



TESIS DOCTORAL

Análisis de la Producción Científica en Energías Renovables

Luz María Romo Fernández

Departamento de Información y Comunicación

Conformidad del director:

Fdo: Vicente Pablo Guerrero Bote

2016

Departamento de Información y Comunicación
Facultad de Ciencias de la Documentación y la Comunicación

Universidad de Extremadura

Badajoz, 2016

A mi familia



| | |
|---|-----------|
| Índice | |
| Prefacio | IX |
| Agradecimientos | IX |
| Parte I: Líneas Generales del Trabajo | XI |
| 1. Resumen. | 13 |
| 2. Introducción. | 21 |
| 2.1. Limitaciones del estudio..... | 22 |
| 2.2. Fuentes bibliográficas..... | 23 |
| 2.3. Estructura del trabajo..... | 23 |
| 3. Justificación y objetivos. | 25 |
| 3.1. Las Energías Renovables y porqué la elección del tema..... | 25 |
| 3.2. Objetivos..... | 43 |
| 4. Metodología. | 47 |
| 4.1. La evaluación de la investigación..... | 50 |
| 4.2. Bibliometría, Cienciometría, Informetría. | 60 |
| 4.3. Indicadores científicos..... | 66 |
| 4.3.1. Indicadores para la dimensión cuantitativa. | 79 |
| 4.3.2. Indicadores para la dimensión cualitativa. | 81 |
| 4.4. Desarrollo y evaluación de Instrumentos bibliométricos. | 84 |
| 5. Material. | 87 |
| 5.1. Fuente. | 87 |
| 5.2. Extracción de datos..... | 91 |
| 5.3. Representación relacional..... | 91 |
| 6. Discusión de los resultados y conclusiones. | 93 |
| 6.1. Cuantificación de la producción científica. | 93 |
| 6.2. Impacto científico. | 100 |
| 6.3. Análisis temático. | 101 |
| 6.4. Análisis de las revistas utilizadas. | 104 |



| | |
|---|------------|
| 6.5. Qué revela nuestro análisis sobre las Energías Renovables. | 107 |
| 7. Perspectivas de investigación futura..... | 111 |
| 8. Rerefencias. | 113 |
| Parte II: Artículos..... | 131 |
| 9. Papers. | 133 |
| 9.1. Analysis of Europe's scientific production on renewable energies. | 135 |
| 9.2. World scientific production on renewable energy, sustainability and the environment..... | 147 |
| 9.3. Co-word based thematic analysis of renewable energy (1990-2010)..... | 159 |
| 9.4. Análisis de la producción científica española en energías renovables, sostenibilidad y medio ambiente (Scopus, 2003-2009) en el contexto mundial. | 185 |
| 10. Resúmenes de los artículos..... | 215 |
| 10.1. Análisis de la producción científica de Europa en energías renovables..... | 215 |
| 10.2. Producción científica mundial en energías renovables, sostenibilidad y medio ambiente. | 216 |
| 10.3. Análisis temático de energía renovable basado en cowords (1990-2010). ... | 217 |
| 10.4. Análisis de la producción científica española en energías renovables, sostenibilidad y medio ambiente (Scopus, 2003- 2009) en el contexto mundial. | 218 |



Prefacio

Este trabajo ha sido financiado por la Junta de Extremadura – Vicepresidencia Segunda y Consejería de Economía, Comercio e Innovación y el Fondo Social Europeo como parte de la beca predoctoral PRE07051, y por el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011 y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), como parte de proyectos de investigación TIN2008-06514-C02-01 y TIN2008-06514-C2-02.

Los resultados y la mayor parte de las conