos extrahoteleros y turismo rural (destacar que en el Grupo 4 aumentaron los viajeros en turismo rural).

Es necesario destacar que, durante los meses de verano del año 2020, la actividad turística se reactivó levemente, aunque debido a las nuevas preocupaciones sanitarias, los viajeros comenzaron a demandar otro tipo de destinos más relacionados con la naturaleza, con espacios al aire libre, zonas rurales... en un turismo interior y en alojamientos menos masificados como las casas o apartamentos rurales y de ello se vieron beneficiadas las regiones de los Grupos 3 y 4.

En las últimas variables analizadas, los viajeros, pernoctaciones y oferta en el 2021 se pueden determinar que las regiones que sufrieron las mayores consecuencias negativas (Grupo 1 y Grupo 2) se están recuperando y volvieron a recibir gran número de viajeros en el 2021 (aunque no se hayan llegado todavía a los datos previos a la pandemia). Por ello, tienen los indicadores más elevados en cuanto a plazas, personal o pernoctaciones por 1.000 habitantes, sobre todo el Grupo 1 (los archipiélagos).

Para evitar sufrir una incidencia tan negativa como esta en el futuro, es necesario seguir fomentando y contribuir a la activación y puesta en marcha de otros destinos que favorezcan la sostenibilidad y estén más integrados con el medio ambiente como es el caso del turismo rural, agroturismo, turismo de naturaleza, *slow tourism*..., que en la mayoría de los casos su preferencia es visitar las zonas próximas, así como el interés por conocer el patrimonio cultural y natural cercano, de tal forma que se promueva la dinamización de espacios que tradicionalmente no son tan turísticos. Es clara la importancia del turismo nacional para mitigar los efectos de la crisis sanitaria, socioeconómica y, también, turística, fomentando los alojamientos de tipo rural y alojamientos extrahoteleros como es el caso de los campings.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bauzá Martorell, F. & Melgosa Arcos, F. (dirs.) (2020). *Turismo post Covid-19: El turismo después de la pandemia global. Análisis, perspectivas y vías de recuperación*. Ediciones Universidad de Salamanca.
- Simancas, M., Hernández, R. & Padrón, N. (coords.) (2020). *Turismo pos-COVID-19. Reflexiones, Retos y Oportunidades*. La Laguna (Spain): Cátedra de Turismo Caja Canarias-Ashotel, Universidad de la Laguna. <https://doi.org/10.25145/b.Turismopos-COVID-19.2020>
- Gössling, S., Scott, D. & Hall, C.M. (2020). Pandemics, tourism and global change: a rapid assessment of COVID-19. *Journal of Sustainable Tourism*, 1-20. <https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1758708>
- Instituto Nacional de Estadística (INE) (2020). Cuenta Satélite del Turismo en España. [https://www.ine.es/prensa/cst\\_2020.pdf](https://www.ine.es/prensa/cst_2020.pdf)

- Martorell, F. J. B. & Arcos, F. J. M. (2020). *Turismo post Covid-19. El turismo después de la pandemia global. Análisis, perspectivas y vías de recuperación* (296). Ediciones Universidad de Salamanca. <https://usal.es/index.php/eusal/catalog/view/978-84-1311-461-3/5558/6275-1>
- OMT (2020). El turismo mundial sigue paralizado mientras el 100% de los países imponen restricciones a los viajes. <https://www.unwto.org/es/news/covid-19-turismo-mundial-sigue-paralizado-mientras-el-100-de-los-paises-imponen-restricciones-a-los-viajes>
- OMT (2022). El turismo inicia 2022 fuerte, mientras se enfrenta a nuevas incertidumbres. <https://www.unwto.org/es/taxonomy/term/347>
- Ríos Rodríguez, N., Nieto Masot, A. & Cárdenas Alonso, G. (2022). Los efectos de la COVID-19 en el sector turístico de las Comunidades Autónomas españolas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* (94). <https://doi.org/10.21138/bage.3279>
- Vega Falcón, V., Castro Sánchez, F. & Romero Fernández, A. J. (2020). Impacto de la Covid-19 en el turismo mundial. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(S1), 207-216. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1777/1775>

**Palabras clave:** Alojamientos turísticos, viajeros, Comunidades Autónomas españolas, análisis clúster, COVID-19.

**Financiación:** Esta investigación ha sido posible gracias a la financiación del Ministerio de Universidades del Gobierno de España con la ayuda para la Formación de Profesorado Universitario (FPU) referencia FPU20/03830.

## Analysis of the effect of the COVID-19 pandemic on tourism activity using cluster analysis

Since the middle of the last century, the Spanish tourism sector has experienced great development, which was cut short by the effects of COVID-19. This pandemic situation had a great impact on our country, since it is a leading world tourism destination and has a high dependence on this sector in its economy, which makes it a vulnerable destination when there is not a high demand for these services. The Spanish tourism territorial model is not homogeneous, and in the regions of the Mediterranean coast and island areas, the attraction of travellers is a fundamental activity in their economic income, which is why the consequences of the pandemic were greater (Simancas *et al.*, 2020; Bauzá & Melgosa, 2020).

The first studies carried out by the World Tourism Organization (UNWTO) on the impact of COVID-19 on the tourism sector showed that this health crisis is the one that has had the greatest impact on tourism in the last century. In addition to its consequences on health, this pandemic led to the paralysis and establishment of strict travel and travel restrictions in all countries of the world (Gössling *et al.*, 2020). Thus, in the first months of the pandemic, March and May 2020, all countries applied some form of travel restrictions, 83% of destinations in Europe closed their borders completely to international tourism, 80% in the Americas, 70% in Asia and the Pacific, 62% in the Middle East and 57% in Africa (OMT, 2020). Overall, world tourism recorded its worst year ever in 2020, with international arrivals declining by 74% (OMT, 2022).

In our country, this situation has been particularly serious, due to the high dependence of its economy on the tourism sector and because it is a leading world tourism destination (Vega *et al.*, 2020). In fact, tourism in Spain generated more than 12% of GDP, contributing billions of euros to the Spanish economy during 2019 (INE, 2020). An example of this can be found in the Easter period (March and April) in 2019, which brought 12.8 million tourists to the country with an income of 13.1 billion euros, 6.4% more than in 2018 (INE, 2020).

Thus, following the lines of previous research (Ríos *et al.*, 2022), the communication presented here is based on the study of the effect of the pandemic caused by COVID-19 on Spanish tourist activity, specifically, on observing which types of accommodation, by Autonomous Community, have been most affected by the health crisis in relation, moreover, to tourist demand. To achieve this objective, a methodology based on the assignment of spatial clusters has been developed, such as Grouping Analysis, to form a model whose result serves to determine which Autonomous Communities have suffered the greatest impact of the pandemic and, consequently, which types of accommodation have been most affected.

About the data used for this study, the tourism variables were obtained from the National Statistics Institute (NSI), specifically from the Occupancy Surveys of each of the types of accommodation for the years 2019-2021, from which the different variables were elaborated. In this way, the percentage of national and international travellers by tourist accommodation and the variation of travellers in the year 2021 with respect to 2019 were calculated. Furthermore, by combining all the typologies, the variation of the total number of travellers, overnight stays, estimated bedplaces and staff employed was obtained for each category of tourist accommodation (hotel, non-hotel and rural) and per 1,000 inhabitants, considering the total population of each Autonomous Community. To ascertain the socio-demographic characteristics of the Spanish population, we worked with population figures and demographic censuses from the NSI, calculating two variables: the population in 2021 of each Autonomous Community with respect to the national total and the increase in population in each of the regions, considering the existing population with respect to the year prior to the start of the pandemic (2019). Similarly, the contribution of tourism to the Spanish economy was incorporated into this study based on the 2019 Gross Domestic Product for tourism in each Autonomous Community consulted in the INE's Tourism Satellite Account for Spain.

As mentioned above, to achieve the objective set and to be able to ascertain the effects of the COVID-19 pandemic on the Spanish tourism sector, cluster analysis was applied. With this in mind, numerous analyses were carried out, selecting different cluster values until it was determined that obtaining 4 groups was the most optimal, due to the number of variables used and the regions analysed. These 4 groups bring together the 17 Autonomous Communities, and each one has homogeneous characteristics in terms of tourism, demographic and socio-economic variables. The prior standardisation of the variables and the elaboration of the averages facilitated the study, as it made it possible to determine which variables best describe each group, by identifying whether they are above or below the mean and the magnitude of their deviation. For the development of this analysis, different time ranges were taken into account (2019-2020, 2020-2021 and 2019-2021), finally using the period from 2019 to 2021 (Table 1) to determine the current situation of tourism since, in the rest of the study periods, when analysed separately, reiterative values were obtained.



Table 1. Cluster analysis groups and mean variables

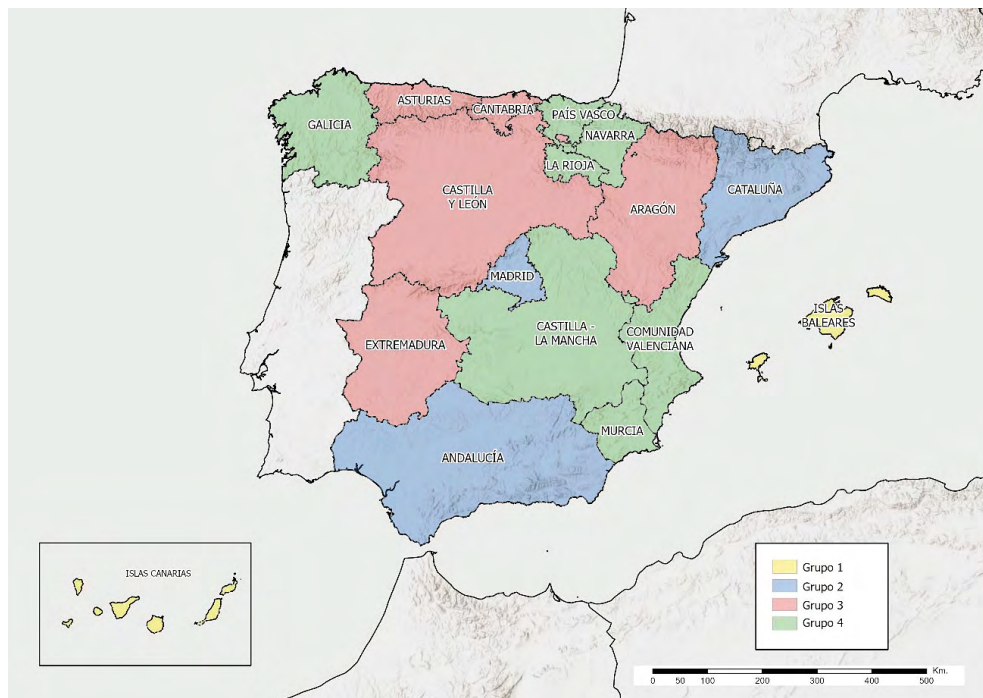
	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
	<i>Islas Baleares and Islas Canarias</i>	<i>Andalucía, Cataluña and Madrid</i>	<i>Aragón, Asturias, Castilla y León, Extremadura and Cantabria</i>	<i>Castilla-La Mancha, Galicia, La Rioja, Murcia, Navarra, País Vasco and Comunidad Valenciana</i>
Population Growth (2019-2021)	1,5	1,1	-0,3	0,8
Population 2021 in relation to the total (%)	3,5	16,2	2,7	4,4
Gross Domestic Product Tourism 2019	24.728	28.888	24.149	26.315
Variation of hotel travellers (%)	-50,4	-48,4	-33,8	-34,0
Variation of non-hotel travellers (%)	-18,1	-22,2	-19,5	-30,5
Variation of rural travellers (%)	-50,8	-25,2	-8,6	8,5
Variation of national travellers (%)	-11,03	-20,49	-22,38	-18,29
Variation of international travellers (%)	-58,61	-67,39	-56,47	-52,70
Variation of total travellers (%)	-50,1	-44,8	-29,2	-28,2
Variation of total overnight stays (%)	-55,7	-45,1	-24,8	-26,4
Total places (%)	-37,3	-20,3	-16,0	-9,8
Total staff employed (%)	-45,1	-39,4	-21,4	-23,5
Travellers per-1000 inhabitants (2021)	4.173	1.531	1.872	1.367
Overnight stays per-1000 inhabitants (2021)	22.750	4.330	4.487	3.486
Places offered per-1000 inhabitants (2021)	1.497	436	556	432
Staff employed per-1000 inhabitants (2021)	199	32	46	30

Source: SNI (2022). Own elaboration.



The following figure (Figure 1) sets out the spatial distribution of the established groups and their characteristics.

Figure 1. Result of the clustering analysis.



Source: Own elaboration.

In this way, and with respect to the results obtained, it has been found that there are different behaviours of the regions with respect to the effects of the COVID-19 pandemic on their tourism sector. These results reflect the disparity and vulnerability of the Spanish regions in the face of the tourism crisis, with more specialised areas linked to tourism suffering a decrease caused by the limitations and the fall in demand from international travellers. This is the case of the Autonomous Regions in Groups 1 and 2, characterised, on the one hand, by sun and beach tourism and, on the other, Madrid with the effect of being the capital of Spain, which has generated a dependency of international tourism, especially in hotel accommodation, which has led to a fall in the number of bedplaces and staff. The difference between the two groups is noteworthy, since in the case of the islands the reduction in both national and international travellers was greater due to their dependence on air transport. Considering all this, it is worth mentioning that the impact in Group 1 was higher, since the tourism sector is their main source of income, while in the regions that make up Group 2, such as Cataluña and Madrid, they also have other sectors (industry or administrative services) that are essential for their economy.

On the other hand, there are regions with more rural areas that receive mostly domestic tourism and have therefore suffered less from the effects of the crisis. This is the case of Groups 3 and 4, as they are not so dependent on tourism in their economies and on international tourism. They have suffered smaller losses in the volume of travellers and overnight stays than Groups 1 and 2 and, moreover, to a much lesser extent in the variation of extra-hotel accommodation and rural tourism (it should be noted that in Group 4 there was an increase in travellers in rural tourism).

It is necessary to highlight that, during the summer months of 2020, tourism activity was slightly reactivated, although due to new health concerns, travellers began to demand other types of destinations more related to nature, outdoor spaces, rural areas... in inland tourism and in less crowded accommodation such as rural houses or flats, and the regions of Groups 3 and 4 benefited from this. In the last variables analysed, travellers, overnight stays, and supply in 2021, it can be determined that the regions that suffered the greatest negative consequences (Group 1 and Group 2) are recovering and once again received large numbers of travellers in 2021 (although the pre-pandemic figures have not yet been reached). As a result, they have the highest indicators in terms of bedplaces, staff or overnight stays per 1,000 inhabitants, especially Group 1 (the islands).

Therefore, in order to avoid such a negative impact in the future, it is necessary to continue promoting and contributing to the activation and implementation of other destinations that favor sustainability and are more integrated with the environment as is the case of rural tourism, agrotourism, nature tourism, slow tourism..., which in most cases their preference is to visit nearby areas, as well as the interest in knowing the cultural and natural heritage nearby, so as to promote the revitalization of areas that are traditionally not so touristy. It is clear the importance of national tourism to mitigate the effects of the health, socioeconomic and tourism crisis, promoting rural and non-hotel accommodations such as campsites.

**Keywords:** Tourist accommodations, travelers, Spanish Autonomous Communities, Cluster Analysis, COVID-19.

# EL PANEL GEOGRÁFICO COMO HERRAMIENTA PODEROSA PARA DIFUNDIR LOS AVANCES EN LOS INDICADORES RELACIONADOS CON LA SALUD DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE, EN EL ESTADO DE MÉXICO

SANTANA CASTAÑEDA, GIOVANNA

Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México CP 50100, México, [gsantanac@uaemex.mx](mailto:gsantanac@uaemex.mx)

SÁNCHEZ CARRILLO, CHRISTIAN IVÁN

Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México CP 50100, México, [csanchezc014@profesor.uaemex.mx](mailto:csanchezc014@profesor.uaemex.mx)

SERRANO BARQUÍN, REBECA ANGÉLICA

Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México CP 50100, México, [raserranob@uaemex.mx](mailto:raserranob@uaemex.mx)

SANTANA JUÁREZ, MARCELA VIRGINIA

Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México CP 50100, México, [mvsantanaj@uaemex.mx](mailto:mvsantanaj@uaemex.mx)

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con la salud (ODSRS) son indicadores clave del estado de salud, bienestar y desarrollo de la población de un país o área geográfica.

En septiembre de 2015, la asamblea general de las Naciones Unidas aprobó los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), esta aprobación incluyó 17 objetivos, 169 metas y 232 indicadores (ONU, 2020). De ellos, una parte significativa, es decir, 12 objetivos, 33 metas y 57 indicadores han sido relacionados con la salud (SDG Collaborators, 2016; OMS, 2020; Asma *et al.*, 2020; Novillo-Ortiz *et al.*, 2021; Wilson *et al.*, 2021). Estos objetivos universales apuntan a garantizar una vida sana y promover el bienestar en todas las edades (ONU, 2022). Sobre todo, el objetivo número tres, en donde se menciona que

“Para lograr el desarrollo sostenible es fundamental garantizar una vida saludable y promover el bienestar de todas las personas a lo largo del ciclo de vida. La situación en América Latina y el Caribe es positiva, dado que se han obtenido grandes progresos en relación con el aumento de la esperanza de vida y la reducción

de algunas de las causas de muerte más comunes relacionadas con la mortalidad infantil y materna, así como respecto a la reducción de la malaria, la tuberculosis, la poliomielitis y la propagación del VIH/sida y las enfermedades transmitidas por el agua gracias al mayor acceso a agua limpia y saneamiento. Sin embargo, más allá de dichos avances, siguen existiendo diversos desafíos relacionados con la cobertura sanitaria universal y de calidad para todos, la erradicación de una amplia gama de enfermedades, y numerosas y variadas cuestiones persistentes y emergentes relativas a la salud” (ONU, 2023).

En este caso, el Estado de México será el objeto de estudio, cuya población asciende casi a 17 millones de personas distribuidas en 125 municipios, lo que representa el 21.4 % de la población del país de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda del 2020, el 51.4 % corresponde a mujeres, además ocupa el primer lugar a nivel nacional por número de habitantes y se mantiene en el mismo sitio con respecto al censo de población y vivienda en 2010, con una tasa de crecimiento de 1.2, sin embargo, existen variabilidad al interior del Estado, por ejemplo, el municipio de Ecatepec de Morelos es el más poblado con 1 645 352 habitantes, mientras que Papalotla es el menos poblado, con 4 862 habitantes.

En términos generales, el 62 % de la población es económicamente activa, por otro lado, el 11.4 % de la población tiene alguna limitación para realizar alguna actividad cotidiana, el 4.5 % tiene discapacidad, así como el 16.4 % de la población en la entidad tiene alguna limitación en la actividad cotidiana, discapacidad o algún problema o condición mental. La población que cuenta con alguna derechohabencia a servicios de salud es de 66.3 %, la tasa de analfabetismo disminuyó de 6.4 % en 2000 a 2.9 % en 2020, por lo que el grado promedio de escolaridad aumento de 8 años en 2000 a 10.1 en 2020. Por otro lado, en 2020 hay 4 568 635 viviendas particulares habitadas, el promedio de ocupantes por vivienda mantiene una tendencia decreciente, de 4.5 (en 2000) a 3.7 en 2020, así como el porcentaje de viviendas con disponibilidad de agua entubada pasó de 89.8 % a 97.3 por ciento y la disponibilidad de teléfonos celulares en las viviendas creció de 66.9 a 88.8 %, el servicio de internet, de 22.0 a 56.2 %, las computadoras o laptops de 31.5 a 40.6 % y las líneas telefónicas fijas descendieron de 50.2 a 46.5 % respectivamente (INEGI, 2020).

Lo antes referido se menciona, debido a que los diversos indicadores relacionados a la salud de los ODS muestran diferentes niveles de progreso, sin embargo, los avances no son homogéneos en los diferentes municipios, debido a diferentes elementos como las desigualdades socioeconómicas que pueden afectar el acceso a los servicios de salud. Por lo que, el avance en cada una de estas metas es diferenciada en el territorio, por lo tanto, una de las formas de proporcionar el bienestar de las personas es el conocimiento sobre nuestro entorno, y de manera más precisa lo relativo a la distribución espacial del comportamiento de estas metas, a fin de dotar a los tomadores de decisiones sobre los aspectos estadísticos y geográficos.

Es importante que estos indicadores los podamos medir, analizar, difundir y visualizar, para ello, nos apoyamos del análisis exploratorio de datos espaciales (para medir y analizar), así como del panel de control para la distribución y visualización de los resultados de una forma eficiente, integrada y en la web. Por lo que, el

presente proyecto pretende analizar los indicadores disponibles para el Estado de México a nivel municipal, esta investigación se enmarca en el análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE), y tal como lo menciona Anselin (1999), el AEDE es un conjunto de técnicas, que ayudarán a describir y visualizar distribuciones espaciales y/o localizaciones atípicas, identificar esquemas de asociación espacial como agrupamientos, puntos calientes o fríos, así como estructuras espaciales u otras formas de heterogeneidad espacial.

Esta investigación aportará innovación científica y metodológica aplicable dentro de la Geografía de la Salud, mediante el uso, aplicación e integración de diferentes técnicas de análisis espacial y geoestadístico, mostrando que el uso combinado de diferentes métodos puede aplicarse para comprender de manera integral el territorio y proponer con una base sólida estrategias focalizadas que respondan a las necesidades reales de la población.

Diferentes instituciones que trabajan con bases de datos abiertas serán las fuentes de información para obtener los indicadores de los ODSRS en cada uno de los 125 municipios del Estado de México. Para ello, se realizó una revisión de los estudios previos (SDG Collaborators, 2016; OMS, 2020; Asma *et al.*, 2020; Novillo-Ortiz *et al.*, 2021).

En este sentido, los indicadores que se relacionan con la salud y cuyos datos se encuentran disponibles en bases de datos abiertas para el Estado de México, son los siguientes: Objetivo 1 (poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo) meta 1.5; objetivo 2 (poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición, y promover la agricultura sostenible.) meta 2.2; objetivo 3 (Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.), meta 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8; objetivo 5 (lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres y niñas) meta 5.2; objetivo 6 (garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos) meta 6.1, 6.2; objetivo 7 (garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos) meta 7.1; objetivo 8 (promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos) meta 8.8; objetivo 11 (hacer que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles) meta 11.5, 11.6; objetivo 13 (adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus repercusiones) meta 13.1; así como el objetivo 16 (promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, proporcionar acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles) meta 16.1.

Una vez identificados todos los indicadores, se realiza una base de datos geográfica para cada una de las metas y se realiza la exploración de datos espaciales, considerando para ello diferentes herramientas que incluyen gráficos y mapas, que consiste en analizar los patrones de distribución geográfica de cada indicador que se encuentre en la base de datos asociada a la cartografía (previamente estandarizados y homologados), y se procede a su análisis mediante las medidas de tendencia central (media, mediana y moda), las medidas de dispersión (rango, varianza y desviación estándar), así como las medidas de la forma (curtosis). Aunado a ello, para analizar

la asociación espacial se utilizarán diagramas de dispersión y análisis de autocorrelación espacial.

Posterior a ello, se desarrollará el “panel de control geográfico” o *dashboard* sobre la plataforma de *ArcGis Online*, este se encontrará alojado en la web para que cualquier persona con acceso a internet pueda consultar e interrelacionar con la plataforma. Esta herramienta permitirá mostrar los diferentes indicadores de forma sintética, integral y actualizada con el empleo de mapas, gráficas y tablas, con datos de fuentes oficiales. Este “panel” se muestra como una herramienta confiable que sirve para aportar soluciones a diferentes problemas, aunado a ello, se espera que los resultados brinden bases sólidas que puedan servir en las agendas de desarrollo y la implementación de políticas públicas en materia de salud en la entidad mexiquense, además de que amplía la percepción sobre los avances de cada uno de los 125 municipios que conforman el Estado de México, proveyendo de identidad y pertenencia a sus habitantes.

Algunos de *dashboards* más representativos de este tipo de paneles de control geográficos son los desarrollados por diferentes instituciones tanto públicas como privadas, nacionales e internacionales para difundir y dar seguimiento a la pandemia por COVID-19, algunos de estos ejemplos los podemos encontrar en las siguientes direcciones: <https://covid19.who.int/>; <https://datos.covid-19.conacyt.mx/>; <https://ais.paho.org/philip/viz/COVID-19EpiDashboard.asp>; <https://www.arcgis.com/apps/dashboards/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6>.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anselin, L. (1999). The future of spatial analysis in the social science. *Geographic Information Sciences*, pp. 67-76.
- Asma, S., Lozano, R., Chatterji, S. *et al.* (2020). Monitoring the health-related Sustainable Development Goals: lessons learned and recommendations for improved measurement. *Lancet*, 395(10219), 240-246. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32523-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32523-1)
- INEGI (2020). Censo de población y vivienda, [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/EstSociodemo/ResultCenso2020\\_EdMx.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/EstSociodemo/ResultCenso2020_EdMx.pdf)
- INEGI (2021). Censo de Población y vivienda. En el estado México somos 16 992 418 habitantes: Censo de población y vivienda 2020. Comunicado de Prensa n° 55/21. Del 26 de enero de 2021. Toluca, Estado de México, p. 3. Disponible en [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/EstSociodemo/ResultCenso2020\\_EdMx.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/EstSociodemo/ResultCenso2020_EdMx.pdf)
- Novillo-Ortiz, D., Quintana, Y., Holmes *et al.* (2021). Leveraging data and information systems on the sustainable development goals. *International journal of medical informatics*, 152(104504). <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2021.104504>
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2020). Estadísticas sanitarias mundiales 2020: monitoreando la salud para los ODS [En línea] Recuperado el 1 de agosto de 2022 de <https://apps.who.int/iris/handle/10665/338072>
- ONU (2020). Do you know all 17 SDGs? [En línea] Recuperado el 10 de febrero de 2023 de <https://sdgs.un.org/goals#history>
- ONU (2022). Goal 3: Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages [En línea] Recuperado el 10 de febrero de 2023 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/health/>

- ONU (2023). Objetivos del Desarrollo Sustentable. 3 Salud y Bienestar. Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades. [En línea] Recuperado el 10 de febrero de 2023 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/health/>
- SDG Collaborators (2016). Measuring the health-related Sustainable Development Goals in 188 countries: a baseline analysis from the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet* (London, England), 388(10053), 1813-1850. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31467-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31467-2)
- Wilson, G. M., Ball, M. J., Szczesny, P., Haymann, S., Polyak, M., Holmes, T. & Silva, J. S. (2021). Health Intelligence Atlas: A Core Tool for Public Health Intelligence. *Applied clinical informatics*, 12(4), 944-953. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1735973>

**Palabras clave:** Estado de México, Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con la salud, “panel”.

**Financiación:** La investigación que se presenta es producto de un proyecto titulado: “Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con la salud: Un atlas geográfico para evaluar su progreso en el Estado de México”, financiado por la Universidad Autónoma del Estado de México, aprobado en el marco de la Convocatoria de Proyectos de Investigación Científica para la Consolidación de Grupos de Investigación y los Estudios Avanzados, con Enfoque de Inclusión e Integridad en el Marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)2023, con clave de registro: 6729/2022CIC. / The research presented here is a result of a project entitled: “Health-related Sustainable Development Goals: A geographic atlas to assess their progress along the State of Mexico”, financed by the Autonomous University of the State of Mexico, approved within the framework of the Call for Scientific Research Projects for the Consolidation of Research Groups and Advanced Studies, with a Focus on Inclusion and Integrity in the Framework of the Sustainable Development Goals (SDGs) 2023, with registration code: 6729/2022CIC.

**Agradecimientos:** Se agradece todo el apoyo brindado a los integrantes del proyecto: Mtro. Christian Ivan Sánchez Carrillo; Dra. Marcela Virginia Santana Juárez; Dra. Emmanuelle Quentin; Dr. José Emilio Hernández Bernal; Mtra. Rebeca A. Serrano Barquín y Dr. Noel B. Pineda Jaimes. / We are especially grateful for all the support provided to the members of the project: Mtro. Christian Ivan Sánchez Carrillo; Dr. Marcela Virginia Santana Juárez; Dr. Emmanuelle Quentin; Dr. José Emilio Hernández Bernal; Mtra. Serrano Barquín and Dr. Noel B. Pineda Jaimes.



## The geographic panel as a powerful tool to disseminate advances in indicators related to the health of the Sustainable Development Goals, in the State of Mexico

The health-related Sustainable Development Goals (SDGs) are essential indicators of the health, well-being, and development status of the population of a country or geographical area.

In September 2015, the United Nations General Assembly adopted the Sustainable Development Goals (SDGs), which included 17 goals, 169 targets and 232 indicators (UN, 2020). Of these, a significant part, that is, 12 goals, 33 targets and 57 indicators have been related to health (SDG Collaborators, 2016; WHO, 2020; Asma *et al.*, 2020; Novillo-Ortiz *et al.*, 2021; Wilson *et al.*, 2021). These universal goals aim to ensure healthy lives and promote well-being at all ages (UN, 2022). Above all, goal number three, which mentions that

“Ensuring healthy lives and promoting the well-being of all people throughout the life cycle is fundamental to achieving sustainable development. The situation in Latin America and the Caribbean is positive, as great progress has been made in increasing life expectancy and reducing some of the most common causes of death related to infant and maternal mortality, as well as reducing malaria, tuberculosis, polio and the spread of HIV/AIDS and waterborne diseases through increased access to clean water and sanitation. However, beyond such progress, several challenges remain related to universal and quality health coverage for all, the eradication of a wide range of diseases, and numerous and varied persistent and emerging health issues” (UN, 2023).

In this case, the State of Mexico will be the object of study, whose population amounts to almost 17 million people distributed in 125 municipalities, which represents 21.4% of the country's population according to the Population and Housing Census of 2020, 51. It also occupies the first place nationally by number of inhabitants and remains in the same place with respect to the population and housing census in 2010, with a growth rate of 1.2, however, there is variability within the state, for example, the municipality of Ecatepec de Morelos is the most populated with 1 645 352 inhabitants, while Papalotla is the least populated, with 4862 inhabitants.

In general terms, 62% of the population is economically active; on the other hand, 11.4% of the population has some limitation to perform some daily activity, 4.5% has a disability, and 16.4% of the population in the entity has some limitation in daily activity, disability or some mental problem or condition. The population with right to health services is 66.3%, the illiteracy rate decreased from 6.4% in 2000 to 2.9% in 2020, and the average level of schooling increased from 8 years in 2000 to 10.1 in 2020. On the other hand, in 2020 there are 4568635 private dwellings inhabited, the average number of occupants per dwelling maintains a decreasing trend, from 4.5 (in 2000) to 3.7 in 2020, as well as the percentage of dwellings with piped water availability went from 89.8 per cent to 97.3 per cent, and the availability of telephones increased from 4.3 per cent in 2000 to 3.4 per cent in 2020. 3 per cent and the availability of mobile phones in dwellings increased from 66.9 to 88.8 per cent, internet service from 22.0 to



56.2 per cent, computers, or laptops from 31.5 to 40.6 per cent and fixed telephone lines decreased from 50.2 to 46.5 per cent respectively (INEGI, 2020).

The previous mentioned is since the various health-related indicators of the SDGs show different levels of progress, however, progress is not homogeneous in the different municipalities, due to different elements such as socio-economic inequalities that can affect access to health services. Therefore, the progress in each of these goals is differentiated in the territory, therefore, one of the ways to provide the well-being of people is the knowledge about our environment, and more precisely about the spatial distribution of the behaviour of these goals, to provide decision makers with statistical and geographical aspects.

It is important that these indicators can be measured, analysed, disseminated, and visualised, for which we rely on the exploratory analysis of spatial data (to measure and analyse), as well as on the control panel for the distribution and visualisation of the results in an efficient, integrated and web-based way. Therefore, this project aims to analyse the indicators available for the State of Mexico at the municipal level, this research is framed in the exploratory spatial data analysis (ESDA), and as mentioned by Anselin (1999), ESDA is a set of techniques, which will help to describe and visualise spatial distributions and/or atypical locations, identify spatial association schemes such as clusters, hot or cold spots, as well as spatial structures or other forms of spatial heterogeneity.

This project will provide scientific and methodological innovation applicable within Health Geography, through the use, application, and integration of different spatial and geostatistical analysis techniques, showing that the combined use of different methods can be applied to comprehensively understand the territory and propose targeted strategies that respond to the real needs of the population on a solid basis.

Different institutions working with open databases will be the sources of information to obtain the SDG indicators in each of the 125 municipalities of the State of Mexico. To this end, a review of previous studies was conducted (SDG Collaborators, 2016; WHO, 2020; Asma *et al.*, 2020; Novillo-Ortiz *et al.*, 2021).

In that respect, the indicators that relate to health and whose data are available in open databases for the State of Mexico are the following: Goal 1 (End poverty in all its forms everywhere) target 1.5; Goal 2 (End hunger, achieve food security and improved nutrition, and promote sustainable agriculture.) target 2.2; Goal 3 (Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages.), target 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8; goal 5 (Achieve gender equality and empower all women and girls) target 5.2; goal 6 (Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all) target 6.1, 6.2; goal 7 (Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all) target 7.1; goal 8 (promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all) target 8.8; goal 11 (make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable) target 11.5, 11.6; goal 13 (take urgent action to combat climate change and its impacts) target 13.1; as well as goal 16 (promote peaceful and inclusive societies for sustainable development, provide access to justice for all and build effective, accountable and inclusive institutions at all levels) target 16.1.

After identifying all the indicators, a geographic database is created for each of the goals and spatial data exploration is carried out, using different tools including

graphs and maps, which consists of analysing the geographic distribution patterns of each indicator found in the database associated with the cartography (previously standardised and homologated), and proceeding to their analysis using measures of central tendency (mean, median and mode), measures of dispersion (range, variance and standard deviation), as well as measures of shape (kurtosis). In addition, scatter plots and spatial autocorrelation analysis will be used to analyse spatial association.

Subsequently, the “geographic control panel” or dashboard will be developed on the ArcGis Online platform, which will be hosted on the web so that anyone with internet access can consult and interact with the platform. This tool will show the different indicators in a synthetic, comprehensive, and updated way with the use of maps, graphs, and tables, with data from official sources. This “panel” is shown as a reliable tool that serves to provide solutions to different problems, in addition to this, it is expected that the results provide solid foundations that can serve in the development agendas and the implementation of public policies on health in the State of Mexico, in addition to broadening the perception of the progress of each of the 125 municipalities that make up the State of Mexico, providing identity and belonging to its inhabitants.

The most representative dashboards of this type of geographic control panels are those developed by different institutions, both public and private, national and international, to disseminate and monitor the COVID-19 pandemic, some of these examples can be found at the following addresses: <https://covid19.who.int/>; <https://datos.covid-19.conacyt.mx/>; <https://ais.paho.org/hip/viz/COVID-19EpiDashboard.asp>; <https://www.arcgis.com/apps/dashboards/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6>.

**Keywords:** State of Mexico; Sustainable Development Goals associated with health; dashboard.

# EVALUACIÓN DE RIESGOS Y ANÁLISIS GEOGRÁFICO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE MOSQUITOS EN LA ESCUELA SECUNDARIA DE LA UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO

SEGUINOT BARBOSA, JOSÉ  
Departamento de Salud Ambiental, PO BOX 365067  
San Juan, Puerto Rico 00936  
[Jose.seguinot@upr.edu](mailto:Jose.seguinot@upr.edu)

Esta sección de nuestra investigación consistió en cartografiar los datos del monitoreo y censo de mosquitos y de los estudiantes con el fin de determinar los niveles de riesgos a la salud en la Escuela Secundaria de la Universidad de Puerto Rico. Mediante el análisis espacial en ArcGIS de los datos procedentes de las 20 trampas para mosquitos y de la concentración de estudiantes cerca de esas trampas se determinó el nivel alto, mediano o bajo del riesgo del estudiante a adquirir una enfermedad transmitida por el *Aedes Aegyptis* (Zika, Chikungunya, Dengue). Las trampas fueron visitadas y examinadas durante todo el mes de agosto dos veces en semana identificando mosquitos tales como *Aedes aegypti*, *Culex quinquefasciatus*, *Anopheles albimanus*, entre otros. La Teoría del Riesgo sirvió de marco conceptual y teórico para analizar la situación de salud en la Escuela. Entre los análisis realizados se incluyen el de: distribución espacial de las especies de mosquitos y de los estudiantes, análisis de densidad Kernel, interpolación por el método IDW y Spline, construcción de polígonos de Thiessen y mapa de Voronoi. La aportación educativa de esta sección estuvo dirigida al aprendizaje por parte de los estudiantes de cómo usar estos métodos analíticos para poder determinar qué áreas de la Escuela son seguras para su salud. De acuerdo a los datos analizados la parte este y oeste de la Escuela son muy peligrosas para su salud, mientras que la parte central y sur de la Escuela son seguras. Afortunadamente los niveles de infestación de los estudiantes son bajos porque la parte que ellos más utilizan para sus actividades es la central, mientras la parte sur es inaccesible. No obstante, las partes este y oeste son utilizadas, aunque con una menor frecuencia.

El desarrollo de este proyecto educativo-ambiental surgió como parte de la iniciativa de los profesores María de Carmen Zorrilla, Jaime Abreu, José Plaza, Amílcar Vélez y de éste servidor de desarrollar una evaluación del impacto de la presencia de mosquitos en la salud de los estudiantes de la Escuela Secundaria de la Universidad

de Puerto Rico, a la vez que se incorporaba la participación en el proyecto de los profesores y estudiantes de esta Escuela. El proyecto pretendía abordar dos tipos de preguntas fundamentales en la investigación educativo-ecológica. El primer grupo de preguntas plantea: ¿Cómo los factores ambientales (temperatura, precipitación, humedad), los epidemiológicos (presencia de mosquitos) afectan el nivel de infestación de los estudiantes y los hace más vulnerable a sufrir una picadura de mosquito durante el periodo que está en la Escuela Secundaria de la UPR? ¿Cómo esto afecta su nivel de aprendizaje? ¿En qué medida estos factores de vulnerabilidad influyen en la calidad de la enseñanza que recibe el estudiante y cómo afecta su productividad?

Un segundo grupo de preguntas cuestiona lo siguiente: ¿Cuáles son los diversos escenarios favorables para que el estudiante no se exponga a la picada de un mosquito que le pueda provocar una enfermedad? ¿Es favorable la participación de los estudiantes en los procesos de investigación de su propia salud ambiental? ¿Se pueden usar los modelos de investigación ambiental para la enseñanza en la propia Escuela de otras disciplinas como las matemáticas y las ciencias? Para abordar estas preguntas se han establecido varios enfoques multidisciplinarios. Este Proyecto piloto ha sido el resultado de la integración de diversas miradas científicas sobre la distribución del mosquito en ambientes escolares. Las áreas científicas que se consideraron de forma trans-disciplinarias fueron la aplicación de las matemáticas, la geografía, las ciencias naturales y las artes de la educación. A través de la integración de dichas materias se diseñó un estudio piloto para poder entender la presencia y convivencia del mosquito en ambientes escolares.

La hipótesis planteada establece que en la Escuela Secundaria de la Universidad de Puerto Rico existen suficientes mosquitos para poner en riesgo la salud de los estudiantes y empleados de la UHS. Pero, el nivel de riesgo no es igual en todas las zonas de la Escuela. Por tanto, existen zonas de alto riesgo, de mediano y bajo riesgo. Esta hipótesis, especialmente la segunda parte, sirve como punto de partida para este estudio donde se desean identificar las zonas de riesgo a los cuales los estudiantes están expuestos durante su estancia en la Escuela. El objetivo central de este estudio es determinar los niveles de riesgo a la salud de los estudiantes causado por la presencia de los mosquitos. Como objetivos secundarios se pretende: a. Censal la cantidad de mosquitos existentes. b. Asociar la densidad de mosquitos con la distribución de los estudiantes en la escuela. c. Realizar análisis espaciales de la distribución de mosquitos y de los estudiantes.

Para trabajar conceptualmente el proyecto hemos fundamentado el mismo en la teoría del riesgo. Esta teoría tiene varios componentes fundamentales: el peligro, la vulnerabilidad y el riesgo. El peligro se define como la ocurrencia de una situación o evento y/o la presencia de un agente (mosquitos) que produce un nivel de amenaza a la vida, la salud, la propiedad o al medio ambiente. La ocurrencia de un terremoto es un peligro, la presencia de una serpiente venenosa también lo es. En nuestro caso la presencia del Ae es peligroso para los estudiantes. La vulnerabilidad se define como la capacidad de resistencia cuando se presenta un fenómeno amenazante, o la capacidad para reponerse después de que ha ocurrido un desastre. La vulnerabilidad física se define por factores como la cercanía al agente o evento, el tiempo de exposición al mismo o la naturaleza física (metal, cemento, hueso) del objeto expuesto. La

vulnerabilidad social es aquella que se produce como consecuencia de determinantes sociales como la edad, la salud y el ingreso. El riesgo es igual a la suma del peligro o agente dañino más el nivel de susceptibilidad del individuo (vulnerabilidad) o comunidad. El riesgo es una posible ocurrencia de la magnitud de los daños frente a una situación peligrosa. El riesgo se mide asumiendo determinada vulnerabilidad frente a cada tipo de peligro (Seguinot, 2015; Seguinot, Batista y Sánchez, 2008).

*Palabras clave:* Avalúo de riesgo, análisis espacial, distribución de mosquitos, Escuela Secundaria de la Universidad de Puerto Rico.

## Risk Assessment and Geographical Analysis for the Mosquitoes Distribution at the University of Puerto Rico High School

This section of our research consisted of mapping mosquito and students monitoring and census data to determine student's health risk levels at the University of Puerto Rico High School. Spatial analysis in ArcGIS 10.7 of data from the 20 mosquito traps and student concentration near those traps determined the high, medium and low-level student's risk of acquiring a disease transmitted by the *Aedes Aegyptus* (Zika, Chikungunya and Dengue). We visited the traps and examined them throughout the month of August 2019 twice a week identifying mosquitoes such as *Aedes aegypti*, *Culex quinquefasciatus* and *Anopheles albimanus*, among others. Risk Theory served as a conceptual and theoretical framework for analyzing the health situation at the School. Spatial analyses includes spatial distribution of mosquito species and students, Kernel density analysis, IDW and Spline interpolation methods, Thiessen polygons construction and Voronoi map. The educational contribution of this section aimed the students learning process of how to use these analytical methods in order to determine which areas of the School are safe for their health. According to the data analyzed the east and west part of the School were very dangerous for the students health, while the central and southern part of the School were safe. Fortunately, students' infestation levels were low because the part they use most for their activities is the central section, while the southern part is inaccessible. However, the unsafe eastern and western parts of the school were use, although at a lower frequency.

The development of this educational-environmental project arose as part of the initiative of Professors María de Carmen Zorrilla, Jaime Abreu, José Plaza, Amílcar Vélez and myself to develop an evaluation of the impact of the presence of mosquitoes on the health of students of the High School of the University of Puerto Rico. At the same time, the participation in the project of the teachers and students of this School was incorporate. The project aimed to address two fundamental types of questions in educational-ecological research. The first group of questions asks: How do environmental factors (temperature, precipitation, humidity), epidemiological factors (presence of mosquitoes) affect the level of infestation of students and make

them more vulnerable to suffering a mosquito bite during the period they are in the UPR High School? How does this affect their learning level? To what extent do these vulnerability factors influence the quality of instruction received by the student and how does it affect their productivity?

A second group of questions asks the following: What are the various favorable scenarios for the student not to be exposed to the bite of a mosquito that can cause a disease? Is the participation of students in the research processes of their own environmental health favorable? Can environmental research models be used for teaching other disciplines such as mathematics and science in the School itself? Several multidisciplinary approaches have been established to address these questions. This pilot project has been the result of the integration of diverse scientific perspectives on the distribution of the mosquito in school environments. The scientific areas that were considered trans-disciplinary were the application of mathematics, geography, natural sciences and the arts of education. Through the integration of these subjects, a pilot study was designed to understand the presence and coexistence of the mosquito in school environments.

The hypothesis states that there are enough mosquitoes at the University of Puerto Rico High School to put the health of UHS students and employees at risk. But, the level of risk is not the same in all areas of the School. Therefore, there are high-risk, medium and low risk areas. This hypothesis, especially the second part, serves as a starting point for this study where we want to identify the risk areas to which students are exposed during their stay at the School. The central objective of this study is to determine the levels of risk to students' health caused by the presence of mosquitoes. As secondary intended objectives are: a. Census the number of existing mosquitoes. b. Associate mosquito density with the distribution of students in school. c. Perform spatial analysis of mosquito and student distribution.

To work conceptually the project was based on risk theory. This theory has several fundamental components: hazard, vulnerability and risk. Hazard is defined as the occurrence of a situation or event and/or the presence of an agent (mosquitoes) that produces a level of threat to life, health, property or the environment. The occurrence of an earthquake represents a hazard, the presence of a poisonous snake is also a hazard. In our case, the presence of the AE is dangerous for students. Vulnerability is defined as the ability to resist when a threatening phenomenon occurs, or the ability to recover after a disaster has occurred. Physical vulnerability is defined by factors such as proximity to the agent or event, time of exposure to it, or the physical nature (metal, cement, bone) of the exposed object. Social vulnerability is that which occurs because of social determinants such as age, health and income. The risk is equal to the sum of the hazard or harmful agent plus the level of susceptibility of the individual (vulnerability) or community. Risk is a possible occurrence of the magnitude of damage in the face of a dangerous situation. Risk is measured by assuming a certain vulnerability to each type of hazard (Seguinot, 2015; Seguinot, Batista and Sánchez, 2008).

**Keywords:** Risk assessment, special analysis, mosquito distribution, University of Puerto Rico High School.

# IDENTIFICACIÓN ESPACIAL DE CONGLOMERADOS DE LA MORTALIDAD INFANTIL EN LA REGIÓN PACÍFICO SUR MEXICANO Y SU ASOCIACIÓN CON LOS CONDICIONANTES SOCIOESPACIALES DE LA SALUD

VILLERÍAS ALARCÓN, ILIANA

Facultad de Geografía, UAEMex, Paseo Universidad, Universitaria, Toluca de Lerdo, 50110, México,  
[villerias.al@gmail.com](mailto:villerias.al@gmail.com)

JUÁREZ GUTIÉRREZ, MARÍA DEL CARMEN

Instituto de Geografía, UNAM, Circuito de la Investigación Científica, Ciudad de México, 04510, México, [mela\\_jg@yahoo.com.mx](mailto:mela_jg@yahoo.com.mx)

SANTANA CASTAÑEDA, GIOVANNA

Facultad de Geografía, UAEMex, Paseo Universidad, Universitaria, Toluca de Lerdo, 50110, México,  
[gsantanac@uaemex.mx](mailto:gsantanac@uaemex.mx)

La mortalidad infantil es un grave problema de salud pública en todas las escalas (municipal, estatal, nacional e internacional), ya que la muerte de un infante dentro de los primeros cinco años de vida se convierte en un importante problema de justicia social debido a que vislumbra las inequidades socioeconómicas, de infraestructura y acceso a la salud, si bien este tipo de defunción se encuentra después de las 10 principales causas de mortalidad en la población es de gran trascendencia y vulnerabilidad, por lo que, fue propuesta dentro de los Objetivos del Milenio y del Desarrollo Sostenible; ya que ambas son un indicador de los servicios de salud, del desarrollo económico de los países y del bienestar social de la población. No obstante, la mayoría de las muertes infantiles se pueden evitar debido a que más de la mitad muere debido a enfermedades prevenibles y tratables, donde parte de ellas derivan del estado nutricional de la madre y del niño.

En este sentido, existen diferencias marcadas de este tipo de mortalidad entre los distintos niveles territoriales y hasta en una misma sociedad, condicionado principalmente a su nivel de desarrollo; donde las poblaciones con mejores condiciones están logrando reducir este problema a diferencia de aquellos lugares que presentan problemas económicos o sociales; por lo que las defunciones infantiles se convierte en un evento excepcional y espaciado, ya que la incidencia y prevalencia de esta mortalidad va a destacar en territorios con características previamente mencionadas.

La Geografía de la Salud desde sus múltiples planteamientos teóricos en torno a la relación que existe entre el espacio geográfico y los problemas de salud, proporciona una base teórica sólida para poder comprender el proceso hombre-salud-entorno. Aunado a ello, con la incorporación de metodologías derivadas de la Geografía cuantitativa como el análisis espacial cuantitativo y el empleo de las geotecnologías, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), permiten realizar diversas evaluaciones espaciales de los problemas de salud con la finalidad de mostrar y poder entender las configuraciones de los eventos de salud de manera espacial, permitiendo profundizar en el conocimiento y comportamiento del proceso hombre-salud-entorno, la identificación de espacios saludables y de condicionantes promotores de la salud; y de esta manera se coadyuva a plantear estrategias o políticas públicas enfocadas a disminuir las inequidades en salud.

La región del Pacífico Sur mexicano está conformada por los Estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, y por 775 municipios, asimismo, es un territorio vasto de recursos naturales e hídricos debido a su privilegiada ubicación geográfica, por lo que fue un lugar óptimo para el desarrollo de diversas civilizaciones. En la actualidad, ciertas características de la región como el relieve funcionan como líneas de desigualdad entre la población derivado de la falta de desarrollo económico e infraestructura, por lo que, la población se enfrenta a diversos factores (sociales, económicos, ambientales, culturales, políticos, así como de accesibilidad a servicios de salud) que impiden satisfacer los niveles de bienestar en salud, donde los infantes son uno de los principales grupos poblacionales más afectados.

Desde hace tres décadas la región del Pacífico sur mexicano ha presentado las mayores tasas de mortalidad infantil (TMI) ocupando las primeras posiciones a nivel nacional, en el año 1990 la tasa de mortalidad infantil a nivel nacional fue de 670.59 por cada 100,000 niños menores de cinco años, mientras que a nivel región fue de 721.84. En el 2000 con la instauración de los Objetivos del Desarrollo del Milenio (ODM), se planteó la meta de reducir las dos terceras partes de la mortalidad infantil, no obstante, en el país no se logró cumplir la meta, ya que en este año se registró una tasa de 430.30 cuando debió de ser de 143.43; lo mismo sucedió en la región registrándose tasas superiores a la nacional. Tras finalizar los ODM en el 2015 y el surgimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) nuevamente se propusieron alcanzar las mismas metas, sin embargo, tras cinco años la mortalidad infantil en la región sigue siendo ligeramente superior a la nacional; donde las principales causas de defunción son aquellas relacionadas con el periodo perinatal, infecciosas, parasitarias y respiratorias, estas últimas aquellas que se producen por factores de riesgo relacionados a sus condiciones de vida.

El estudio de la Mortalidad infantil (MI) desde la perspectiva de la geografía de la salud y con la aplicación de metodologías de análisis espacial con Sistemas de Información Geografía (SIG), permiten comprender de una mejor manera la distribución de la mortalidad y la asociación que tiene con los Condicionantes Socioespaciales de la Salud (CSS), los cuales hacen referencia a las circunstancias en que las personas nacen, crecen, viven, trabajan y envejecen, pero que además, derivan de la distribución del dinero, el poder y los recursos; repercutiendo en el estado de salud de la población.



En este sentido, el objetivo de esta investigación es identificar conglomerados espaciales que muestren el riesgo relativo de que niños menores de cinco años fallezcan durante los años 2010-2020; de igual manera se tiene el propósito de analizar espacialmente la asociación de los Condicionantes Socioespaciales de la Salud que influyen en incrementar el riesgo de mortalidad infantil de manera local.

La metodología empleada consistió primero en obtener las cifras de defunciones infantiles del periodo 2010-2020 a través del Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS), de igual manera la información de infraestructura de salud fue del Catálogo de Clave Única de Establecimientos de Salud (CLUES), mientras que los datos de vacunación fueron de Servicios otorgados y la cantidad de inversión de dinero al sector salud se adquirió del Sistema de Cuentas en Salud a Nivel Federal y Estatal (SICUENTAS), pertenecientes a la Secretaría de Salud (SS). Por su parte, los datos socioeconómicos y de vivienda del año 2010 y 2020 se obtuvieron del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), a través del Censo de Población y Vivienda 2010 y 2020. Así como también, las variables de accesibilidad referida a la densidad de carreteras y tiempo de traslado a un servicio de salud fueron de la Secretaría de Caminos y Transporte, y de la Plataforma para el Análisis Territorial de la Pobreza del Consejo Nacional de Evaluación de la Política del Desarrollo Social (CONEVAL). Ante esto, la base de datos en su nivel cartográfico está conformada por 775 polígonos municipales distribuidos en tres Estados mexicanos (Guerrero, Oaxaca y Chiapas) y en su nivel alfanumérico por 20 variables, de las cuales una es la variable dependiente que es la tasa de mortalidad infantil y 19 independientes, que corresponden a variables de aspecto social (analfabetismo, grado de escolaridad, hacinamiento, zona de residencia rural o urbana, etc.), económica (ingresos, PIB per cápita y PEA ocupada) e infraestructura de salud (unidades de salud, personal médico, tiempo de traslado, equipamiento médico) y vivienda (servicio de agua, drenaje y material de piso y techo de la vivienda). Posteriormente se calculó la tasa de crecimiento, esta técnica se aplica debido a que el censo y la encuesta intercensal solo se llevan a cabo cada 5 y 10 años, por lo que la tasa de crecimiento permite generar una estimación de la población en estudio en los años que no hubo una encuesta. Seguido se obtuvo la tasa bruta de mortalidad infantil por cada 100,000 niños menores de cinco años para cada año del periodo, la cual muestra un panorama aproximado de la distribución espacial del problema.

Después se aplicó el método de distribución de Poisson en el software *SatScan*™®, el cual permite analizar la distribución geográfica de la incidencia de la mortalidad infantil, con la finalidad de determinar la existencia de grupos geográficos con base al riesgo relativo. Asimismo, el método de distribución de Poisson plantea un sistema de hipótesis, la hipótesis nula ( $H_0$ ) infiere que cada unidad espacial dentro de los límites geográficos son homogéneos con una intensidad constante, en donde el valor observado y el valor esperado son iguales, mientras que la hipótesis alterna ( $H_1$ ) afirma que los valores son diferentes, es decir existe un riesgo elevado en comparación con el exterior. Para poder aceptar o rechazar la  $H_0$  se debe calcular el p-value (menor a 0.05) a través de una simulación de Monte Carlo de 999 replicaciones aleatorias, cuando la probabilidad es menor que el nivel de significación de la prueba se rechaza la hipótesis nula.

Para analizar la asociación espacial se aplicó el índice de I Moran, no obstante como se conoce los estadísticos de autocorrelación global, no son capaces de detectar la inestabilidad o deriva espacial de ciertas estructuras locales de asociación, es por ello que se aplicó el Indicador Local de Asociación Espacial (LISA) ya que proporcionan información estructural de cada una y de las relaciones que existen entre las variables, determinando casos anómalos (outliers), asociaciones espaciales, agrupamientos (clústers) o puntos calientes (hot spots); este análisis se desarrollo en el software *GeoDa™* y la elaboración cartografía en el programa de *ArcGIS 10.8*.

Algunos de los resultados relevantes de la investigación que arrojo el análisis de distribución de Poisson fue la identificación de 25 clústers en la región, donde el principal presento un factor de riesgo relativo de 473.36, lo cual significa que en este territorio la probabilidad de morir de un niño menor de cinco años es de 473.36 veces mayor que la población que vive en otra parte de la región o alrededores. Asimismo, se identificaron dos clústeres con un riesgo relativo bajo, debido a registraron la menor tasa de mortalidad infantil durante el periodo. Por otra parte, con los resultados de la aplicación del I Moran e índice local de Moran fue posible identificar municipios vulnerables, que presentan altas TMI en un municipio y altas carencias socioeconómicas en sus correspondientes municipios vecinos; si bien los resultados de I de Moran global presentan valores no tan altos pero si significativos estadísticamente, al analizar el indicador local de asociación espacial se obtuvieron resultados preliminares que pueden explicar la mortalidad infantil de los municipios y su relación con algunos condicionantes socioeconómicos como población indígena, grado de escolaridad, ingresos y accesos a servicios de salud, servicio de drenaje y material de construcción de la vivienda.

La investigación evidenció la distribución diferencial de las tasas y la conformación de los conglomerados con alto y bajo riesgo relativo de mortalidad infantil que se presentan en la región, así como los condicionantes socioespaciales de la salud que acrecientan esta mortalidad. No obstante, es importante señalar que los CSS analizados se encuentran dentro un contexto social, por lo que, además de estos condicionantes existen otros referidos al nivel individual que de igual manera acrecientan la probabilidad de morir de los niños menores de cinco años y que principalmente tienen que ver con la alimentación y también con la calidad de la atención que brindan el personal médico.

Dicho lo anterior, con esta investigación se hace una primera aproximación al problema de la mortalidad infantil en la región, además se aportan elementos a través de la identificación de los condicionantes socioespaciales que se asociación con esta mortalidad y que coadyuvaran a la toma de decisiones para la gestión e implementación de estrategias y políticas públicas en materia de salud acorde al territorio en referencia a un sustento espacial y así poder alcanzar los Objetivos del Desarrollo Sostenible, donde no solo se reduzca la mortalidad infantil, sino también establezcan territorios saludables en los que toda la población y en particular los niños menores de cinco años no solo sobrevivan sino que puedan desarrollarse plenamente.

**Palabras clave:** Conglomerados espaciales, Asociación espacial, Condicionantes Socioespaciales de la Salud, Mortalidad Infantil, Región Pacífico Sur Mexicano.

## Spatial identification of infant mortality clusters in the Mexican South Pacific region and their association with Sociospatial Determinants of Health

Infant mortality is a serious public health problem at all levels (municipal, state, national and international), since the death of an infant within the first five years of life becomes an important problem of social justice because it glimpses socioeconomic inequities, infrastructure and access to health, although this type of death is found after the 10 main causes of mortality in the population is of great importance and vulnerability, so it was proposed within the Millennium and Sustainable Development Goals; since both are an indicator of health services, the economic development of countries and the social welfare of the population. However, most child deaths are preventable because more than half die from preventable and treatable diseases, where part of it derives from the nutritional status of mother and child.

In this sense, there are marked differences in this type of mortality between the different territorial levels and even in the same society, conditioned mainly to its level of development; where populations with better conditions are managing to reduce this problem unlike those places that present economic or social problems; Therefore, infant deaths become an exceptional and spaced event, since the incidence and prevalence of this mortality will stand out in territories with previously mentioned characteristics.

The Geography of Health from its multiple theoretical approaches around the relationship that exists between geographical space and health problems, provides a solid theoretical basis to understand the man-health-environment process. In addition to this, with the incorporation of methodologies derived from quantitative geography such as quantitative spatial analysis and the use of geotechnologies, such as Geographic Information Systems (GIS), they allow various spatial evaluations of health problems in order to show and understand the configurations of health events in a spatial way, allowing to deepen the knowledge and behavior of the man-health-environment process, the identification of healthy spaces and health-promoting conditions; and in this way it helps to propose strategies or public policies focused on reducing health inequities.

The Mexican South Pacific region is made up of the States of Guerrero, Oaxaca and Chiapas, and 775 municipalities, it is also a vast territory of natural and water resources due to its privileged geographical location, so it was an optimal place for the development of various civilizations. At present, certain characteristics of the region such as the relief serve as lines of inequality among the population derived from the lack of economic development and infrastructure, for which the population faces various factors (social, economic, environmental, cultural, political, as well as accessibility to health services) that prevent satisfying the levels of well-being in health, where infants are one of the main population groups most affected.

For three decades the region of the southern Mexican Pacific has presented the highest infant mortality rates (IMR) occupying the first positions at the national level, in 1990 the infant mortality rate at the national level was 670.59 per 100,000 children under five years, while at the regional level it was 721.84. In 2000, with the establishment of

the Millennium Development Goals (MDGs), the goal of reducing two thirds of infant mortality was set, however, the country did not achieve the target, since this year a rate of 430.30 was recorded when it should have been 143.43; The same happened in the region, with rates higher than the national rate. After completing the MDGs in 2015 and the emergence of the Sustainable Development Goals (SDGs), they again set out to achieve the same targets, however, after five years infant mortality in the region is still slightly higher than the national rate; where the main causes of death are those related to the perinatal period, infectious, parasitic and respiratory, the latter those that occur due to risk factors related to their living conditions.

The study of Infant Mortality (IM) from the perspective of the geography of health and with the application of spatial analysis methodologies with Geographic Information Systems (GIS), allow us to better understand the distribution of mortality and the association it has with the Sociospatial Determinants of Health (SSC), which refer to the circumstances in which people are born, They grow, live, work and age, but they also derive from the distribution of money, power and resources; affecting the health status of the population.

In this sense, the objective of this research is to identify spatial clusters that show the relative risk of children under five dying during the years 2010-2020; Similarly, the purpose is to analyze spatially the association of the Sociospatial Determinants of Health that influence to increase the risk of infant mortality locally.

The methodology used consisted first of obtaining the figures of infant deaths for the period 2010-2020 through the National Health Information System (SINAIS), in the same way the health infrastructure information was from the Catalog of Unique Key of Health Establishments (CLUES), while the vaccination data were from Services granted and the amount of investment of money to the health sector was acquired from the Health System Health Accounts at Federal and State Level (SI-CUENTAS), belonging to the Ministry of Health (SS). For its part, the socioeconomic and housing data for 2010 and 2020 were obtained from the National Institute of Statistics and Geography (INEGI), through the Population and Housing Census 2010 and 2020. As well as the variables of accessibility referred to the density of roads and travel time to a health service were from the Ministry of Roads and Transport, and the Platform for the Territorial Analysis of Poverty of the National Council for the Evaluation of Social Development Policy (CONEVAL). Given this, the database at its cartographic level is made up of 775 municipal polygons distributed in three Mexican States (Guerrero, Oaxaca and Chiapas) and in its alphanumeric level by 20 variables, of which one is the dependent variable that is the infant mortality rate and 19 independent, which correspond to variables of social aspect (illiteracy, level of schooling, overcrowding, rural or urban living area, etc.), economic (income, GDP per capita and employed EAP) and health infrastructure (health units, medical personnel, travel time, medical equipment) and housing (water service, drainage and floor and roof material of the house). Later se calculateor the growth rate, this technique is applied because the census and the intercensal survey are only carried out every 5 and 10 years, so the growth rate allows to generate an estimate of the population under study in the years that there was no survey. This was followed by the crude infant mortality rate per 100,000 children under five years of age for each year of the period, which shows an approximate picture of the spatial distribution of the problem.

Then the Poisson distribution method was applied in the *SatScanTM*® software, which allows analyzing the geographical distribution of the incidence of infant mortality, in order to determine the existence of geographical groups based on relative risk. Likewise, the Poisson distribution method poses a system of hypotheses, the null hypothesis (H0) infers that each spatial unit within the geographical limits are homogeneous with a constant intensity, where the observed value and the expected value are equal, while the alternate hypothesis (H1) states that the values are different, that is, there is a high risk compared to the outside. In order to accept or reject H0, the p-value (less than 0.05) must be calculated through a Monte Carlo simulation of 999 random replications, when the probability is less than the significance level of the test, the null hypothesis is rejected.

To analyze the spatial association, the index of I Moran was applied, however as the global autocorrelation statistics are known, they are not able to detect the instability or spatial drift of certain local structures of association, that is why the Local Indicator of Spatial Association (LISA) was applied. since they provide structural information of each one and the relationships that exist between the variables, determining anomalous cases (outliers), spatial associations, clusters, or hot spots; this analysis was developed in the *GeoDaTM* software and the mapping in the *ArcGIS 10.8 program*.

Some of the relevant results of the research that yielded the Poisson distribution analysis was the identification of 25 clusters in the region, where the main one presented a relative risk factor of 473.36, which means that in this territory the probability of dying of a child under five years of age is 473.36 times greater than the population living in another part of the region or surroundings. Likewise, two clusters with a low relative risk were identified, due to the lowest infant mortality rate during the period. On the other hand, with the results of the application of the I Moran and local index of Moran it was possible to identify vulnerable municipalities, which present high IMRs in a municipality and high socioeconomic deficiencies in their corresponding neighboring municipalities; although the results of I of global Moran present values not so high s but if statistically significant, An analysis of the local indicator of spatial association yielded preliminary results that may explain infant mortality in municipalities and its relationship with some socioeconomic conditions such as indigenous population, level of schooling, income and access to health services, drainage service and housing construction material.

The research evidenced the differential distribution of rates and the conformation of clusters with high and low relative risk of infant mortality that occur in the region, as well as the sociospatial determinants of health that increase this mortality. However, it is important to note that the SSC analyzed are within a social context, so that, in addition to these conditions, there are others referring to the individual level that also increase the probability of dying of children under five years of age and that mainly have to do with food and also with the quality of care provided by medical personnel.

That said, with this research a first approach to the problem of infant mortality in the region is made, in addition elements are provided through the identification of the sociospatial conditions that are associated with this mortality and that will contribute to decision-making for the management and implementation of strategies and public policies in health according to the territory in reference to a livelihood and thus be

able to achieve the Sustainable Development Goals, where not only infant mortality is reduced, but also establish healthy territories in which the entire population and in particular children under five years of age not only survive but can fully develop.

**Keywords:** Spatial Clusters, Space Association, Sociospatial Determinants of Health, Infant Mortality, Mexican South Pacific Region.

# ANÁLISIS ESPACIAL DE LA POBREZA (VULNERABILIDAD) SOCIOECONÓMICA INFANTIL EN EL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO

VILLERÍAS SALINAS, SALVADOR

Centro de Investigación y Posgrado en Estudios Socioterritoriales Acapulco. Universidad Autónoma de Guerrero. Priv. Bahía 31, Las Playas, 39390 Acapulco, Guerrero, México, [svillerias@uagro.mx](mailto:svillerias@uagro.mx)

La vulnerabilidad infantil tiene un carácter multidimensional y representa a diversas escalas las carencias y privaciones que tienen los hogares con niños, niñas y adolescentes que experimentan condiciones adversas de poder acceder a ciertos bienes. Sin embargo, también la pobreza se puede distinguir como la privación de capacidades básicas y no solo como la falta de ingresos, aun cuando tiene importancia. También los estudios de la pobreza infantil están relacionados con el enfoque de los derechos de los niños, “donde los reconoce como individuos como seres humanos menores de los 18 con derecho pleno con desarrollo físico, mental y social, y con derechos a expresarse libremente sus opiniones”. Este sector es un grupo de infantes con mayor vulnerabilidad y que son representados por los niños más pequeños, niños de pueblos originarios, migrantes y aquellos que viven en una situación monoparentales. Igualmente, la vulnerabilidad se considera como un sistema dinámico, que tiene su origen por las consecuencias de diferentes interacciones de una serie de factores y características endógenas y exógenas de cierta comunidad o grupo de población. Bajo esta concepción la vulnerabilidad existe en todos los niveles de la sociedad y es considerada como parte integrante de la naturaleza humana. Sin embargo, la vulnerabilidad está muy relacionada con la pobreza y el nivel de desarrollo socioeconómico del país, de las regiones, estados y municipios, estas disparidades, derivan de la combinación dinámica de los recursos naturales, culturales, económicos, sociales. En este sentido, la vulnerabilidad es diferenciada en los distintos espacios territoriales en las diferentes escalas y los niveles más altos se dan las zonas con mayor exclusión.

La geografía como ciencia multidisciplinar y sus planteamientos teóricos para entender el espacio geográfico ha desarrollado numerosos y procedimientos metodológicos, que han estado en continuo proceso de evolución y de esta forma la comprensión de las desigualdades espaciales entendida como la geografía de las desigualdades. En este sentido, con apoyo de las técnicas cuantitativas y con el sur-

gimiento de las geotecnologías se han permitido sentar las bases tecnológicas para digitalizar la información geográfica y modelar el espacio geográfico, de esta forma representar la realidad territorial como una nueva forma de ver la realidad, para entender el comportamiento del sistema complejo de relaciones de la vulnerabilidad y coadyuvar a plantear estrategias para desarrollar políticas públicas para disminuir las disparidades sociales relacionadas con la vulnerabilidad infantil.

El estado de Guerrero está constituido por 81 municipios y tiene una gran riqueza en recursos naturales que lo sitúan como el cuarto estado con mayor biodiversidad, uno de los cinco con mayor riqueza hídrica. En consideración de su riqueza natural, el estado se caracteriza en los indicadores económicos con un nivel de desarrollo Muy Bajo, con la mayor pobreza alimentaria del país, con una industria de la transformación muy incipiente, con altos índices de marginación social y elevada violencia. La riqueza natural poco ha contribuido a su desarrollo y, por el contrario, existen evidencias de un importante deterioro ambiental. Por otra parte, en el estado de Guerrero existen pocas localidades urbanas, donde habita el 55 % de la población. En estas existen diversos problemas como el crecimiento desordenado de la ciudad, insuficiente y deficiente dotación de servicios públicos, así como la falta de planeación. Por otro lado, el 45 % de la población habita en la zona rural del estado, vive con un alto grado de dispersión rural y están caracterizadas por una elevada marginación social. Además, que están asentados cuatros pueblos originarios. Por otro lado, el relieve montañoso que prevalece en el estado y las condiciones socioeconómicas, factores que contribuyen con la vulnerabilidad infantil del estado.

El estado de Guerrero ubicado en el sur de México, desde hace décadas ha tenido un rezago social a nivel nacional que no ha podido superar. La población total del estado fue de 3,540,685 habitantes en 2020, se estimó que el 66.5 % (235,455,552) de la población de la entidad vivía en situación de pobreza; de este porcentaje, 39.7 % se encontraba en pobreza moderada y el 26.8 % en situación de pobreza extrema. La pobreza en la entidad está muy marcada y ocupa el tercer lugar a nivel nacional. Se estima que en México el 49.6 % de los niños y adolescentes viven en situación de pobreza y en la entidad se estimó que fue del 73.1 % y ocupó el segundo estado a nivel nacional. Por otro lado, de acuerdo con los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) de poner fin a la pobreza y mejorar las condiciones de vida de las personas, en consideración con las metas propuestas, el panorama en Guerrero no es halagador; ha estado ocurriendo desplazamiento por violencia, no hay inversión en la zona rural, la generación de empleos formales es escasa, el acceso las bienes y servicios tienen un costo elevado. Por lo que, lejos de reducir la pobreza esta tiene una tendencia a crecer y por consecuencia la vulnerabilidad se incrementa y la población más afectada serán las niñas, niños y los adolescentes. Vivir en situación de pobreza durante la infancia y adolescencia limita la posibilidad de las personas a desarrollar su potencial en el futuro y los vuelve más vulnerables socialmente.

El análisis de la vulnerabilidad infantil desde el enfoque de la geografía de las desigualdades y con el empleo de metodología cuantitativas y el uso de sistemas de información geográfica, permiten hacer un mejor análisis espacial de la distribución de la vulnerabilidad asociada con los indicadores socioeconómicos de la población referentes al acceso a: dispositivos de información, hacinamiento, agua,



analfabetismo, nivel escolar, la dependencia económica. Sin embargo, las múltiples carencias y privaciones repercuten en el desarrollo de las niñas, niños y adolescentes de forma diferenciada en la vulnerabilidad de la población propuesta en este análisis.

Bajo este contexto, el objetivo de esta investigación fue identificar la distribución espacial de la población más vulnerabilidad de las niñas, niños y adolescente en 2020 y revelar que unidades espaciales comparten características cercanos o similares con relación a los indicadores de pobreza infantil.

El desarrollo metodológico consistió en primer lugar se seleccionaron indicadores para medir los niveles de vulnerabilidad en el territorio guerrerense. Además, para garantizar un análisis significativo se emplearon datos de las fuentes oficiales como el Instituto de Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), a través del Censo de Población y Vivienda 2020. La base cartográfica está constituida por 81 polígonos municipales distribuidos en siete regiones estatales. Para la selección de los indicadores se tomó en consideración los aspectos socioeconómicos que son significativos y que ayudan a comprender el territorio en cuestión. Además de considerar la disponibilidad de la información estadística que es fundamental para este análisis y los indicadores utilizados fueron: Tasa de actividad económica es una variable importante ayuda a observar el desarrollo económico de un territorio y mide el nivel de empleo. Este indicador permite estimar qué porcentaje de la población tiene actividad económica, esto ayuda a comprender el escenario del mercado laboral de un Territorio. La tasa de desocupación es la población económicamente activa que no tiene un empleo pero que está en proceso de búsqueda (no consiguen trabajar); Este indicador muestra hasta cierto punto la incapacidad de una economía (país, estado, región, municipio) de generar puestos de trabajo para la población que está desocupada. Permite generar un escenario de las condiciones económicas relacionadas con el ingreso que tiene para población para poder adquirir los bienes y servicios, significa una relación directa entre mayor desocupación de la población va a existir mayor vulnerabilidad económica. La Tasa de Dependencia económica se define como la relación de la población dependiente (menores de 14 años) respecto a la población con actividad económica en el territorio. A medida que la tasa es mayor indica que la carga económica recae en la población activa laboralmente, además se incrementa la vulnerabilidad de personas de la tercera edad e infantil. Se consideran dos variables de vivienda y condición de vida como: el acceso a agua potable y hacinamiento, así como también el acceso a dispositivos de la información, en este caso se analizó las viviendas particulares habitadas sin tecnologías de la información y comunicación, además se consideró el grado promedio escolar, el indicador pondera el promedio de los grados escolares que tiene la población aprobada dentro del sistema educativo y se inicia con el nivel básico (educación primaria). Permite detectar las brechas entre las diferentes generaciones y grupos de edad.

Para determinar la vulnerabilidad se utilizó el del “Valor Índice Medio” (VIM). El método consiste obtener un valor para cada unidad territorial que es parte de una síntesis un conjunto de variables y posteriormente clasificarla, la secuencia es la siguiente: 1) Elaborar una matriz con los indicadores seleccionados; 2) Se calcula la media aritmética y la desviación típica de los datos de cada unidad espacial; 3) Los

valores se estandarizan (la media aritmética se resta al valor del indicador y se divide entre la desviación estándar) para ser comparables todos los datos se clasifican los valores obtenidos de acuerdo con los intervalos designados. El VIM se obtiene al realizar el promedio de los datos obtenidos de cada unidad territorial y presenta de acuerdo con los rangos establecidos. La representación cartográfica se realizó en el programa ArcGis 10.8.

A partir de la información estadística se constató, las condiciones de vulnerabilidad socioeconómica infantil del estado de Guerrero, los resultados muestran que: en la región de La Montaña y los municipios de la vertiente interna de la sierra Madre del Sur y de acuerdo con los siete indicadores desarrollados, estos municipios tienen los valores más altos por arriba de la media, por lo que, concentran la mayor vulnerabilidad infantil en la entidad. Los que tiene mejores condiciones están representados por los valores de los indicadores y estos están representados por los municipios con mayor desarrollo socioeconómico como: Acapulco, Chilpancingo, Zihuatanejo, Iguala, Taxco y Tlapa, que además son nodos comerciales en su región; además concentran el mayor número de servicios educativos, salud, agua potable, con el mayor número de viviendas con tecnologías de la información y comunicación, así como también las mejores condiciones de actividad económica y menor población desocupada. Por lo que, las mayores privaciones y sobre todo, la falta de empleo tiene consecuencias sociales, y el efecto se observa en la población infantil que la vuelve más vulnerabilidad.

Por otro lado, es importante destacar que en Guerrero a pesar de que el modelo presenta municipios con Muy Bajo y Bajos nivel de vulnerabilidad infantil, se requieren proyectos de inversión para que impulsen, la economía del estado. Aun cuando existen actividades económicas importantes como la minería, turismo. La primera no tiene efectos en la economía de los lugares donde se efectúa, la segunda se desarrolla en Acapulco, Zihuatanejo y Taxco, es de suma importancia esta última con un sentido de participación local. Además de impulsar las actividades primarias de forma empresarial y sostenible.

Bajo este contexto, esta investigación realiza una aproximación a través de aplicar indicadores sintéticos, para analizar la vulnerabilidad infantil y detectar espacialmente que municipios requieren mayor atención y coadyuvar con la elaboración de estrategias y políticas públicas para disminuir la vulnerabilidad infantil e impactar en los Objetivos del Desarrollo Sostenible, en el territorio guerrerense.

*Palabras clave:* Análisis espacial, vulnerabilidad infantil, Valor índice medio, estado de Guerrero.

## Spatial analysis of child socioeconomic poverty (vulnerability) in the state of Guerrero, Mexico

Child vulnerability is multidimensional in nature and represents, at various scales, the deficiencies and deprivations of households with children and adolescents who experience adverse conditions of being able to access certain goods. However, poverty can also be distinguished as the deprivation of basic capabilities and not only as lack of income, even though it matters. Child poverty studies are also related to the children's rights approach, "where it recognizes them as individuals as human beings under the age of 18 with full rights to physical, mental and social development, and with rights to freely express their opinions." This sector is a group of children with greater vulnerability and who are represented by the youngest children, children of indigenous peoples, migrants and those who live in a single-parent situation. Likewise, vulnerability is considered as a dynamic system, which has its origin due to the consequences of different interactions of a series of factors and endogenous and exogenous characteristics of a certain community or population group. Under this conception, vulnerability exists at all levels of society and is considered an integral part of human nature. However, vulnerability is closely related to poverty and the level of socioeconomic development of the country, regions, states and municipalities, these disparities derive from the dynamic combination of natural, cultural, economic, social resources. In this sense, vulnerability is differentiated in the different territorial spaces at different scales and the highest levels are the areas with the greatest exclusion.

Geography as a multidisciplinary science and its theoretical approaches to understanding geographical space has developed numerous methodological procedures, which have been in a continuous process of evolution and thus the understanding of spatial inequalities understood as the geography of inequalities. In this sense, with the support of quantitative techniques and with the emergence of geotechnologies, it has been possible to lay the technological foundations to digitize geographic information and model the geographical space, in this way represent the territorial reality as a new way of seeing reality, to understand the behavior of the complex system of relations of vulnerability and help to propose strategies to develop public policies to reduce social disparities related to child vulnerability.

The state of Guerrero is made up of 81 municipalities and has a great wealth of natural resources that place it as the fourth state with the greatest biodiversity, one of the five with the greatest water wealth. In consideration of its natural wealth, the state is characterized in economic indicators with a very low level of development, with the highest food poverty in the country, with a very incipient processing industry, with high rates of social marginalization and high violence. Natural wealth has contributed little to its development and, on the contrary, there is evidence of significant environmental deterioration. On the other hand, in the state of Guerrero there are few urban localities, where 55% of the population lives. In these there are various problems such as the disorderly growth of the city, insufficient and deficient provision of public services, as well as the lack of planning. On the other hand, 45% of the population lives in the rural area of the state, lives with a high degree of rural dispersion, and is characterized by high social marginalization. In addition, four native peoples are

settled. On the other hand, the mountainous relief that prevails in the state and the socioeconomic conditions, factors that contribute to the child vulnerability of the state.

The state of Guerrero located in southern Mexico, for decades has had a social lag at the national level that has not been able to overcome. The total population of the state was 3,540,685 inhabitants in 2020, it was estimated that 66.5% (235,455,552) of the population of the entity lived in poverty; Of this percentage, 39.7% were in moderate poverty and 26.8% in extreme poverty. Poverty in the state is very marked and ranks third nationally. It is estimated that in Mexico 49.6% of children and adolescents live in poverty and in the state it was estimated that it was 73.1% and occupied the second national state. On the other hand, in accordance with the sustainable development goals (SDGs) of ending poverty and improving people's living conditions, in consideration of the proposed goals, the outlook in Guerrero is not flattering; Displacement has been occurring due to violence, there is no investment in rural areas, the generation of formal jobs are scarce, access to goods and services have a high cost. Therefore, far from reducing poverty, it has a tendency to grow and consequently vulnerability increases and the population most affected will be children and adolescents. Living in poverty during childhood and adolescence limits people's ability to develop their potential in the future and makes them more socially vulnerable.

The analysis of child vulnerability from the approach of the geography of inequalities and with the use of quantitative methodology and the use of geographic information systems, allow a better spatial analysis of the distribution of vulnerability associated with the socioeconomic indicators of the population regarding access to: information devices, Overcrowding, drinking water, illiteracy, school level, economic dependence. However, the multiple deficiencies and deprivations have a different impact on the development of children and adolescents in a differentiated way in the vulnerability of the population proposed in this analysis.

In this context, the objective of this research was to identify the spatial distribution of the most vulnerable population of children and adolescents in 2020 and to reveal which spatial units share close or similar characteristics in relation to child poverty indicators.

The methodological development consisted in the first place, indicators were selected to measure the levels of vulnerability in the territory of Guerrero. In addition, to ensure a meaningful analysis, data from official sources such as the National Institute of Statistics and Geography (INEGI) were used, through the 2020 Population and Housing Census. The cartographic base consists of 81 municipal estates distributed in seven state regions. For the selection of the indicators, the socio-economic aspects that are significant and that help to understand the territory in question were taken into account. In addition to considering the availability of statistical information that is fundamental for this analysis and the indicators used were: Rate of economic activity is an important variable helps to observe the economic development of a territory and measures the level of employment. This indicator allows estimating what percentage of the population has economic activity, this helps to understand the scenario of the labor market of a Territory. The unemployment rate is the economically active population that does not have a job but is in the process of searching (unable to work); This indicator shows to some extent the inability of an economy (country, state, region, municipality) to generate jobs for the unemployed population. It allows

to generate a scenario of the economic conditions related to the income that it has for the population to be able to acquire the goods and services, it means a direct relationship between greater unemployment of the population there will be greater economic vulnerability. The Economic Dependency Ratio is defined as the ratio of the dependent population (under 14 years of age) to the population with economic activity in the territory. As the rate is higher, it indicates that the economic burden falls on the labor active population, in addition the vulnerability of the elderly and children increases. Two variables of housing and living conditions are considered: access to drinking water and overcrowding. As well as access to information devices, in this case private homes inhabited without information and communication technologies were analyzed, in addition the average school grade was considered, the indicator weights the average of the school grades that the approved population has within the educational system and begins with the basic level (primary education). It allows to detect the gaps between the different generations and age groups.

To determine the vulnerability, the "Average Index Value" (VIM) was used. The method consists of obtaining a value for each territorial unit that is part of a synthesis a set of variables and then classifying it, the sequence is as follows: 1) Develop a matrix with the selected indicators; 2) The arithmetic mean and standard deviation of the data for each spatial unit are calculated (Table 2); 3) The values are standardized (the arithmetic mean is subtracted from the indicator value and divided by the standard deviation) to be comparable all data are classified the values obtained according to the designated intervals. The VIM is obtained by averaging the data obtained from each territorial unit and presented according to the established ranges. The mapping was performed in the ArcGis 10.8 program.

From the statistical information it was verified, the conditions of child socio-economic vulnerability of the state of Guerrero, the results show that: in the region of La Montaña and the municipalities of the internal slope of the Sierra Madre del Sur and according to the seven indicators developed, these municipalities have the highest values above the average, therefore, they concentrate the greatest child vulnerability in the entity. Those with the best conditions are represented by the values of the indicators and these are represented by the municipalities with the greatest socioeconomic development such as: Acapulco, Chilpancingo, Zihuatanejo, Iguala, Taxco and Tlapa, which are also commercial nodes in their region; They also concentrate the largest number of educational services, health, drinking water, with the largest number of homes with information and communication technologies, as well as the best conditions of economic activity and the lowest unemployed population. Therefore, the greatest deprivation and above all, the lack of employment has social consequences, and the effect is observed in the child population that makes it more vulnerable.

On the other hand, it is important to note that in Guerrero, despite the fact that the model presents municipalities with a very low and low level of child vulnerability, investment projects are required to boost the state's economy. Even when there are important economic activities such as mining, tourism. The first has no effect on the economy of the places where it takes place, the second is developed in Acapulco, Zihuatanejo and Taxco, the latter is of utmost importance with a sense of local participation. In addition to promoting primary activities in a business and sustainable way.

In this context, this research makes an approach through the application of synthetic indicators, to analyze child vulnerability and spatially detect which municipalities require greater attention and contribute to the development of strategies and public policies to reduce child vulnerability and impact on the Sustainable Development Goals, in the territory of Guerrero.

**Keywords:** Spatial analysis, child vulnerability, Average index value, warrior status.

# ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LAS CIUDADES DE CHENGDU (CHINA) Y MADRID (ESPAÑA) CON APLICACIONES DE LAS TIG

WANG, WENYU

Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Autónoma de Madrid, Calle Francisco Tomás y Valiente, 1 (Campus de Cantoblanco), 28049 Madrid, España, [wenyu.wang@estudiante.uam.es](mailto:wenyu.wang@estudiante.uam.es) ; [e.wangwenyu@outlook.com](mailto:e.wangwenyu@outlook.com)

Dada la importancia de la calidad del aire y la mala situación actual, este trabajo analiza la contaminación atmosférica, comparando dos ciudades: Chengdu y Madrid, situadas en China y España respectivamente.

El objetivo principal de este trabajo es comparar la calidad del aire de las ciudades de Chengdu y Madrid. En detalle, hay unos objetivos específicos tales como comparar la legislación china con la legislación española y europea; comparar los niveles de contaminación de distintos contaminantes en ambas ciudades; analizar y resumir los datos estadísticos descriptivos de los contaminantes ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$  y  $O_3$ ) en ambas ciudades; analizar la distribución espacial de los mismos.

En este trabajo se ha analizado medias anuales y mensuales de la concentración de los cuatro contaminantes ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$  y  $O_3$ ) y los números de días de superación de la media octohoraria de  $O_3$  de cada estación de calidad del aire en ambas ciudades para el año 2021.

Las medias mensuales y anuales de Chengdu son calculadas a partir de los datos diarios descargados de <https://quotsoft.net/air/>. Los números de días de superación también son calculados usando los máximos diarios de las medias octohorarias obtenidas de dicha página web. Los datos de esa web provienen del Centro Nacional de Monitoreo de Medioambiente de China.

Los datos de Madrid proceden de la Memoria Anual de Calidad del Aire 2021 y del Portal de calidad del aire del Ayuntamiento de Madrid.

En el apartado de análisis espacial se han hecho mapas con ArcGIS para presentar la distribución espacial de los contaminantes, con datos de las concentraciones medias anuales, utilizando dos métodos de interpolación espacial: el Kriging y la Media Ponderada por el Inverso de la Distancia (IDW). Los parámetros utilizados

en las interpolaciones han sido, un círculo como forma de búsqueda de vecindad, número de vecinos entre un máximo de 5 y un mínimo de 2 o 3, obteniendo así los mapas de interpolación. La validación cruzada con unos estadísticos permite validar los resultados obtenidos.

La normativa sobre la calidad del aire varía de unos países a otros porque las condiciones económicas, tecnológicas y políticas son diferentes. Por lo tanto, en este trabajo, se ha hecho una tabla para comparar los valores límites de 3 escalas temporales (horarios, diarios y anuales) para los cuatro contaminantes ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$  y  $O_3$ ) entre China, España y la Organización Mundial de la Salud.

El resultado es que los valores límites de España son inferiores o iguales (límites horarios y anuales de  $NO_2$ ) a los de China, y los valores fijados por las Directrices de la OMS son aún más bajos que los de estos dos países. En general, las normas de España son más estrictas que las de China, y las directrices de la OMS son las más rigurosas.

También existen otras diferencias entre las normas de ambos países. Por ejemplo, España no tiene valores límites diarios para  $PM_{2.5}$  y  $NO_2$ . Para algunos contaminantes ( $PM_{10}$  diario,  $NO_2$  y  $O_3$  horario), las normas que España tiene son de tipo compuesto. Es decir, establece un valor límite de la concentración y también pone un máximo de veces de superación en un periodo de tiempo determinado; esto último es lo que no existe en las normas de China.

Estadísticamente, se han hecho gráficos para presentar y comparar la concentración de los cuatro contaminantes en las dos ciudades. Los resultados resumidos son los siguientes:

La concentración media anual de  $PM_{10}$  de Chengdu ( $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) es más de tres veces superior a la de Madrid ( $18,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En ambas ciudades no se han superado los límites establecidos por las legislaciones de los respectivos países ( $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para Chengdu y  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para Madrid). Pero dada la alta concentración de  $PM_{10}$  en Chengdu, la ciudad presenta serios problemas para la salud de la población.

En cuanto a la evolución mensual de la concentración, hay mucha diferencia entre las dos ciudades. En Chengdu, la concentración de  $PM_{10}$  es más elevada en invierno que en verano, mientras que, en Madrid, la máxima concentración aparece en verano (agosto). Hay que destacar que, en Chengdu, la variación mensual es muy grande ( $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mientras que, en Madrid, la diferencia de las concentraciones entre los meses es mucho menor ( $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

El valor medio anual de  $PM_{2.5}$  de Chengdu ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) es más de cuatro veces superior al de Madrid ( $9,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Ninguna estación de Madrid ha superado el valor límite ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y están muy lejos de ese valor. En Chengdu, casi todas las estaciones superan el valor límite ( $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), menos una estación que tiene una concentración media anual de  $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , muy cerca del valor límite. En conclusión, la contaminación por  $PM_{2.5}$  en Chengdu es mucho más grave que en Madrid.

La distribución temporal de  $PM_{2.5}$  de las dos ciudades son muy distintas, las causas de esta evolución y las fuentes de estas partículas también son diferentes. En Chengdu solo hay un máximo en enero. Sin embargo, en Madrid hay dos picos (enero



y agosto), todos ellos por la invasión de masas de aire de polvo sahariano. Igual que  $PM_{10}$ , la diferencia entre la concentración máxima y mínima de  $PM_{2,5}$  en Chengdu ( $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) es mucho más elevada que en Madrid ( $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

La concentración media anual de  $NO_2$  de Madrid es  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y la de Chengdu es  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , un poco más alta que la de Madrid. Los dos países tienen el mismo valor límite ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de concentración media anual de  $NO_2$ . En Madrid, hay una estación que supera ese valor, que es Plaza Elíptica con  $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En Chengdu, hay cuatro estaciones que superan el valor límite. En conclusión, la contaminación por  $NO_2$  en Chengdu es ligeramente peor que en Madrid.

La distribución temporal de  $NO_2$  en ambas ciudades no es igual, pero tienen una misma característica: mayor concentración en invierno que en verano. Sin embargo, las causas son distintas. La oscilación de la concentración mensual es similar en Chengdu y Madrid, con  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente.

Las dos ciudades tienen la misma concentración media anual de  $O_3$  ( $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y un ritmo temporal similar. La concentración en verano es mucho mayor que en invierno. La diferencia entre el valor máximo y el mínimo alcanza en Chengdu  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y en Madrid  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Pero la gran diferencia entre ambas ciudades se produce si se compara el número de veces que se supera la media octohoraria. En Chengdu, el número de días que la media octohoraria de  $O_3$  supera el límite chino ( $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) varía entre 15 y 42. Hay 30 días de superación en promedio. Las superaciones del valor límite europeo ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oscilan entre 64 y 97 días. El promedio es de 80 días. En Madrid, el máximo de superación del valor límite europeo es de 39 días en Tres Olivos, el mínimo es de 0 en Ensanche de Vallecas. El promedio de superaciones es de 19 días. Por esta razón, la contaminación por ozono en Chengdu es mucho más grave que en Madrid.

Al comparar los mapas de interpolación, los principales resultados son los siguientes:

En Chengdu, las mayores concentraciones de  $PM_{10}$  se localizan en la zona centro-noroeste de la ciudad. La concentración disminuye del centro al exterior, presentando una forma casi concéntrica.

En Madrid, la mayor concentración de  $PM_{10}$  aparece en el este, especialmente, la estación Urb. Embajada tiene el valor medio anual más alto ( $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La zona norte de Madrid tiene la menor concentración de  $PM_{10}$ .

Igual que  $PM_{10}$ , las  $PM_{2,5}$  también se concentran en el centro-noroeste de Chengdu. La gran mayoría de las zonas tienen concentraciones mayores de  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , excepto una pequeña parte del este.

Como en Madrid solo hay 8 estaciones en la zona central que miden  $PM_{2,5}$  y, además casi no hay variedad entre los valores ( $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  o  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), carece de sentido hacer un mapa de interpolación. Por lo tanto, solo se presentan las ubicaciones de dichas estaciones y sus valores medios anuales de  $PM_{2,5}$ . Se ve que la distribución espacial de  $PM_{2,5}$  es homogénea en Madrid. Debido a la falta de más información, no se sabe si realmente es así.

La distribución espacial del  $\text{NO}_2$  en Chengdu indica que la máxima concentración (por encima de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se localiza en el centro de la ciudad, formando una banda que se extiende hacia el noreste. Desde esta zona central el  $\text{NO}_2$  disminuye hacia el exterior.

En cuanto a Madrid, la mayor concentración de  $\text{NO}_2$  aparece en la parte meridional y también en el centro (mayor de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Solo hay una estación que supera el límite de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que es Plaza Elíptica, un lugar de mucho tráfico.

La distribución espacial de ozono es muy diferente a la de otros contaminantes. En Chengdu, la mayor concentración aparece en el sureste y el noroeste, justo las zonas más cercanas a las montañas. En el centro de la ciudad se encuentra la menor concentración de  $\text{O}_3$ .

En Madrid, la zona norte tiene mayor concentración de  $\text{O}_3$  que la zona sur. Especialmente, la estación que está situada en el noreste, Tres Olivos, tiene el valor medio anual más alto ( $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La estación Ensanche de Vallecas que está en el sureste, tiene la menor concentración de  $\text{O}_3$  ( $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Un fenómeno muy interesante es que, en Chengdu, la zona con mayor concentración de  $\text{O}_3$  coincide con la zona de menor concentración de  $\text{NO}_2$ , y viceversa. En Madrid, esta característica no es tan evidente como en Chengdu, pero en general, la concentración de  $\text{O}_3$  y la de  $\text{NO}_2$  tiene una correlación negativa.

**Palabras clave:** contaminación atmosférica, interpolación espacial,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ .

**Agradecimientos:** Este trabajo es mi Trabajo Fin de Grado. Me gustaría agradecer a mi tutora de TFG, Dra. Rosa Cañada Torrecilla por su sabiduría y paciencia, por su exigencia y dedicación, y especialmente, por su incansable estímulo e incondicional apoyo. También fue ella quien me animó a redactar este resumen y participar en este congreso.

## Comparative study of atmospheric contamination in the cities of Chengdu (China) and Madrid (Spain) with TIG applications

Because of the importance of air quality and the current bad situation, this paper analyses air pollution, comparing two cities: Chengdu and Madrid, located in China and Spain respectively.

The main objective of this paper is to compare the air quality of the cities of Chengdu and Madrid. In detail, there are specific objectives such as comparing Chinese legislation with Spanish and European legislation; compare the pollution levels of different pollutants in both cities; analyse and summarize the descriptive statistical data of pollutants ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{NO}_2$  and  $\text{O}_3$ ) in both cities; analyse their spatial distribution.

In this thesis, annual and monthly means of the concentration of the four pollutants ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$  and  $O_3$ ) have been analysed, as well as the number of days exceeding the eight-hour average of  $O_3$  of each air quality station in both cities for the year 2021.

Chengdu monthly and yearly averages are calculated from daily data downloaded from <https://quotsoft.net/air/>. The number of days exceeded are also calculated using the daily maximums of the eight-hour averages obtained from said website. The data on that website comes from China National Environmental Monitoring Centre.

The data of Madrid come from the 2021 Annual Air Quality Report and Air Quality Portal of the Madrid City Council.

In the spatial analysis section, maps have been made with ArcGIS to present the spatial distribution of pollutants, with data of average annual concentrations, using two spatial interpolation methods: Kriging and Inverse Distance Weighting (IDW). The parameters used in the interpolations have been, a circle as a form of neighbourhood search, number of neighbours between a maximum of 5 and a minimum of 2 or 3, thus obtaining the interpolation maps. The cross validation with some statistics allows to validate the obtained results.

Regulations of air quality vary from one country to another because the economic, technological, and political conditions are different. Therefore, in this paper, a table has been made to compare the limit values of three time scales (hourly, daily and annual) for the four pollutants ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$  and  $O_3$ ) between China, Spain and the World Health Organization.

The result is that the limit values of Spain are lower than or equal (hourly and annual  $NO_2$  limits) to those of China, and the values set by the WHO Guidelines are even lower than those of these two countries. In general, Spain's standards are stricter than China's, and the WHO guidelines are the most stringent.

There are also other differences between the standards of both countries. For example, Spain does not have daily limit values for  $PM_{2.5}$  and  $NO_2$ . For some pollutants (daily  $PM_{10}$ , hourly  $NO_2$  and  $O_3$ ), the standards that Spain has are of a composite type. It establishes a limit value of the concentration and also sets a maximum of times of exceedance in a certain period of time; the latter is what does not exist in China's standards.

Statistically, graphs have been made to present and compare the concentration of the four pollutants in the two cities. The summarized results are as follows:

Chengdu's average annual  $PM_{10}$  concentration ( $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) is more than three times higher than Madrid's ( $18.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). In both cities, the limits established by the legislation of the respective countries have not been exceeded ( $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for Chengdu and  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for Madrid). But given the high concentration of  $PM_{10}$  in Chengdu, the city presents serious problems for the health of the population.

Regarding the monthly evolution of the concentration, there is a great difference between the two cities. In Chengdu, the concentration of  $PM_{10}$  is higher in winter than in summer, while in Madrid, the maximum concentration appears in summer (August). It should be noted that, in Chengdu, the monthly variation is very large ( $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), while in Madrid, the difference in concentrations between months is much smaller ( $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Chengdu's mean annual  $PM_{2.5}$  value ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) is more than four times higher than Madrid's ( $9.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). No station in Madrid has exceeded the limit value ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and they are very far from that value. In Chengdu, almost all the stations exceed the limit value ( $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), except one station that has an annual mean concentration of  $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , very close to the limit value. In conclusion,  $PM_{2.5}$  pollution in Chengdu is much more serious than in Madrid.

The temporal distribution of  $PM_{2.5}$  in the two cities are very different, the causes of this evolution and the sources of these particles are also different. In Chengdu there is only a maximum in January. However, in Madrid there are two peaks (January and August), all of them due to the invasion of Saharan dust air masses. Like  $PM_{10}$ , the difference between the maximum and minimum concentration of  $PM_{2.5}$  in Chengdu ( $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) is much higher than in Madrid ( $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

The average annual  $NO_2$  concentration of Madrid is  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , and that of Chengdu is  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , slightly higher than Madrid. The two countries have the same limit value ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) of mean annual  $NO_2$  concentration. In Madrid, there is a station that exceeds this value, which is Plaza Elíptica with  $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In Chengdu, there are four stations that exceed the limit value. In conclusion, the  $NO_2$  pollution in Chengdu is slightly worse than in Madrid.

The temporal distribution of  $NO_2$  in both cities is not the same, but they have one same characteristic: higher concentration in winter than in summer. However, the causes are different. The oscillation of the monthly concentration is similar in Chengdu and Madrid, with  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectively.

The two cities have the same mean annual  $O_3$  concentration ( $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and a similar temporal rhythm. The concentration in summer is much higher than in winter. The difference between the maximum and the minimum value reaches  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Chengdu and  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Madrid.

But we will notice the big difference between the two cities if we compare the number of times the eight-hour average is exceeded. In Chengdu, the number of days that the eight-hour mean  $O_3$  exceeds the Chinese limit ( $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ranges from 15 to 42. There are 30 days of exceedance on average. Exceedances of the European limit value ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) range from 64 to 97 days. The average is 80 days. In Madrid, the maximum exceedance of the European limit value is 39 days in Tres Olivos, the minimum is 0 in Ensanche de Vallecas. The average of exceedances is 19 days. For this reason, ozone pollution in Chengdu is much more serious than in Madrid.

When comparing the interpolation maps, the main results are the following:

In Chengdu, the highest concentrations of  $PM_{10}$  are in the centre-northwest area of the city. The concentration decreases from the centre to the outside, presenting an almost concentric shape.

In Madrid, the highest concentration of  $PM_{10}$  appears in the east, especially the Urb. Embajada station has the highest mean annual value ( $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). The northern area of Madrid has the lowest concentration of  $PM_{10}$ .

Like  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  is also concentrated in the centre-northwest of Chengdu. Most areas have concentrations more than  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , except for a small area in the east.

Since in Madrid there are only 8 stations in the central area that measure  $PM_{2.5}$ , furthermore, there is almost no variety between the values ( $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  or  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), it

makes no sense to make an interpolation map. Therefore, only the locations of these stations and their annual mean  $PM_{2.5}$  values are presented. It is seen that the spatial distribution of  $PM_{2.5}$  is homogeneous in Madrid. Due to the lack of further information, it is not known if this is the case.

The spatial distribution of  $NO_2$  in Chengdu indicates that the maximum concentration (above  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) is in the centre of the city, forming a band that extends to the northeast. From this central zone,  $NO_2$  decreases towards the outside.

As for Madrid, the highest concentration of  $NO_2$  appears in the southern part and in the centre (greater than  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). There is only one station that exceeds the limit of  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , which is Plaza Elíptica, a place with a lot of traffic.

The spatial distribution of ozone is very different from that of other pollutants. In Chengdu, the highest concentration appears in the southeast and northwest, which are the areas closest to the mountains. The lowest concentration of  $O_3$  is found in the centre of the city.

In Madrid, the northern zone has higher concentration of  $O_3$  than the southern zone. Especially, the station located in the northeast, Tres Olivos, has the highest mean annual value ( $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). The Ensanche de Vallecas station, which is in the southeast, has the lowest concentration of  $O_3$  ( $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

A very interesting phenomenon is that, in Chengdu, the area with the highest  $O_3$  concentration coincides with the area with the lowest  $NO_2$  concentration, and vice versa. In Madrid, this characteristic is not as evident as in Chengdu, but in general, the concentration of  $O_3$  and  $NO_2$  have a negative correlation.

**Keywords:** Atmospheric contamination, spatial interpolation,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ .



## 4. LAS TIG EN LA DOCENCIA Y EN LA DIVULGACIÓN DEL CONOCIMIENTO GEOGRÁFICO







# APROXIMACIÓN GEOESTADÍSTICA A LOS ALCALDES DE LAS PRIMERAS ELECCIONES MUNICIPALES DEMOCRÁTICAS: LA PROVINCIA DE CÁCERES

CURADO CASQUERO, JOSÉ CARLOS

Facultad de Formación del Profesorado, Av. Universidad, s/n – Cáceres, 10003, España,  
[jcuradoc@alumnos.unex.es](mailto:jcuradoc@alumnos.unex.es)

JARAÍZ CABANILLAS, FRANCISCO JAVIER

Facultad de Formación del Profesorado, Av. Universidad, s/n – Cáceres, 10003, España,  
[jfjaraiz@unex.es](mailto:jfjaraiz@unex.es)

Los maestros y las maestras con un proyecto social y político convirtieron la escuela rural en un factor de cambio, eliminando, o intentándolo, los elementos más conservadores del franquismo. A pesar de ser agentes del estado, usaron su estatus y trabajo para socavar los elementos inculcados del régimen, convirtiéndose en elementos independientes considerados como puentes entre la cultura urbana y la rural (Groves, 2011).

La Ley de Educación y Financiamiento de la Reforma Educativa (LGE), sancionada el 4 de agosto de 1970, supuso una ruptura con la centenaria Ley Moyano, apostando por la democratización de la enseñanza y respondiendo a las demandas de la sociedad española del momento (Cruz, 2016 en Marcos Martín *et al.*, 2022).

Los maestros y maestras de la Transición tuvieron un papel decisivo en la difusión e implantación de la cultura democrática, especialmente en el ámbito rural, haciendo gala de un gran compromiso social: difundiendo los valores de la democracia, la igualdad y los derechos sociales. En este sentido se plantea como finalidad de este trabajo evaluar el papel en el periodo mencionado de los maestros como difusores de la cultura democrática, vinculándolo con la celebración en la Facultad de Formación del Profesorado de Cáceres de las Jornadas Magisterio y Democracia en la Extremadura de la Transición el lunes 17 de octubre de 2022. Las jornadas mencionadas contaron con distintas intervenciones académicas y mesas redondas. Entre ellas, la ponencia inaugural a cargo de primer presidente autonómico de la Junta de Extremadura, en su condición de cargo político, pero también de maestro o una mesa redonda con la participación de cuatro maestros que se significaron, desde diferentes posturas políticas, en su labor docente y de compromiso con la sociedad, llegando a ocupar

importantes cargos en la administración educativa, política o sindical. El Congreso se cerró con la intervención de una de las siete únicas mujeres alcaldesas extremeñas en las primeras elecciones municipales de 1979; una de las regidoras más jóvenes de los primeros comicios democráticos municipales que, además, estudió magisterio y ejerció como docente.

El objetivo principal de esta investigación es analizar una muestra lo suficientemente significativa de los alcaldes de las primeras elecciones democráticas municipales poniendo el foco de interés en aquellos que tenían como formación Magisterio y habían ejercido como maestros. Como objetivos secundarios podrían destacarse: 1) determinar la importancia de los maestros en las primeras elecciones democráticas; 2) analizar el grado de formación de los primeros alcaldes democrático; 3) observar la correlación entre la formación y ocupación con los partidos políticos más votados; 4) realizar análisis estadísticos para establecer patrones territoriales y elaborar cartografía temática de resultados.

En cuanto al proceso metodológico, indicar que el procedimiento de obtención de datos se ha realizado a través de encuestas telefónicas o por correo electrónico, reuniendo un total de 117 respuestas completas del total de los 223 municipios de la provincia de Cáceres. Comentar que la recopilación de la muestra se llevó a cabo entre septiembre y noviembre de 2022, ajustando el horario de encuestación al de los ayuntamientos de las diferentes localidades cacereñas. Respecto al contacto con familiares o la persona de referencia de la que obtener información, el horario de entrevista o encuesta se adapta a las preferencias manifestadas en el primer contacto. Destacar que para aquellos alcaldes que no fueron maestros, las variables de interés son la edad, el lugar de nacimiento, la residencia actual, el nivel formativo, la principal actividad durante su vida activa y el número de legislaturas en el cargo. Se tienen en cuenta también aquellos alcaldes que han fallecido, obviando el lugar de residencia. Por otro lado, indicar que no se considera para el estudio la información de aquellas localidades de las que falta algún dato, bien por desconocimiento de la persona entrevistada o por la negativa en la respuesta. La información tan numerosa recopilada en la encuesta posibilita su agrupación y análisis por rama de actividad, por partido político, por nivel de formación o por el número de legislaturas, así como la interrelación entre las diferentes variables y su representación cartográfica. Toda la información recopilada en la encuesta se compara, para buscar patrones de correlación estadística, con los datos de formación y ocupación de la provincia de Cáceres que ofrecen los Censos de Población y Vivienda de 1981 y 2021. Por último, apuntar que la metodología aplicada tiene un carácter mixto: 1) cualitativa, en cuanto a la exploración de los resultados de las entrevistas más extensas; y 2) cuantitativa, por los análisis de estadística descriptiva.

En cuanto a los principales resultados del análisis estadístico, comenzar indicando que, en la actualidad, solo el 40 % de los primeros alcaldes de la Democracia siguen con vida. Respecto al partido político por el que se presentaron a la alcaldía, el 56 % lo hizo en las filas de la UCD, el 21 % por AE y el 20 % por el PSOE. Por otro lado, destacar que el 17 % de estos alcaldes estudiaron Magisterio y ejercieron la labor docente. En relación con la formación, exponer que el 23 % de los alcaldes no tenían estudios, el 44 % estudios primarios, un 8 % estudios secundarios y un significativo

25 % estudios universitarios. Respecto a la ocupación por sectores productivos, el 6 % se dedicaba a la construcción, el 8 % a la industria, el 41 % al sector servicios y un 45 % a la agricultura y la ganadería, valor muy elevado pero correlacionado con una provincia rural como la cacereña.

Por último, terminar aludiendo a que en la provincia se ha producido un giro demográfico muy importante en los últimos 45 años que podría vincularse con el proceso de envejecimiento, despoblación y carencias estructurales del medio rural. Por otro lado, en cuanto a la ocupación en estos entornos afectados por el vacío demográfico, destacar que se ha producido un proceso de terciarización de la economía y un descenso acusado de la presencia de la agricultura y la ganadería. Pese a esto, en los municipios de la provincia este sector tiene todavía una relevancia media superior a la que presenta el conjunto nacional. Finalizar aludiendo a la brecha de género que manifiestan los datos de los primeros alcaldes democráticos: del total de los regidores de la provincia, tan solo dos eran mujeres.

## BIBLIOGRAFÍA

- Groves, T. (2011). El maestro rural como agente de cultura alternativa durante la transición española: el caso de la provincia de Salamanca. *Aula*, 17, 133-143.
- Marcos Martín, R., Sonlleve Velasco, M. & Martínez Scott, S. (2022). Ser docente en la transición española (1970-1985). El testimonio de un matrimonio de maestros segovianos. *Contextos Educativos. Revista de Educación*, 29, 155-170. <https://doi.org/10.18172/con.4971>

**Palabras clave:** Geoestadística, TIG, provincia de Cáceres, Transición, alcalde, maestro.

**Financiación/Funding:** Ni la investigación ni la presentación de la comunicación resultante han requerido financiación pública.

**Agradecimientos/Acknowledgments:** Agradecer la colaboración de todo el personal de administración de los ayuntamientos de la provincia de Cáceres contactados, así como los alcaldes de la Transición o familiares que proporcionaron información de forma desinteresada, sin ellos la investigación llevada a cabo no hubiera sido posible.

## Geostatistical approach to the mayors of the first democratic municipal elections: the province of Cáceres

Teachers with a social and political project turned the rural school into a factor of change, eliminating, or trying, the most conservative elements of Francoism. Despite being agents of the state, they used their status and work to undermine the inculcated elements of the regime, becoming independent elements regarded as bridges between urban and rural culture (Groves, 2011).

The Law on Education and Financing of the Educational Reform (LGE), enacted on August 4, 1970, was a break with the centennial Moyano Law, betting on the democratization of education and responding to the demands of Spanish society at the time (Cruz, 2016 in Marcos Martín *et al.*, 2022).

The teachers of the Transition played a decisive role in the dissemination and implementation of democratic culture, especially in rural areas, demonstrating a great social commitment: spreading the values of democracy, equality and social rights. In this sense, the purpose of this work is to evaluate the role in the aforementioned period of teachers as disseminators of democratic culture, linking it with the celebration in the Faculty of Teacher Training of Cáceres of the Teaching and Democracy Conference in the Extremadura of the Transition on Monday, October 17, 2022. The aforementioned days had different academic interventions and round tables. Among them, the inaugural presentation by the first regional president of the Junta de Extremadura, in his capacity as a political position but also as a teacher or a round table with the participation of four teachers who were signified, from different political positions, in their teaching work and commitment to society, reaching important positions in the educational administration, political or trade union. The Congress closed with the intervention of one of the only seven women mayors of Extremadura in the first municipal elections of 1979; One of the youngest councilors of the first democratic municipal elections who, in addition, studied teaching and worked as a teacher.

The main objective of this research is to analyze a sufficiently significant sample of the mayors of the first democratic municipal elections, focusing on those who had as a teaching training and had worked as teachers. Secondary objectives include: (1) determining the importance of teachers in the first democratic elections; 2) analyze the degree of formation of the first democratic mayors; 3) observe the correlation between training and occupation with the most voted political parties; 4) Perform statistical analysis to establish territorial patterns and develop thematic mapping of results.

Regarding the methodological process, indicate that the data collection procedure has been carried out through telephone or email surveys, gathering a total of 117 complete responses of the total of 223 municipalities in the province of Cáceres. Comment that the collection of the sample was carried out between September and November 2022, adjusting the survey schedule to that of the municipalities of the different towns of Cáceres. Regarding contact with family members or the reference person from whom to obtain information, the interview or survey schedule is adapted to the preferences expressed in the first contact. Note that for those mayors who were

not teachers, the variables of interest are age, place of birth, current residence, educational level, the main activity during their active life and the number of legislatures in office. Those mayors who have died are also taken into account, ignoring the place of residence. On the other hand, indicate that the information of those localities of which some data is missing is not considered for the study, either due to ignorance of the person interviewed or due to the refusal in the response. The numerous information collected in the survey allows its grouping and analysis by branch of activity, by political party, by level of education or by the number of legislatures, as well as the interrelation between the different variables and their cartographic representation. All the information collected in the survey is compared, to look for statistical correlation patterns, with the training and employment data of the province of Cáceres offered by the Population and Housing Censuses of 1981 and 2021. Finally, it should be noted that the methodology applied is mixed: 1) qualitative, in terms of exploring the results of the most extensive interviews; and 2) quantitative, by descriptive statistical analysis.

As for the main results of the statistical analysis, start by indicating that, at present, only 40% of the first mayors of Democracy are still alive. Regarding the political party for which they ran for mayor, 56% did so in the ranks of the UCD, 21% for AE and 20% for the PSOE. On the other hand, it should be noted that 17% of these mayors studied teaching and worked as teachers. In relation to training, it should be noted that 23% of the mayors had no studies, 44% primary education, 8% secondary education and a significant 25% university studies. Regarding employment by productive sectors, 6% were dedicated to construction, 8% to industry, 41% to the service sector and 45% to agriculture and livestock, a very high value but correlated with a rural province such as Cáceres.

Finally, conclude by alluding to the fact that in the province there has been a very important demographic shift in the last 45 years that could be linked to the process of aging, depopulation and structural deficiencies in rural areas. On the other hand, regarding employment in these environments affected by the demographic vacuum, it should be noted that there has been a process of tertiarization of the economy and a sharp decline in the presence of agriculture and livestock. Despite this, in the municipalities of the province this sector still has an average relevance higher than that presented by the national set. Finally, alluding to the gender gap manifested by the data of the first democratic mayors: of the total number of councilors in the province, only two were women.

**Keywords:** Geostatistics, GIT, province of Cáceres, Transition, mayor, teacher.



# LA COMPETENCIA ESCRITA Y EL RAZONAMIENTO CRÍTICO EN LOS GRADOS DE MAESTROS DE CINCO UNIVERSIDADES ESPAÑOLAS (EXTREMADURA, MADRID, BARCELONA, ZARAGOZA Y JAÉN)

GÓMEZ CABALLERO, MARTA

SOTO VÁZQUEZ, JOSÉ

Facultad de Formación del Profesorado, Av. de la Universidad, s/n, 10071, España,  
[mgomezxg@alumnos.unex.es](mailto:mgomezxg@alumnos.unex.es) / [jsoto@unex.es](mailto:jsoto@unex.es)

**E**l proyecto DECERC está siendo desarrollado por el equipo de investigación compuesto por 9 miembros de 5 universidades españolas, en concreto la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), la Universidad Complutense de Madrid (UCM), la Universidad de Extremadura (UEX), la Universidad de Zaragoza (UNIZAR) y la Universidad de Jaén (UJA). En cuanto a los miembros correspondientes a cada universidad, cabe destacar que encontramos a Xavier Fontich Vicens, doctor en Educación y docente en la UAB; a Dolors Masats Viladoms, doctora en Ciencias de la Educación y docente también en la UAB, y a Isabel García Parejo, doctora en Filología Hispánica y profesora en la UCM. Forman parte, además, Fco Javier Jaraíz Cabanillas, doctor en Geografía; José Soto Vázquez, doctor en Filología Hispánica; y Ramón Pérez Parejo, también doctor en Filología Hispánica. En este caso, los tres son docentes de la UEX. En cuanto a la UNIZAR, podemos mencionar a Ramón Tena Fernández. Por último, si hacemos referencia a la UJA, destacan dos docentes: Santiago Fabregat Barrios, doctor en Filología Hispánica y Carmen Sánchez Morillas, doctora en Mujer, Género y Estudios Culturales.

Al llegar a la universidad, se detectan déficits en la escritura del alumnado, los cuales tienen su origen en la etapa escolar. Por eso, debe enseñarse la composición escrita en las primeras etapas educativas y, por extensión, en los futuros Grados de Maestro. En el caso de los estudiantes universitarios, deberá lograrse el desarrollo de la capacidad de aprender a aprender, su competencia escrita y el razonamiento crítico. Además, el proyecto vela porque, como futuros docentes, conozcan la importancia de las capacidades comunicativas y críticas y sepan trasladarlo al alumnado.

Este proyecto surge por diversos motivos. En primer lugar, se debe al interés existente por la escritura académica, debido a la baja presencia del tema en diversos niveles educativos. Asimismo, se han apreciado diferencias de acceso al Grado de Maestro, siendo necesaria la realización y superación de una prueba en universidades de Cataluña, donde recibe el nombre de Prueba de Aptitud Personal (PAP). Igualmente, el tema central del proyecto ya ha sido trabajado en algunos Trabajos Fin de Grado (TFG) y en ciertos Trabajos Fin de Máster (TFM). Por último, cabe destacar que el interés por la escritura académica ha sido incluido por el Consejo de Europa de la UNESCO, en marzo de 2020.

Además, existen algunos estudios previos sobre la lectura y escritura en la Universidad.

Seguidamente, destaca la necesidad de estudios sobre la teoría de la actividad y la instrucción, el diálogo y la interacción.

Por último, destaca la necesidad de relacionar las necesidades curriculares con una formación de los docentes basada en la práctica reflexiva y la apertura de espacios de colaboración entre docentes e investigadores.

El objetivo general es realizar un diagnóstico de la competencia escrita de los estudiantes de los Grados de Maestro para diseñar, implementar y evaluar una propuesta para mejorar la competencia escrita y el razonamiento crítico. Como objetivos específicos:

1. Caracterizar los conocimientos de los alumnos y el contenido sobre composición escrita y razonamiento crítico en los programas de las asignaturas.
2. Diseñar una intervención de instrucción directa.
3. Implementar ese diseño en las aulas de estudiantes de Grados de Maestro.
4. Conocer a través del análisis de los textos escritos por los alumnos si dicha intervención ha producido mejora.
5. Indicar si hay transferencia cuando los alumnos escriben un texto fuera de los márgenes de la intervención diseñada.
6. Conocer el grado de capacidad de los alumnos para la reflexión sobre los propios textos.
7. Elaborar un documento de orientación para profesores encargados de los Grados de Maestro: Or-DECERC.

En lo que respecta a la metodología, esta puede ser dividida en dos apartados diferentes. El primero relacionado con las fuentes, y el segundo con las asignaturas analizadas.

En el primer caso, en cuanto a las fuentes empleadas, podemos decir que se han considerado 5 Grados de Educación Infantil y 5 Grados de Educación Primaria de las universidades mencionadas al principio. Las guías docentes analizadas corresponden a los cursos 2021/2022. En cuanto a los criterios seguidos en la selección, es importante destacar que han sido excluidos los dobles grados, por no ser impartidos en todas las universidades. Por la misma razón, se han excluido igualmente los grados bilingües. Asimismo, en el análisis de datos, cabe señalar que debido a que el TFG



ocupaba una presencia mínima en todas las universidades, se decidió eliminarlo en la búsqueda, logrando así una homogeneidad estadística. Por otra parte, el Prácticum, al no centrarse en un área en concreto, sino abarcar varios ámbitos, ha sido considerado una asignatura no lingüística. En último lugar, atendiendo a que la estructura de las plantillas de las guías docentes no es homogénea, primero se homogeneizaron los datos con una serie de criterios de búsqueda:

1. Curso en el que se imparte (1º, 2º, 3º o 4º).
2. Número de créditos asignados.
3. Tipo de asignatura: optativa/obligatoria y lingüística/no lingüística (sin diferenciar entre los distintos idiomas: español, inglés francés, alemán o catalán).

En el segundo apartado, relacionado con la cantidad de asignaturas analizadas, cabe destacar, por un lado, que en el Grado de Educación Infantil se ha llevado a cabo el análisis de un total de 268 asignaturas, divididas en 160 asignaturas obligatorias y 108 optativas. Por otro lado, en el Grado de Educación Primaria, el total de asignaturas analizadas asciende a 304, las cuales están segmentadas en 151 asignaturas obligatorias y 153 optativas.

La información de las universidades objeto de estudio se analiza en función de su distribución espacial, con la intención de descubrir si existe algún patrón espacial norte-sur, este-oeste o centro-periferia. Para ello, la información se representa en diversos mapas temáticos que se han hecho a través de las herramientas que facilitan los sistemas de información geográfica. Este tipo de herramientas empleadas en los sistemas de información gráfica también han permitido una explotación de las variables cuantitativas del conjunto de la información.

Por otra parte, es preciso mencionar la facilidad que brindan los sistemas de información geográfica para disponer el conjunto de la información a través de páginas web, donde poder mostrar de una manera interactiva el estudio realizado.

Para finalizar el apartado de la metodología, en relación con la recogida y presentación de los datos, los resultados obtenidos se han incluido en una hoja de cálculo de Excel, y se ha pasado un script de "R" para detectar la información. Asimismo, se han creado gráficos descriptivos (de secciones y barras) y se ha llevado a cabo el análisis y comentario de los principales gráficos.

Si consideramos los resultados obtenidos, podemos decir que en el Grado de Educación Primaria, de las 52 asignaturas totales en UNIZAR, únicamente 5 de ellas son obligatorias lingüísticas, y 8 de ellas optativas lingüísticas. En el caso de la UEX, de los 46 totales 17 de estas son lingüísticas, siendo 5 de nuevo, las obligatorias, y 12 las optativas. Finalmente, de las 65 materias totales de la UCM, 9 de ellas son optativas lingüísticas, y solo 6 de ellas obligatorias, siendo lingüísticas también.

Atendiendo a los porcentajes ocupados por las asignaturas obligatorias totales y las obligatorias lingüísticas en Educación Primaria, únicamente se detecta la aparición de las últimas en primer curso en la UJA, UAB y UNIZAR, encontrándose el mayor porcentaje en la UAB (casi 60%). En segundo año encontramos asignaturas obligatorias lingüísticas en todas las universidades, hecho que ocurre de igual forma

al considerar el tercer curso. Por último, cabe señalar que los datos encontrados al referirnos a cuarto curso son sorprendentes, ya que solo podemos encontrar estas asignaturas en la UCM, con un porcentaje algo mayor al 30 %.

Seguidamente, atendiendo a los créditos otorgados por asignaturas, cabe destacar la similitud de los datos de las 5 universidades en cuanto a los créditos obligatorios totales, siendo de un 30 % aproximadamente en los tres primeros años del Grado de Primaria, y correspondiendo el 10 % restante al cuarto curso de dichos estudios. Considerando los créditos obligatorios lingüísticos, cabe destacar que, al igual que antes, solo aparecen en primero en la UJA, UAB y UNIZAR, y en segundo y tercer año en todas las universidades, ocupando diferentes porcentajes. En cuarto, se detecta únicamente en la UCM, con una cifra bastante elevada (60 %). De los créditos otorgados, tanto las optativos totales como las lingüísticas ocupan el 100 % en la UAB, UEX y UNIZAR. No podemos olvidar mencionar, sin embargo, que el primer curso no aparece en ninguna de las universidades, segundo solo lo hace en la UCM (algo más del 40 %), y tercero en dos de ellas: UJA y UCM.

En cuanto a las asignaturas lingüísticas y los créditos otorgados en Educación Infantil, podemos apreciar que de las asignaturas obligatorias, muy pocas son lingüísticas. Por ejemplo, de las 41 obligatorias en la UNIZAR únicamente 9 son de lengua, y el resto de cursos las cifras siguen siendo bajas. Lo mismo sucede con las optativas, en las que destaca, que en tercer curso solamente 1 de las 21 asignaturas optativas en la UCM sean de lengua. Si nos fijamos en el número de créditos por asignatura, la diferencia es aún más acusada, ya que de los más de 200 créditos obligatorios en todas las universidades, los de lengua son inferiores a 50 en todos los casos, igual que sucede con las optativas, en las que se observa mayor representación de las asignaturas de lengua en la UNIZAR (30 de 78 totales) y cifras menores en la UCM, por ejemplo, siendo 6 de 126 de lengua.

Por otro lado, si analizamos las palabras clave más frecuentes en los planes docentes del Grado de Primaria, se encuentran bastantes similitudes entre todas las universidades. Las 5 palabras que más aparecen son “escribir”, “escritura”, “interacción”, “debate” y “discusión”. Otros vocablos son mostrados con menor frecuencia: “diálogo” y “argumentación”. En el primer grupo, el término “escribir” aparece una media de 12,2 veces, y “escritura” lo hace unas 17,2 veces de media. La palabra “interacción” presenta valores elevados, superando las 60 apariciones en UNIZAR y la UAB. Lo mismo sucede con las palabras “debate” y “discusión”, que a pesar de aparecer escasamente en la UCM, en la UEX están claramente representadas, incluyéndose 53 y 217 veces, respectivamente, en los planes docentes de esta universidad. No obstante, es sorprendente encontrar en el estudio realizado que algunos términos como “pensamiento crítico”, “razonamiento crítico” y “escritura académica” no aparezcan en ninguno de los planes docentes analizados.

En el Grado de Educación Infantil, predominan las mismas palabras clave que en el caso anterior: “escribir”, “escritura”, “interacción”, “debate” y “discusión”. En esta ocasión, la palabra “escribir” aparece una media de 7 veces, y el término “escritura” aparece en todas las universidades, encontrando la mayor presencia en la UNIZAR (47 veces). Lo mismo sucede con la palabra “interacción”, que también aparece en

todas las universidades analizadas, y de nuevo el máximo está en UNIZAR (81 apariciones). Finalmente, en el caso de los términos “debate y discusión”, la tendencia de aparición es similar al Grado de Primaria: ambos están presentes en todas las universidades, y el máximo se encuentra en ambos casos en la UEX, siendo menos notable la diferencia con las demás universidades en el primer caso y acusada en la palabra “discusión”, que aparece 172 veces en esta universidad. Al igual que en el análisis de Primaria, se aprecia una sorprendente ausencia de términos relacionados con el pensamiento crítico y la escritura académica.

En cuanto a las líneas de actuación futuras, además del objetivo principal del proyecto, que ha sido trabajado en la Fase I, en la siguiente se pretende conocer la presencia que tienen en cada plan docente las competencias transversales relativas a competencias discursivas y la evaluación de las mismas, y los contenidos específicos sobre “escritura”, “escritura crítica” y “pensamiento crítico”, atendiendo a las actividades concretas en las cuales se practica este tipo de escritura.

*Palabras clave:* Universidad, Plan Docente, Asignaturas, Palabras Clave, Escritura Creativa, Pensamiento Crítico.

*Financiación:* Proyecto “Desarrollo de la Competencia Escrita y el Razonamiento Crítico en los Grados de Maestro (DECERC-GM)” financiado por Ministerio de Ciencia e Innovación (Madrid, ES). Referencia: PID2020-117813RA-100.

## Written competence and critical reasoning in the Master's Degrees of five Spanish universities (Extremadura, Madrid, Barcelona, Zaragoza and Jaén)

The DECERC project is being developed by the research team composed of 9 members from 5 Spanish universities, namely the Autonomous University of Barcelona (UAB), the Complutense University of Madrid (UCM), the University of Extremadura (UEX), the University of Zaragoza (UNIZAR) and the University of Jaén (UJA). Xavier Fontich Vicens, PhD in Education and lecturer at the UAB; Dolors Masats Viladoms, PhD in Education Sciences and lecturer at the UAB; and Isabel García Parejo, PhD in Hispanic Philology and lecturer at the UCM. Other members are Fco Javier Jaraíz Cabanillas, PhD in Geography; José Soto Vázquez, PhD in Hispanic Philology; and Ramón Pérez Parejo, also PhD in Hispanic Philology. In this case, all three are lecturers at the UEX. As for UNIZAR, we can mention Ramón Tena Fernández. Finally, if we refer to the UJA, two lecturers stand out: Santiago Fabregat Barrios, PhD in Hispanic Philology and Carmen Sánchez Morillas, PhD in Women, Gender and Cultural Studies.

On reaching university, students' writing deficits are detected, which have their origins in the school stage. For this reason, written composition should be taught in the first stages of education and, by extension, in future Teacher Training Degrees. In

the case of university students, the development of the ability to learn to learn, their written competence and critical reasoning should be achieved. In addition, the project ensures that, as future teachers, they are aware of the importance of communicative and critical skills and know how to transfer them to their students.

This project arose for several reasons. Firstly, it is due to the existing interest in academic writing, due to the low presence of the subject at different educational levels. Also, differences have been noted in access to the Master's Degree, requiring the completion and passing of a test at universities in Catalonia, where it is known as the Personal Aptitude Test (PAP). Likewise, the central theme of the project has already been worked on in some Final Degree Projects (TFG) and in certain Master's Degree Projects (TFM). Finally, it should be noted that the interest in academic writing has been included by the UNESCO Council of Europe in March 2020.

In addition, there are some previous studies on reading and writing at university.

Next, it highlights the need for studies on activity theory and instruction, dialogue and interaction.

Finally, it stresses the need to link curricular needs with teacher training based on reflective practice and the opening of spaces for collaboration between teachers and researchers.

The main objective is to carry out a diagnosis of the writing skills of students of the Master's Degrees in order to design, implement and evaluate a proposal to improve writing skills and critical reasoning. The specific objectives are:

1. To characterise students' knowledge and content on written composition and critical reasoning in the programmes of the subjects.
2. To design a direct instructional intervention.
3. To implement this design in the classrooms of undergraduate teacher education students.
4. To find out through the analysis of the texts written by the students whether this intervention has produced an improvement.
5. To indicate whether there is transfer when students write a text outside the margins of the designed intervention.
6. To ascertain the degree to which pupils are able to reflect on their own texts.
7. To draw up a guidance document for teachers in charge of Master's Degrees: Or-DECERC.

As far as methodology is concerned, this can be divided into two different sections. The first relates to the sources, and the second to the subjects analysed.

In the first case, with regard to the sources used, we can say that 5 Preschool Education Degrees and 5 Primary Education Degrees from the universities mentioned at the beginning have been considered. The teaching guides analysed correspond to the 2021/2022 academic years. With regard to the criteria followed in the selection, it is important to highlight that double degrees have been excluded, as they are not taught in all the universities. For the same reason, bilingual degrees have also been excluded. Likewise, in the data analysis, it should be pointed out that due to the fact that the TFG had a minimal presence in all the universities, it was decided to eliminate it from the search, thus achieving statistical homogeneity. On the other hand,

the Practicum, as it does not focus on a specific area, but covers several fields, has been considered a non-linguistic subject. Finally, since the structure of the teaching guide templates is not homogeneous, the data were first homogenised using a series of search criteria:

1. Year in which it is taught (1st, 2nd, 3rd or 4th year).
2. Number of credits allocated.
3. Type of subject: optional/compulsory and linguistic/non-linguistic (without differentiating between the different languages: Spanish, English, French, German or Catalan).

In the second section, related to the number of subjects analysed, it should be noted, on the one hand, that a total of 268 subjects were analysed in the Master's Degrees in Early Childhood Education, divided into 160 compulsory subjects and 108 optional subjects. On the other hand, in the Degree in Primary Education, the total number of subjects analysed amounts to 304, which are divided into 151 compulsory subjects and 153 optional subjects.

The information on the universities under study is analysed in terms of their spatial distribution, with the intention of discovering whether there is any north-south, east-west or centre-periphery spatial pattern. For this purpose, the information is represented in various thematic maps that have been made using the tools provided by geographic information systems. This type of tools used in the graphic information systems have also allowed the quantitative variables of the information as a whole to be exploited.

On the other hand, it is worth mentioning the ease with which geographic information systems make it possible to make all the information available on web pages, where the study carried out can be shown interactively.

To conclude the methodology section, in relation to data collection and presentation, the results obtained were included in an Excel spreadsheet, and an "R" script was run to detect the information. Descriptive graphs (section and bar graphs) were created and the main graphs were analysed and commented on.

If we consider the results obtained, we can say that in the Degree in Primary Education, of the 52 total subjects in UNIZAR, only 5 of them are compulsory linguistic subjects, and 8 of them are optional linguistic subjects. In the case of UEX, 17 of the 46 total subjects are linguistic, 5 of which are compulsory and 12 are optional. Finally, of the 65 total subjects at UCM, 9 of them are linguistic optional subjects, and only 6 of them are compulsory, being linguistic as well.

Looking at the percentages occupied by total compulsory subjects and compulsory language subjects in Primary Education, the latter only appear in the first year at UJA, UAB and UNIZAR, with the highest percentage at UAB (almost 60%). In the second year, we find compulsory language subjects in all universities, and this is also the case in the third year. Finally, it should be noted that the data found when referring to the fourth year are surprising, as we can only find these subjects at UCM, with a percentage of just over 30%.

Next, looking at the credits awarded by subject, it is worth noting the similarity of the data from the 5 universities in terms of total compulsory credits, with approximately

30% in the first three years of the Bachelor's Degree in Primary Education, and the remaining 10% corresponding to the fourth year of these studies. Considering the compulsory linguistic credits, it is worth noting that, as before, they only appear in the first year at UJA, UAB and UNIZAR, and in the second and third year at all universities, occupying different percentages. In the fourth year, it is only detected at UCM, with a fairly high figure (60%). Of the credits awarded, both total and linguistic electives occupy 100% at UAB, UEX and Unizar. We should not forget to mention, however, that the first year does not appear in any of the universities, the second year only in UCM (just over 40%), and the third year in two of them: UJA and UCM.

As far as language subjects and credits awarded in Preschool Education are concerned, we can see that of the compulsory subjects, very few are language subjects. For example, of the 41 compulsory subjects at UNIZAR, only 9 are language subjects, and the figures for the rest of the courses are still low. The same is true for optional subjects, where it is noteworthy that in the third year only 1 of the 21 optional subjects at UCM is a language subject. If we look at the number of credits per subject, the difference is even more marked, since of the more than 200 compulsory credits in all the universities, the number of language credits is less than 50 in all cases, as is the case with optional subjects, where there is a greater representation of language subjects at UNIZAR (30 out of 78 total) and lower numbers at UCM, for example, with 6 out of 126 being language subjects.

On the other hand, if we analyse the most frequent key words in the teaching plans for the Bachelor's Degree in Primary Education, we find quite a lot of similarities between all the universities. The 5 words that appear most frequently are "writing", "writing", "interaction", "debate" and "discussion". Other words are less frequently used: "dialogue" and "argumentation". In the first group, the term "write" appears an average of 12.2 times, and "writing" appears an average of 17.2 times. The word "interaction" has high values, exceeding 60 occurrences in Unizar and UAB. The same happens with the words "debate" and "discussion", which, although they appear scarcely at UCM, are clearly represented at UEX, being included 53 and 217 times, respectively, in the teaching plans of this university. However, it is surprising to find in the study that some terms such as "critical thinking", "critical reasoning" and "academic writing" do not appear in any of the teaching plans analysed.

In the Master's Degrees in Early Childhood Education, the same key words predominate as in the previous case: "writing", "writing", "interaction", "debate" and "discussion". On this occasion, the word "writing" appears an average of 7 times, and the term "writing" appears in all the universities, with the highest presence in UNIZAR (47 times). The same happens with the word "interaction", which also appears in all the universities analysed, and again the maximum is in Unizar (81 appearances). Finally, in the case of the terms "debate and discussion", the trend of occurrence is similar to that of the Primary Degree: both are present in all the universities, and the maximum is found in both cases at UEX, the difference with the other universities being less notable in the first case and marked in the word "discussion", which appears 172 times at this university. As in the analysis of Primary School, there is a surprising absence of terms related to critical thinking and academic writing.

As for future lines of action, in addition to the main objective of the project, which has been worked on in Phase I, in the next phase the aim is to ascertain the

presence in each teaching plan of the transversal competences relating to discursive competences and their evaluation, and the specific contents on “writing”, “critical writing” and “critical thinking”, paying attention to the specific activities in which this type of writing is practised.

**Keywords:** University, Teaching Plan, Subjects, Keywords, Creative Writing, Critical Thinking.





# SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS EN LA ENSEÑANZA DE LA VALUACIÓN

HERNÁNDEZ BERNAL, JESÚS EMILIO

Facultad de Economía y Relaciones Internacionales, Universidad Autónoma de Baja California,  
Universidad #14418, UABC, Parque Internacional Industrial Tijuana, 22427 Tijuana, B.C. México,  
[jesus.hernandez.bernal@uabc.edu.mx](mailto:jesus.hernandez.bernal@uabc.edu.mx)

CHÁVEZ NUNGARAY, ERIKA

Facultad de Economía y Relaciones Internacionales, Universidad Autónoma de Baja California,  
Universidad #14418, UABC, Parque Internacional Industrial Tijuana, 22427 Tijuana, B.C. México,  
[nungarayerika@uabc.edu.mx](mailto:nungarayerika@uabc.edu.mx)

La pandemia COVID-19 se desarrolló a nivel global, esto generó cambios significativos en la educación, salud, economía, y en diferentes áreas de manera general; dentro de estas áreas se encuentra la disciplina valuatoria, esta misma se vio involucrada en su totalidad, debido a que los especialistas se vieron en la necesidad de generar sus avalúos inmobiliarios de manera virtual debido al confinamiento obligatorio suscitado por la emergencia sanitaria; este cambio propició la necesidad de utilizar los Sistemas de Información Geográfica (SIG) de forma gradual, ya que los especialistas requieren de recabar ciertas características geográficas del inmueble.

Esta investigación tiene como objetivo fomentar el uso y aplicación de la Geografía y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), en la disciplina de la valuación (tasación), procediendo a promover el conocimiento y uso de los SIG en la enseñanza de la valuación; para introducir de manera éxito el uso y aplicación de los SIG se comienza explicando la importancia y el concepto de geografía, la cual se define como la ciencia que se encarga del estudio de la interacción del entorno natural y los fenómenos producidos por el ser humano en la superficie terrestre, prestando especial atención a las interrelaciones entre ellos. Buzai menciona que la geografía es importante para analizar los eventos y fenómenos geográficos debido a la interacción que presenta con otras ciencias o disciplinas; dado que esta disciplina ha generado un enorme progreso científico y tecnológico, cuyo principal objetivo es la descripción y análisis del territorio, ya que su labor principal es el descubrimiento y conocimiento de los procesos que ayudaron a conformar la superficie de la tierra y la interacción con las sociedades. Para poder analizar el territorio y los eventos que en este se suscitan, la geografía se auxilia del análisis geográfico y el análisis espacial; el primero se da a

la tarea de indagar los diversos factores o elementos que se manifiestan en el espacio geográfico, haciendo énfasis en las conexiones, la intensidad, los flujos y los movimientos generados en el paisaje de cada área o zona delimitada. El segundo examina las estructuras espaciales, las conexiones y relaciones entre datos cuya finalidad es modelar los fenómenos geográficos que se desarrollan en el territorio. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) nacen a partir de la cartografía, debido a la necesidad del ser humano de explorar, comprender y trabajar en el territorio, surgió la exigencia de su representación y, por ende, la cartografía. Esta disciplina hace referencia a que la superficie terrestre está puntualmente localizada por coordenadas enlazadas a un sistema de referencia que lo distingue del resto. A partir de ello los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se definen como una herramienta de análisis y visualización de datos geográficos los cuales permiten al usuario comprender los distintos patrones, procesos y relaciones generadas al interior de un territorio; estos ofrecen muchas posibilidades para mejorar la gestión de recursos naturales, ambientales y territoriales. Estos sistemas permiten a las organizaciones recopilar y gestionar datos geográficos y analizar los datos en un entorno espacial. Esto ayuda a los usuarios a comprender mejor los fenómenos que están ocurriendo en un área determinada. Los SIG también se pueden utilizar para monitorear el medio ambiente, controlar la erosión, prevenir la contaminación y mejorar la calidad del aire, el agua y el suelo. Los SIG se utilizan ampliamente en los negocios, el entretenimiento, la geografía, el transporte, la guerra y muchos otros campos. Puede ayudar a los empresarios a predeterminedar la mejor ubicación para sus discursos y proyectos. También puede utilizarse para hacer mapas para el desarrollo económico o de tipo geológico. Además, ciertas herramientas de los SIG se pueden utilizar en investigación científica para realizar observaciones exactas y fidedignas sobre la naturaleza humana y la naturaleza. Los SIG también se utilizan ampliamente en la investigación del patrimonio; ayudan a recopilar datos sobre sitios históricos y a preservar información sobre ubicaciones históricas. De la misma manera, los SIG también son una herramienta que sirve para localizar sitios arqueológicos; el programa puede incluso medir las ubicaciones de los artefactos dentro de un sitio de excavación arqueológica. Además, los SIG pueden ser utilizados para identificar y monitorear los recursos naturales, como la vegetación, flora y fauna, y la topografía. Estos sistemas también pueden ser utilizados para mejorar la planificación y desarrollo territorial, así como para proporcionar información para la toma de decisiones. En conclusión, los SIG ofrecen una gran variedad de posibilidades para mejorar la gestión de los recursos naturales, ambientales y territoriales. La valuación se puede definir como “La ciencia aplicada que tiene como objetivo la determinación del valor de un bien, teniendo en cuenta los atributos o variables explicativas que lo caracterizan, el entorno económico, social y temporal en que se encuentra, utilizando un método contrastado de cálculo que permita al experto incorporar tanto las variables cuantitativas o componentes objetivos como las variables cualitativas o componentes subjetivos del valor entre los que se encuentra el conocimiento y la experiencia del valuador”; en valuación se enfatiza la dualidad de la variable explicativa de valor, de modo que se tienen variables cuantitativas las cuales definen objetivamente el valor del bien, mientras que las variables cualitativas dependen de la percepción de quien realiza la valuación; algunas variables o factores que influyen en la valuación urbana son los sociales, económicos, políticos y físico-geográficos.

La metodología utilizada en la enseñanza de la valuación inmobiliaria incorporando a los SIG, se conforma por diferentes factores o elementos (físicos, sociales, económicos y políticos) que inciden en valor del bien inmueble; Algunos de estos elementos que son tomados a favor para obtener el valor de un inmueble son la localización, esta proporciona la ubicación del lugar del inmueble, a partir de este elemento se ha logrado implementar la utilización de diversos softwares, los cuales han proporcionado una visualización y generación de un mapa básico de la localización del inmueble, sin la necesidad de recurrir a campo (antes de la pandemia se recurría ir al sitio y generar un croquis de ubicación del inmueble). Además de establecer la localización en visualizadores como Google Earth, Google Maps (son los más accesibles y de servicio gratuito), se logra generar una visualización de los alrededores del inmueble, esta visualización incluye los elementos naturales del territorio, los cuales pueden influir en el costo del inmueble debido a las características que presente, por ejemplo, el tipo de pendiente, que ayuda para visualizar la posibilidad de la generación de deslizamientos de rocas si esta se ubica en ciertas zonas específicas, si existen cuerpos de agua que puedan provocar inundaciones en temporada de lluvias, la accesibilidad se desprende de la ubicación del inmueble, los servicios con los que cuenta el mismo, entre otros; estos elementos inciden en la plusvalía de la zona y en el valor del inmueble; implementando los SIG nos dan un panorama visual de las características de la zona en primera instancia; asociado a esto se pueden aplicar diferentes métodos geoestadísticos que proporcionan una mayor explicación de la relación existen de los elementos presentes en el territorio con el valor del inmueble. A nivel global y particularmente en México, estas herramientas se han estado empleando de manera indirecta en la enseñanza y aplicación en la disciplina valuatoria. Los SIG están permitiendo desarrollar programas de enseñanza más interactivos y visuales dentro de la enseñanza de la valuación; estas herramientas posibilitan a los estudiantes y egresados de valuación disponer de una adecuada comprensión sobre los conceptos básicos de la valuación al proporcionarles una comprensión visual de los factores que influyen en el precio de los inmuebles. Además, con los SIG se está proporcionando la posibilidad de simular diferentes escenarios de valuación, esto ha permitido a los estudiantes experimentar con diferentes variaciones y ver cómo los resultados pueden variar en función de las condiciones del mercado inmobiliario, donde se ven incluidos los factores geográficos suscitados en el territorio. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han aportado numerosos beneficios para la enseñanza de la valuación en México. Estos sistemas se presentan como una herramienta visual para mejorar la comprensión de la valuación de propiedades. Los SIG ofrecen una mejor comprensión de los principios de la valuación al permitir la visualización de la información relacionada con los valores de la propiedad, como el tamaño, la ubicación, el uso, la accesibilidad entre otros. Esto ha permitido a los profesionistas y estudiantes de valuación observar y comprender la forma en que los valores de la propiedad se relacionan entre sí para determinar el valor de una propiedad. Además, los SIG proporcionan una vista a escala de la ubicación, permitiendo comparar los valores de la propiedad en diferentes condiciones. Esto ha facilitado la comprensión del valor final generado por los peritos valuadores al permitir observar cómo los valores de la propiedad pueden variar entre diferentes fechas. Por lo tanto, los SIG son una herramienta útil para la enseñanza de la valuación en México, ya que garantizan una

mayor comprensión de los aspectos que influyen en la valuación. Posteriormente a la puesta en práctica de los SIG en valuación se han obtenido resultados valuatorios, que han impulsado y mejorado la visualización de las características de los inmuebles ubicados en el territorio, se han incluido factores físico-geográficos del territorio para evaluar los daños por deslizamientos de laderas en ciertas áreas semiurbanas, se han realizado plataformas y visualizadores SIG en donde se han recopilado información sobre diversos inmuebles y sus elementos en la zona, que sirve como comparable con otros mercados y sus respectivos elementos en sus áreas; también se han creado mapas interactivos que muestren información sobre las propiedades inmobiliarias, como su ubicación, tamaño, valor de mercado, entre otros. Además, la visualización de datos ofrece una mirada más amplia y fácil de entender conceptos abstractos, como el de la tasación, que de otra manera sería difícil de comprender.

A modo de cierre, los SIG ofrecen numerosos beneficios para la enseñanza de la valuación. Estas herramientas han permitido presentar una comprensión visual de los factores que influyen en el precio de los inmuebles, lo que ha ayudado a comprender mejor los conceptos básicos de la valuación y la posibilidad de simular diferentes escenarios de valuación. Los SIG también permiten experimentar con diferentes escenarios de valuación, lo que les ayuda a comprender mejor cómo los factores socioeconómicos, el comportamiento del mercado inmobiliario y otros factores influyen en el precio de los inmuebles. Sin embargo, también hay desafíos relacionados con la implementación de estas herramientas, como los costos de tecnología y la capacitación especializada. En general, los SIG son una herramienta útil para la enseñanza de la valuación en México, si se abordan los desafíos de implementación de manera adecuada. Para abordar los desafíos de implementación de los SIG en la enseñanza de la valuación, se recomienda invertir en la tecnología necesaria para usar estas herramientas. Además de buscar apoyo de instituciones públicas y privadas para obtener los recursos necesarios con la finalidad de usar estas herramientas de manera efectiva.

*Palabras clave:* SIG, valuación, inmuebles, localización.

## Geographic Information Systems applied in the teaching of valuation

The COVID-19 pandemic developed at a global level, this generated significant changes in education, health, economy, and in different areas in general; within these areas is the valuation discipline, this was involved in its totality, because the specialists had to generate their real estate appraisals virtually due to the mandatory confinement caused by the health emergency; this change led to the need to use Geographic Information Systems (GIS) gradually, since the specialists need to collect certain geographic characteristics of the property.

This research aims to promote the use and application of Geography and Geographic Information Systems (GIS), in the discipline of valuation (appraisal), proceeding

to promote the knowledge and use of GIS in the teaching of valuation; to successfully introduce the use and application of GIS begins by explaining the importance and concept of geography, which is defined as the science that deals with the study of the interaction of the natural environment and the phenomena produced by humans on the earth's surface, paying special attention to the interrelationships between them. Buzai mentions that geography is important for analyzing geographic events and phenomena due to the interaction it presents with other sciences or disciplines; given that this discipline has generated enormous scientific and technological progress, whose main objective is the description and analysis of the territory, since its main work is the discovery and knowledge of the processes that helped shape the earth's surface and the interaction with societies. In order to analyze the territory and the events that occur in it, geography uses geographic analysis and spatial analysis; the former is given the task of investigating the various factors or elements that are manifested in the geographic space, emphasizing the connections, intensity, flows and movements generated in the landscape of each area or delimited zone. The second examines the spatial structures, connections and relationships between data whose purpose is to model the geographic phenomena that develop in the territory. Geographic Information Systems (GIS) are born from cartography, due to the need of human beings to explore, understand and work in the territory, the need for its representation arose and, therefore, cartography. This discipline refers to the fact that the terrestrial surface is punctually located by coordinates linked to a reference system that distinguishes it from the rest. Geographic Information Systems (GIS) are defined as a tool for analysis and visualization of geographic data that allow the user to understand the different patterns, processes and relationships generated within a territory; they offer many possibilities to improve the management of natural, environmental and territorial resources. These systems allow organizations to collect and manage geographic data and analyze the data in a spatial environment. This helps users to better understand the phenomena that are occurring in a given area. GIS can also be used to monitor the environment, control erosion, prevent pollution, and improve air, water, and soil quality. GIS is widely used in business, entertainment, geography, transportation, warfare, and many other fields. It can help business people to predetermine the best location for their speeches and projects. It can also be used to make maps for economic development or geological type.

In addition, certain GIS tools can be used in scientific research to make accurate and reliable observations about human nature and nature. GIS is also widely used in heritage research; it helps to collect data on historical sites and to preserve information about historical locations. In addition, GIS can be used to identify and monitor natural resources, such as vegetation, flora and fauna, and topography. These systems can also be used to improve territorial planning and development, as well as to provide information for decision making. In conclusion, GIS offer a wide variety of possibilities to improve the management of natural, environmental and territorial resources.

Valuation can be defined as "The applied science that aims to determine the value of an asset, taking into account the attributes or explanatory variables that characterize it, the economic, social and temporal environment in which it is located, using a contrasted method of calculation that allows the expert to incorporate both quantitative variables or objective components and qualitative variables or subjective components of the value, including the knowledge and experience of the valuator"; in

valuation the duality of the explanatory variable of value is emphasized, so that there are quantitative variables which objectively define the value of the property, while the qualitative variables depend on the perception of the person performing the valuation; some variables or factors that influence urban valuation are social, economic, political and physical-geographical.

The methodology used in the teaching of real estate valuation incorporating GIS, consists of different factors or elements (physical, social, economic and political) that affect the value of real estate; Some of these elements that are taken in favor to obtain the value of a property are the location, this provides the location of the place of the property, from this element it has been possible to implement the use of various software, which have provided a visualization and generation of a basic map of the location of the property, without the need to resort to field (before the pandemic resorted to go to the site and generate a sketch of the location of the property). In addition to establishing the location in viewers such as Google Earth, Google Maps (they are the most accessible and free service), it is possible to generate a visualization of the surroundings of the property, this visualization includes the natural elements of the territory, which can influence the cost of the property due to the characteristics that it presents, for example, the type of slope, which helps to visualize the possibility of the generation of rock slides if it is located in certain specific areas, if there are bodies of water that can cause flooding in the rainy season, the accessibility is derived from the location of the property, the services it has, among others; These elements affect the added value of the area and the value of the property; implementing GIS gives us a visual overview of the characteristics of the area in the first instance; associated to this, different geostatistical methods can be applied that provide a greater explanation of the relationship between the elements present in the territory and the value of the property. Globally and particularly in Mexico, these tools have been used indirectly in the teaching and application of the valuation discipline. GIS are allowing the development of more interactive and visual teaching programs within the teaching of valuation; these tools enable students and graduates of valuation to have an adequate understanding of the basic concepts of valuation by providing them with a visual understanding of the factors that influence the price of real estate. In addition, GIS is providing the ability to simulate different valuation scenarios, which has allowed students to experiment with different variations and see how results can vary depending on real estate market conditions, including geographical factors in the territory. Geographic Information Systems (GIS) have brought numerous benefits to the teaching of valuation in Mexico. These systems are presented as a visual tool to improve the understanding of property valuation. GIS offer a better understanding of valuation principles by allowing the visualization of information related to property values, such as size, location, use, accessibility and others. This has allowed valuation professionals and students to observe and understand how property values relate to each other to determine the value of a property. In addition, GIS provides a scaled view of the location, allowing comparison of property values under different conditions.

This has facilitated the understanding of the final value generated by appraisers by making it possible to observe how property values can vary between different dates. Therefore, GIS is a useful tool for teaching valuation in Mexico, since it guarantees a better understanding of the aspects that influence valuation. Subsequent to the implementation of GIS in valuation, valuation results have been obtained, which have

boosted and improved the visualization of the characteristics of the properties located in the territory, physical-geographical factors of the territory have been included to evaluate the damage caused by landslides in certain semi-urban areas, GIS platforms and viewers have been created where information on various properties and their elements in the area have been compiled, which serve as a comparison with other markets and their respective elements in their areas; Interactive maps have also been created to show information about the real estate properties, such as their location, size, market value, among others.

In addition, data visualization offers a broader view and easier to understand abstract concepts, such as valuation, that would otherwise be difficult to grasp.

In closing, GIS offers numerous benefits for the teaching of valuation. These tools have made it possible to present a visual understanding of the factors that influence the price of real estate, which has helped to better understand the basic concepts of valuation and the ability to simulate different valuation scenarios. GIS also allows them to experiment with different valuation scenarios, which helps them better understand how socioeconomic factors, real estate market behavior and other factors influence the price of real estate. However, there are also challenges associated with implementing these tools, such as technology costs and specialized training. Overall, GIS is a useful tool for valuation education in Mexico, if implementation challenges are adequately addressed. To address the implementation challenges of GIS in valuation education, it is recommended to invest in the technology needed to use these tools. In addition to seeking support from public and private institutions to obtain the necessary resources to use these tools effectively.

**Keywords:** GIS, valuation, territory, location.





# HACIA UN ATLAS-WEB INTERACTIVO: UNA PROPUESTA DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA PARA LA ENSEÑANZA EN GEOGRAFÍA

PRINCIPI, NOELIA

Universidad Nacional de Luján, Instituto de Investigaciones Geográficas, Ruta Nacional N° 5  
y Av. Constitución, 6740, Argentina, [nprincipi@unlu.edu.ar](mailto:nprincipi@unlu.edu.ar)

MONTES GALBÁN, ELOY

Universidad Nacional de Luján, Instituto de Investigaciones Geográficas, CONICET,  
Ruta Nacional N° 5 y Av. Constitución, 6740, Argentina, [emontesgalban@gmail.com](mailto:emontesgalban@gmail.com)

BUZAI, GUSTAVO

Universidad Nacional de Luján, Instituto de Investigaciones Geográficas, CONICET, Ecuador 871,  
1214, Buenos Aires, Argentina, [gdb@unlu.edu.ar](mailto:gdb@unlu.edu.ar)

**E**l trabajo presenta los avances alcanzados en el marco del proyecto de extensión “Atlas-web interactivo: recurso didáctico innovador para la enseñanza de la Geografía” que se encuentra en realización en la Universidad Nacional de Luján (UNLu) con el objetivo de promover la incorporación de Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) en la enseñanza de la Geografía, en los niveles de educación secundaria y superior.

En este sentido, resulta importante mencionar que en Argentina, en la últimas décadas, se llevaron adelante cambios en materia educativa (Ley Federal de Educación en 1993 y Nueva Ley de Educación Nacional en 2006) que fueron acompañados de actualizaciones en los Diseños Curriculares (DC), donde se prescriben los contenidos a enseñar en los diferentes niveles educativos. Entre el 2006 y 2011, en la Provincia de Buenos Aires, se comenzaron a implementar gradualmente los nuevos DC de Geografía para el nivel secundario (de 1° a 6° año) donde, además de cambios en los contenidos disciplinares, se presentó a docentes el desafío de incorporar las denominadas Nuevas Tecnologías de la Información y la Conectividad (NTICX) en el aula, haciendo mención de forma explícita a los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Además, este año se comenzó a atravesar un nuevo cambio en el DC del nivel terciario, para docentes en formación en los Profesorados de Educación Secundaria en Geografía de la provincia, con la incorporación en el nuevo plan de estudios de la materia “Cartografía” y contenidos vinculados a cartografía digital, inexistentes

en los DC anteriores. Esto representa un gran desafío para docentes, estudiantes avanzados y graduados recientes, ya en su mayoría no han tenido en la formación de grado capacitación en el uso de las TIG en general y de los SIG en particular.

En este sentido, desde el equipo de investigación se pensó una propuesta de extensión para dar respuesta a una las demandas más escuchadas en las instituciones educativas de nivel secundario y terciario que tiene que ver la posibilidad de contar con herramientas básicas para la inclusión de los SIG en el aula y, fundamentalmente, en la instancia de formación docente.

Los antecedentes que sustentan la propuesta son tres proyectos de investigación científica, desarrollados entre 2016 y 2019, en el marco del Programa de Docencia e Investigación con Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG): 1) Análisis espacial y evaluación de zonas de potenciales conflictos ambientales, productivos y patrimoniales ante la expansión urbana en la cuenca del río Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina) (Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, 2016-2019), 2) Geografía y Patrimonio cultural en la cuenca del río Luján (Fondo Nacional de las Artes, 2018) y 3) Diagnóstico socio-habitacional en la cuenca del río Luján, 2010 (Provincia de Buenos Aires, Argentina) basado en el análisis espacial con Sistemas de Información Geográfica (Departamento de Ciencias Sociales – UNLu, 2016-2017). A partir de los cuales se realizó una tarea de actualización cartográfica (Buzai *et al.*, 2018) con múltiples finalidades, que dieron como resultado la publicación impresa y digital del “Atlas de Geografía Humana de la cuenca del río Luján” (Buzai *et al.*, 2019).

El mapa, como principal forma de comunicación de la disciplina, ha estado presente históricamente en las clases de Geografía. En este sentido, el “Atlas” como compendio de representaciones cartográficas se ha considerado como una fuente de información central en contexto de aula, principalmente para reconocer y analizar localizaciones. Pero esta concepción histórica del Atlas se ha ampliado en los últimos años, incorporando los cinco conceptos fundamentales del análisis espacial que nos permiten no sólo “localizar” sino ver relaciones espaciales entre los componentes cartografiados: localizaciones, distribuciones espaciales, asociaciones espaciales, interacciones espaciales y evoluciones espaciales a través del tiempo.

A través del proyecto de extensión se busca trasladar el Atlas tradicional de la cuenca del río Luján a un Atlas-web interactivo que pueda ser utilizado principalmente por docentes y estudiantes con el propósito de fomentar la inclusión de los SIG en el proceso de enseñanza-aprendizaje en el nivel secundario y terciario.

A partir de la base de datos provista por el Atlas, que fue sistematizada mediante el *software* SIG de escritorio QGIS, se obtuvieron las capas de Información Geográfica en dos formatos básicos: archivos vectoriales (.SHP) y archivos raster (.GeoTIFF). Este insumo constituyó el punto de partida para la posterior publicación de los mapas en QGIS Cloud que es una plataforma Web-GIS para publicar mapas, datos y servicios en Internet (QGIS Cloud, 2022). Este complemento de QGIS no requiere un servidor o una infraestructura, y proporciona una base de datos PostgreSQL ampliada con PostGIS. También es posible compartir mapas y datos en la página web compatible con OGC y mostrar mapas como WMS o descargar datos como WFS. QGIS Cloud ofrece un plan de suscripción gratuito donde se puede acceder libremente a todos

los mapas publicados en Internet con una capacidad de almacenamiento de hasta 50 MB.

Como paso inicial, se realizó la apertura del sitio Web con gestor de contenidos "atascuencalujan" en la plataforma oficial de la UNLu, donde se comenzó con la carga de información básica del proyecto y la incorporación de los mapas, con soporte del Centro de Investigación, Docencia y Extensión en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (CIDETIC) y la colaboración de un estudiante avanzado de la carrera de licenciatura en información ambiental con conocimiento en programación que se incorporó al equipo en el marco de una pasantía interna rentada de la Universidad.

Hasta el momento, hemos avanzado en la publicación Web de los mapas del Atlas en la plataforma *QGIS Cloud*, alcanzando una serie de 50 mapas publicados, generando una transición desde una cartografía inalterable a un formato digital interactivo. Cada mapa se encuentra acompañado por un resumen, una figura de la temática tratada, enlaces de descarga que permiten acceder al texto completo disponible en el Atlas (libro en versión digital) y a la base de datos alfanumérica para su descarga y uso libre.

Los mapas se apoyan en conceptos de análisis espacial (localización, asociación espacial, distribución espacial, interacción espacial y evolución espacial). Mientras los atlas tradicionales incorporan mapas impresos, los atlas interactivos ponen a disponibilidad las bases de datos alfanuméricas y gráficas para que los usuarios puedan visualizar, editar y realizar sus propios mapas. La cantidad de mapas resultantes es infinita porque son infinitas las posibilidades de combinación de variables y escalas (Principi & Montes Galbán, 2022).

En este sentido, la etapa final del proyecto, prevista para finales del 2023, consiste en acompañar a estudiantes y docentes a través de talleres y capacitaciones para que puedan conocer y utilizar Atlas Web interactivo en las clases de Geografía. Para esta instancia tiene una relevancia espacial un anexo didáctico que se incluyó en la versión impresa y digital de Atlas donde se presentan una serie ejercicios, con tutoriales paso a paso, de aplicación con QGIS mediante el uso de la base de datos geográfica distribuida gratuitamente.

Consideramos que esta gran flexibilidad que brinda el Atlas-web fomentará la participación creativa de los docentes o futuros docentes de Geografía y nos permitirá realizar la transferencia de resultados de investigación a ámbitos extra-universitarios, siendo un ejemplo concreto de aplicación de tecnologías SIG-Web en la construcción de atlas interactivos con múltiples propósitos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Buzai, G.D., Lanzelotti, S., Paso Viola, F. & Principi, N. (2018). Cartografía analógica y digital para la delimitación regional y el análisis temático: aplicación a la cuenca del río Luján (Argentina). *Revista de Geografía, Norte Grande*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, vol. n° 69, pp. 99-119.
- Buzai, G. D., Lanzelotti, S., Principi, N. & Montes Galbán, E. (2019). *Atlas de Geografía Humana de la cuenca del río Luján*. Buenos Aires: Impresiones Buenos Aires.

Principi, N. & Montes Galbán, E. (2022). Tecnologías SIG Web en la construcción de atlas interactivos. En G. D. Buzai & E. Montes Galbán (comps.), *Pensando los Sistemas de Información Geográfica desde Iberoamérica* (pp. 274-280). Buenos Aires: Impresiones Buenos Aires.

QGIS Cloud (2022). QGIS Cloud. Obtenido de <https://qgiscloud.com/>

QGIS Development Team (2019). QGIS. Un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto. Obtenido de <https://qgis.org/es/site/>

**Palabras clave:** Atlas-web interactivo, Sistemas de Información Geográfica, enseñanza de la Geografía.

**Financiación:** El proyecto de extensión es financiado por la Universidad Nacional de Luján (Resolución HCS N° 043/21).

**Agradecimientos:** A los integrantes del equipo de extensión que hacen posible el desarrollo de la propuesta: Sonia Lanzelotti, Roxana Marchettich, Silvina Márquez, Lila Martínez, Miguel Guarnochea en temáticas geográficas y a Gastón Díaz por su trabajo transversal en el diseño y carga de mapas en el sitio Web con gestor de contenidos de la UNLu.

## Towards an interactive web-atlas: a proposal for university extension for Geography teaching

The work presents the advances achieved within the framework of the extension project "*Interactive Atlas-web: innovative didactic resource for the teaching of Geography*" that is being carried out at the National University of Luján (UNLu for its acronym in Spanish) with the purpose of promoting the incorporation of Geographic Information Technologies (GIT) in the teaching of Geography, at high school and higher education levels.

In this sense, it is important to mention that in Argentina, in the last decades, changes were carried out in educational matters (Federal Education Law in 1993 and New National Education Law in 2006) that were accompanied by updates in Curricular Designs (CD), where the contents to be taught at the different educational levels are prescribed. Between 2006 and 2011, in Buenos Aires's Province, the new Geography CD began to be gradually implemented for the secondary level (from 1st to 6th year) where, in addition to changes in disciplinary content, teachers were introduced to the challenge of incorporating the so-called New Information and Connectivity Technologies (NTICX) in the classroom, explicitly mentioning Geographic Information Systems (GIS). In addition, this year a new change began to be made in the DC at the tertiary level, for teachers in training in the Secondary Education Teachers in Geography of the province, with the incorporation into the new curriculum of the subject "Cartography" and contents linked to digital cartography, non-existent in the previous CD. This represents a great challenge for teachers, advanced students and recent graduates, since most of them have not had training in the use of GIT in general and GIS in particular in undergraduate training.

In this sense, the research team thought of an extension proposal to respond to one of the most heard demands in secondary and tertiary educational institutions that has to do with the possibility of having basic tools for the inclusion of GIS in the classroom and, fundamentally, in the instance of teacher training.

The background that supports the proposal are three scientific research projects, developed between 2016 and 2019, within the Teaching and Research Program with Geographic Information Systems (PRODISIG for its acronym in Spanish) in the Department of Social Sciences of the UNLu: 1) Spatial analysis and evaluation of areas of potential environmental conflicts, production and heritage assets in the face of urban expansion in the Luján river basin (Buenos Aires Province, Argentina) (National Agency for Scientific and Technological Promotion, 2016-2019), 2) Geography and cultural heritage in the Luján river basin (National Fund de las Artes, 2018) and 3) Socio-housing diagnosis in the Luján river basin, 2010 (Buenos Aires Province, Argentina) based on spatial analysis with Geographic Information Systems (Department of Social Sciences – UNLu, 2016-2017). From which a cartographic update task was carried out (Buzai *et al.*, 2018) with multiple purposes, which resulted in the printed and digital publication of the “Atlas of Human Geography of the Luján river basin” (Buzai *et al.*, 2019).

The map, as the main form of communication of the discipline, has historically been present in Geography classes. In this sense, the “Atlas” as a compendium of cartographic representations has been considered as a central source of information in the classroom context, mainly to recognize and analyze locations. But this historical conception of the Atlas has been expanded in recent years, incorporating the five fundamental concepts of spatial analysis that allow us not only to “locate” but to see spatial relationships between mapped components: locations, spatial distributions, spatial associations, spatial interactions, and spatial evolutions through time.

The extension project seeks to transfer the traditional Atlas of the Luján river basin to an interactive Atlas-web that can be used mainly by teachers and students with the purpose of promoting the inclusion of GIS in the teaching-learning process. at the secondary and tertiary level.

From the database provided by the Atlas, which was systematized using the QGIS desktop GIS software, the Geographic Information layers were obtained in two basic formats: vector files (.SHP) and raster files (GeoTIFF). This input constituted the starting point for the subsequent publication of the maps in QGIS Cloud, which is a Web-GIS platform to publish maps, data and services on the Internet (QGIS Cloud, 2022). This QGIS plugin does not require a server or infrastructure, and provides a PostgreSQL2 database extended with PostGIS. It is also possible to share maps and data on OGC compliant web page and display maps as WMS or download data as WFS. QGIS Cloud offers a free subscription plan where you can freely access all maps published on the Internet with a storage capacity of up to 50 MB.

As an initial step, the website was opened with the “atascuencalujan” content manager on the official UNLu platform, where the basic information of the project was uploaded and the maps incorporated, with the support of the Teaching and Extension in Information and Communication Technologies (CIDETIC) in the Department of Social Sciences of the UNLu) and the collaboration of an advanced student of the bachelor’s degree in environmental information with knowledge in programming who joined the team within the framework of an internal internship at the University.

Currently, we have made progress in the Web publication of the Atlas maps on the QGIS Cloud platform, reaching a series of 50 maps published, making a transition from unalterable cartography to a format interactive digital. Each map is accompanied by a summary, a figure of the subject matter, download links that allow access to the full text available in the Atlas (book in digital version) and the alphanumeric database for download and free use.

The maps are supported by spatial analysis concepts (location, spatial association, spatial distribution, spatial interaction, and spatial evolution). While traditional atlases incorporate printed maps, interactive atlases make alphanumeric and graphic databases available so that users can view, edit, and make their own maps. The number of resulting maps is infinite because the possibilities of combining variables and scales are infinite (Principi & Montes Galbán, 2022).

In this sense, the final stage of the project, scheduled for the end of 2023, consists of accompanying students and teachers through workshops and training so that they can learn about and use interactive Atlas Web in Geography classes. For this instance, a didactic annex that was included in the printed and digital version of Atlas has spatial relevance, where a series of exercises are presented, with step-by-step tutorials, for application with QGIS through the use of the freely distributed geographic database.

We believe that this great flexibility offered by the Atlas-web will encourage the creative participation of Geography teachers or future teachers and will allow us to transfer research results to extra-university settings, being a concrete example of the application of GIS-Web technologies in the construction of interactive atlases with multiple purposes.

**Keywords:** Interactive Atlas-web, Geographic Information Systems, Geography teaching.

# PROJETO EDUCAÇÃO PÓS-PANDEMIA: O USO DE FERRAMENTAS TECNOLÓGICAS NO ENSINO DE GEOGRAFIA – SIG E SUA APLICABILIDADE

TAVARES CERINO, WILLIAN

Programa de Doctorado en Ciudad, Territorio y Planificación Sostenible,  
Calle Joanot Martorell, 15, 43480 Vila-seca, Tarragona (Catalunya, España),  
[cerinotavares@gmail.com](mailto:cerinotavares@gmail.com) – [willian.tavares@alumni.urv.cat](mailto:willian.tavares@alumni.urv.cat)

Eventos extremos podem provocar mudanças na estrutura de uma sociedade, a queda do Muro de Berlim, o ataque às Torres Gêmeas e a Crise de 2008 são exemplos de mudanças que levaram a uma reorganização da sociedade tal como a conhecemos. A COVID-19 será outro marco de mudança histórica, a utilização massiva de meios tecnológicos será um dos símbolos dessa mudança. Compreendendo que estamos vivendo um momento de ruptura histórica, o projeto tem como objetivo central identificar como a pandemia acelerou as mudanças na educação, especialmente no campo geográfico, salientando a importância de atualizar a matriz curricular do ensino básico e a introdução de instrumentos tecnológicos como o Sistema de Informação Geográfica (SIG) no ensino. Para responder aos objetivos propostos, o projeto foi ramificado em quatro blocos: 1) Elaboração de uma revisão bibliográfica, para analisar o estado atual da investigação, principais linhas de pesquisa, tendências, lacunas existentes e onde se constata que o projeto poderia ter uma maior contribuição. 2) Coleta de dados, com entrevistas e questionários, com professores, alunos, pais e comunidade, para identificar a percepção dos agentes diretamente relacionados. 3) Desenvolvimento de um método que possa ser aplicada ao ensino da Geografia no ensino básico na Escola Dom Pedro II (Goiás – Brasil), o método será desenvolvido através de revisões bibliográficas, entrevistas e questionários, contando também com a participação de professores de Geografia, História e Biologia 4) Implementação do método desenvolvido.

Para o desenvolvimento da primeira fase (referencial teórico), foram estabelecidos quatro critérios: data de publicação (a partir de 2020), periódico (revistas indexadas em Journal Citation Reports ou SCImago Journal Rank), número de citações (igual ou superior a 30) e tema central de pesquisa (educação, tecnologia, geografia e SIG), a seleção foi feita através das plataformas de pesquisa Web of Science e Scopus, em um segundo momento utilizou-se a ferramenta VOSviewer para construir uma rede

bibliométrica. Na primeira análise, trinta e três documentos foram pré-selecionados, e após a análise dos resumos, foram selecionados vinte e cinco, que serviram de base para o desenvolvimento da primeira fase da investigação. Foram destacados seis eixos centrais:

Ensino online: O modelo de ensino online tornou-se uma necessidade como resultado da pandemia, mesmo com o regresso das atividades presenciais, o ensino à distância continuará a desempenhar um papel fundamental na estrutura escolar do ensino básico.
Formação renovada de professores: A pandemia demonstrou a necessidade de os profissionais da educação serem adaptados às novas tecnologias e métodos de ensino. No mundo pós-pandemia, os programas de formação de professores terão de ser redesenhados para melhor preparar os professores para o panorama educacional em mudança.
Transição com parcimônia: As mudanças provocadas pela pandemia aceleraram as transformações estruturais na educação, mas a transição deve ser realizada de forma participativa, com a interação ativa do Estado, empresas privadas, famílias, professores e estudantes.
Descentralização da educação: A pandemia materializou um processo que vinha ocorrendo há anos, a descentralização do conhecimento, o professor já não é o único centro de informação, os estudantes têm agora mais controlo sobre a sua própria aprendizagem e devem ser incentivados a adotar um papel ativo no processo educativo.
Foco na saúde mental: O período pandémico teve um impacto significativo na saúde mental dos estudantes, as escolas terão de colocar maior ênfase na satisfação das necessidades dos estudantes em termos de saúde mental.
Infraestrutura tecnológica: Para atingir os objetivos mencionados, é necessário que a estrutura escolar seja adaptada à realidade do século XXI, o uso de novas tecnologias permitirá que os alunos tenham acesso a uma grande quantidade de informações por meio de plataformas educacionais, sites, aplicativos, jogos e vídeos educativos, tornando o aprendizado mais fácil, interessante e atrativo.

Fonte: Produzido pelo autor com base nos textos de Ladson-Billings (2021), Alves *et al.* (2021), Rapanta *et al.* (2021) e De Freitas Vieira *et al.* (2020).

Com base no referencial teórico estabelecido, foi possível analisar a importância da introdução de novas ferramentas tecnológicas na educação básica, no contexto geográfico, o SIG tem um papel central, sendo uma ferramenta importante para coletar, analisar e visualizar dados geográficos, permitindo aos professores oferecer experiências de aprendizagem mais envolventes contribuindo para melhorar a compreensão dos alunos com uma realidade mais visível do que a vista em modelos tradicionais (tipificados por livros didáticos). A utilização de instrumentos tecnológicos no ensino da Geografia pode também proporcionar uma abordagem prática e interativa, utilizando ferramentas SIG os alunos podem explorar e analisar dados geográficos em tempo real, o que os pode ajudar a desenvolver competências de pensamento espacial crítico, melhorando a sua compreensão dos conceitos geográficos, contribuindo à análise da relação entre o ser humano e o meio ambiente, demonstrando como as atividades humanas afetam o meio ambiente e como o meio ambiente, por sua vez, influencia a sociedade humana.



Um livro com mapas, caracterizações e indicações é importante, mas que nível de importância quando temos ferramentas online, onde o aluno pode criar seu próprio mapa, visualizar os principais pontos turísticos do mundo em 3D, identificar os diversos tipos de relevo e vegetação, podem analisar as mudanças causadas pelo processo de urbanização ao longo de décadas. Segundo Sahin e Shelley (2020) a questão fundamental não é excluir o livro didático como ferramenta de ensino, mas aproximar a educação básica das novas tecnologias, conciliando as duas ferramentas de ensino para melhorar a qualidade do que é ensinado. O SIG não pode ser ignorado como um novo método de ensino, e deve estar presente no cotidiano escolar, esse foi o objetivo da primeira fase do projeto: Analisar as mudanças na educação e como as novas tecnologias geográficas podem (e devem) entrar na escola rotina.

A segunda etapa do projeto caracterizou-se pela coleta de dados, foram realizadas doze entrevistas: Pais (5), professores de Geografia (4), coordenadores escolares (2) e representante da comunidade (1), também foi aplicado um questionário às quatorze turmas do Colégio Dom Pedro II (327 questionários – 87% dos alunos) por meio do aplicativo *Survio* durante as aulas de Geografia (8 a 12 de agosto de 2022). Analisar a percepção dos agentes diretamente implicados no processo de ensino-aprendizagem, foi o objetivo central da segunda etapa, três pautas se destacaram: Conforme proposto empiricamente nas hipóteses do projeto, o atual sistema educacional é uma ilha, isolada em um mundo caracterizado pelo uso contínuo da tecnologia; Receio por parte da coordenação e pais de como será o uso de computadores e/ou celulares em sala de aula; Os professores acreditam que o ensino de Geografia poderia melhorar com o uso do SIG, mas não o utilizam devido à falta de infraestrutura e ao rígido modelo de ensino. Os resultados da segunda etapa foram primordiais para compreender as principais lacunas existentes, mas também para analisar a visão dos estudantes, que deve ser o centro de qualquer decisão.

As quatro fases do projeto estão relacionadas, mas destaca-se a estreita relação entre a terceira (definição da metodologia de implementação) e a quarta fase (implementação). Com a contribuição dos professores, foi elaborado a estrutura de um método para a aplicação de SIG no ensino, reconhecendo as limitações de infraestrutura e financeiras (da instituição e do projeto), foram selecionadas três ferramentas para o desenvolvimento das atividades: My Maps, Google Earth, QGIS. As atividades terão início no segundo bimestre escolar de 2023 (abril-junho), especialmente nas aulas de Geografia, mas também de História e Biologia, procurando uma abordagem interdisciplinar e diferentes pontos de vista sobre a utilização de ferramentas SIG. Antes de iniciar as atividades, será feita uma primeira abordagem ao tema com um seminário, exemplificando a utilização das ferramentas, a sua importância, a forma como são atualmente utilizadas e a sua origem. O seminário será realizado em dois blocos, um para professores e outro para alunos, nesta parte do projeto, participarão bolsistas do programa PIBID (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência).

<i>Turma (Idade)</i>	<i>Ferramenta de análise</i>	<i>Temas a serem abordados</i>	<i>Duração (aulas)</i>
6º ano (11 anos)	Google Earth	Sistema Solar	2 semanas (4)
7º ano (12 anos)	My Maps e Google Earth	Agropecuária e Desmatamento	5 semanas (10)
8º ano (13 anos)	My Maps e Google Earth	Continente Africano	4 semanas (5)
9º ano (14 anos)	My Maps e Google Earth	Urbanização	4 semanas (5)
1º ano (15 anos)	My Maps e Google Earth	Expansão territorial brasileira	4 semanas (4)
2º ano (16 anos)	My Maps, Google Earth e QGIS	Geopolítica	4 semanas (8)
3º ano (17 anos)	My Maps, Google Earth e QGIS	Mudanças climáticas	5 semanas (10)
Todos as turmas	My Maps e/ou Google Earth	Criação de três mapas	2 semanas (3)

Fonte: Produção do autor – Estrutura de desenvolvimento da atividade.

A primeira parte das atividades utilizando SIG terá duração de duas a cinco semanas, abordando os temas previamente definidos pelos professores, a segunda fase será a elaboração de mapas, com o apoio dos professores e bolsistas do programa PIBID, os mapas serão relacionados ao cotidiano do aluno, sendo dois mapas de percursos (casa-escola e escola-pontos turísticos) e um terço de livre escolha do aluno, buscando explorar a criatividade dos alunos e realizando uma primeira análise da eficiência do projeto.

A análise dos resultados é, segundo Carlomagno e Da Rocha (2016), um processo fundamental de um projeto, contribuindo para uma visão ampliada do estudo de caso, corroborando ou refutando as hipóteses iniciais e sendo essencial para a posterior apresentação dos resultados à comunidade civil e acadêmica, nesta perspectiva, o projeto terá cinco fases para análise/revisão dos resultados: Relatórios individuais dos docentes; Relatório coletivo dos professores e coordenação; Avaliação do desempenho dos alunos nas provas bimestrais (comparação com o ano de 2022 e 2023); Cinco redações de cada turma, relacionadas à sua experiência no projeto (professores de português e redação, organizarão a atividade e selecionarão as redações mais relevantes); Avaliação qualitativa dos alunos em relação ao projeto, utilizando a ferramenta *Survio*.

Pretende-se divulgar as considerações finais em novembro, de uma forma programada, a fim de procurar uma maior difusão dos resultados, a primeira exposição será na Escola Dom Pedro II, posteriormente no Centro Comunitário do Bairro Parque Amazônia e terminará na Secretaria de Estado da Educação. O projeto, iniciado em janeiro de 2022 e com término previsto para novembro de 2023, está a revelar-se um desafio, principalmente devido à falta de uma infraestrutura adequada, porém espera-se que o projeto possa contribuir para uma maior utilização de instrumentos tecnológicas na rotina escolar, sentando as bases (indicando desafios e oportunidades) para a utilização de SIG no ensino de Geografia. Finalmente, dois aspectos merecem destaque: Prevê-se a publicação de três artigos científicos, dois em construção e um em revisão, na revista “Boletim Goiano de Geografia”. O projeto foi possível graças ao apoio de professores, pais e alunos do Colégio Dom Pedro II, bolsistas PIBID e financiamento da Secretaria de Estado de Desenvolvimento e Inovação (Sedi) no âmbito do projeto SEMEAR no Estado de Goiás.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alves, L. A. S., Martins, Alexandra da Costa Souza & Moura, A. A. (2021). Desafíos y aprendizajes con la enseñanza remota de los docentes de educación básica. *Revista Iberoamericana de Educación*, vol. 86, nº 1, pp. 61-78.
- Carlomagno, Márcio C. & Da Rocha, Leonardo Caetano (2016). Como criar e classificar categorias para fazer análise de conteúdo: uma questão metodológica. *Revista Eletrônica de Ciência Política*, vol. 7, nº 1.
- De Freitas Vieira, Márcia & Da Silva, Carlos Manuel Seco (2020). A Educação no contexto da pandemia de COVID-19: uma revisão sistemática de literatura. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, vol. 28, pp. 1013-1031.
- Ladson-Billings, Gloria (2021). I'm here for the hard re-set: Post pandemic pedagogy to preserve our culture. *Equity & Excellence in Education*, vol. 54, nº 1, pp. 68-78.
- Rapanta, Chrysi *et al.* (2021). Balancing technology, pedagogy and the new normal: Post-pandemic challenges for higher education. *Postdigital Science and Education*, vol. 3, nº 3, pp. 715-742.
- Sahin, Ismail & Shelley, Mack (2020). Educational Practices during the COVID-19 Viral Outbreak: International Perspectives. *International Society for Technology, Education and Science*.

*Palabras clave:* Educação, Geografia, SIG (Sistema de Informação Geográfica).

## Post-pandemic Education Project: The use of technological tools in teaching Geography – GIS and its applicability

Extreme events can cause changes in the structure of a society, the fall of the Berlin Wall, the attack on the Twin Towers and the 2008 Crisis are examples of changes that led to a reorganization of society as we know it. COVID-19 will be another milestone of historical change, the massive use of technological means will be one of the symbols of that change. Understanding that we are living a moment of historical rupture, the project's central objective is to identify how the pandemic has accelerated changes in education, especially in the geographic field, highlighting the importance of updating the curriculum matrix of basic education and the introduction of technological tools such as the Geographic Information System (GIS) in teaching. To meet the proposed objectives, the project was branched into four blocks: 1) Development of a literature review, to analyze the current state of research, main lines of research, trends, existing gaps and where it is found that the project could have a greater contribution. 2) Data collection, with interviews and questionnaires, with teachers, students, parents and community, to identify the perception of the agents directly related. 3) Development of a method that can be applied to the teaching of Geography in basic education at Dom Pedro II School (Goiás – Brazil), the method will be developed through bibliographic reviews, interviews and questionnaires, also counting on the participation of Geography, History and Biology teachers. 4) Implementation of the developed method.

For the development of the first stage (theoretical Reference), four criteria were established: date of publication (from 2020), journal (journals indexed in Journal Citation Reports or SCImago Journal Rank), number of citations (equal to or greater than 30) and central research theme (education, technology, geography and GIS), the selection was made through the Web of Science and Scopus search platforms, in a second moment the VOSviewer tool was used to build a bibliometric network. In the first analysis, thirty-three documents were pre-selected, and after analyzing the abstracts, twenty-five were selected, which served as the basis for the development of the first phase of the research. Six central axes were highlighted:

<p><b>Online teaching:</b> The online teaching model has become a necessity as a result of the pandemic, even with the return of face-to-face activities, distance learning will continue to play a key role in the school structure of basic education.</p>
<p><b>Transition with parsimony:</b> The changes brought about by the pandemic have accelerated structural transformations in education, but the transition must be carried out in a participatory manner, with the active interaction of the state, private companies, families, teachers, and students.</p>
<p><b>Decentralization of education:</b> The pandemic materialized a process that had been taking place for years, the decentralization of knowledge, the teacher is no longer the only center of information, students now have more control over their own learning and should be encouraged to take an active role in the educational process.</p>
<p><b>Focus on mental health:</b> The pandemic period had a significant impact on students' mental health, schools will need to place greater emphasis on meeting students' mental health needs.</p>
<p><b>Technological infrastructure:</b> To achieve the aforementioned objectives, it is necessary that the school structure be adapted to the reality of the 21st century, the use of new technologies will allow students to have access to a large amount of information through educational platforms, websites, applications, educational games and videos, making learning easier, more interesting and attractive.</p>

Based on the established theoretical framework, it was possible to analyze the importance of introducing new technological tools in basic education, in the geographic context, GIS has a central role, being an important tool to collect, analyze and visualize geographic data, allowing teachers to offer more engaging learning experiences contributing to improving students' understanding with a more visible reality than seen in traditional models (typified by textbooks). The use of technological instruments in teaching Geography can also provide a practical and interactive approach, using GIS tools students can explore and analyze geographic data in real time, which can help them to develop critical spatial thinking skills, improving their understanding of geographical concepts, contributing to the analysis of the relationship between human beings and the environment, demonstrating how human activities affect the environment and how the environment, in turn, influences human society.

A book with maps, characterizations and indications is important, but what level of importance when we have online tools, where students can create their own map, view the world's main tourist spots in 3D, identify the various types of relief and vegetation, can analyze the changes caused by the urbanization process over decades. According to Sahin and Shelley (2020) the fundamental issue is not to exclude the

textbook as a teaching tool, but to bring basic education closer to new technologies, reconciling the two teaching tools to improve the quality of what is taught. GIS cannot be ignored as a new teaching method, and must be present in the school routine, this was the objective of the first phase of the project: Analyze the changes in education and how the new geographic technologies can (and should) enter the school routine.

The second phase of the project was characterized by data collection. Twelve interviews were conducted: parents (5), Geography teachers (4), school coordinators (2) and community representatives (1), a questionnaire was also applied to the fourteen classes of *Colégio Dom Pedro II* (327 questionnaires – 87% of the students) by means of the *Survio* application during Geography classes (August 8-12, 2022). The main objective of the second stage was to analyze the perception of the agents directly involved in the teaching-learning process. Three topics stood out: as empirically proposed in the project's hypotheses, the current educational system is an island, isolated in a world characterized by the continuous use of technology; fear on the part of coordinators and parents of how the use of computers and/or smartphone will be in the classroom; teachers believe that Geography teaching could improve with the use of GIS, but they do not use it due to the lack of infrastructure and the rigid teaching model. The results of the second stage were paramount to understand the main existing gaps, but also to analyze the students' vision, which should be the center of any decision.

The four phases of the project are related, but the close relationship between the third (definition of the implementation methodology) and the fourth phase (implementation) stands out. With the contribution of teachers, the structure of a method for the application of GIS in education was elaborated, recognizing the infrastructural and financial limitations (of the institution and the project), three tools were selected for the development of the activities: My Maps, Google Earth, QGIS. The activities will start in the second school bimester of 2023 (April-June), especially in Geography classes, but also in History and Biology classes, seeking an interdisciplinary approach and different points of view on the use of GIS tools.

Before starting the activities, a first approach to the topic will be made with a seminar, exemplifying the use of the tools, their importance, how they are currently used and their origin. The seminar will be held in two blocks, one for teachers and the other for students. In this part of the project, fellows from the Institutional Program for Initiation to Teaching Scholarship (PIBID) will participate.

<i>Class (Age)</i>	<i>Analysis Tool</i>	<i>Topics to be addressed</i>	<i>Duration (classes)</i>
6° (11 years)	Google Earth	Solar system	2 weeks (4)
7° (12 years)	My Maps and Google Earth	Agriculture and Deforestation	5 weeks (10)
8° (13 years)	My Maps and Google Earth	African continent	4 weeks (5)
9° (14 years)	My Maps and Google Earth	Urbanization	4 weeks (5)
1° (15 years)	My Maps and Google Earth	Brazilian territorial expansion	4 weeks (4)
2° (16 years)	My Maps, Google Earth and QGIS	Geopolitics	4 weeks (8)
3° (17 years)	My Maps, Google Earth and QGIS	Climate changes	5 weeks (10)
All classes	My Maps and/or Google Earth	Creation of three maps	2 weeks (3)

The first part of the activities using GIS will last from two to five weeks, addressing the themes previously defined by the professors, the second phase will be the elaboration of maps, with the support of the professors and scholarship holders of the PIBID program, the maps will be related to everyday life of the student, with two route maps (home-school and school-sights) and a third map of free choice by the student, seeking to explore the students' creativity and making a first analysis of the effectiveness of the project.

The analysis of the results is, according to Carlomagno and Da Rocha (2016), a fundamental process of a project, contributing to an expanded view of the case study, corroborating or refuting the initial hypotheses and being essential for the subsequent presentation of the results to the civil community and academic, in this perspective, the project will have five phases for analysis/revision of the results: Individual reports of the professors; Collective report of teachers and coordination; Evaluation of student performance in the bimonthly tests (comparison with the year 2022 and 2023); Five essays from each class, related to their experience on the project (teachers of Portuguese and writing, will organize the activity and select the most relevant essays); Qualitative assessment by students in relation to the project, using the *Survio* tool.

It is intended to disseminate the final considerations in November, in a scheduled way, in order to seek greater dissemination of the results, the first exhibition will be at the *Colégio Dom Pedro II*, later at the *Parque Amazônia* Community Center and will end at the State Department of Education. The project, which started in January 2022 and is scheduled to end in November 2023, is proving to be a challenge, mainly due to the lack of adequate infrastructure, but it is expected that the project will contribute to a greater use of technological instruments in the school routine, laying the foundations (indicating challenges and opportunities) for the use of GIS in Geography teaching. Finally, two aspects are worth highlighting: It is expected the publication of three scientific articles, two under construction and one under revision, in the magazine *Boletim Goiano de Geografia*. The project was made possible thanks to the support of teachers, parents and students from *Colégio Dom Pedro II*, PIBID scholarship holders and funding from the State Department for Development and Innovation (Sedi) within the scope of the SEMEAR project in the State of Goiás.

**Keywords:** Education, Geography, GIS (Geographic Information System).



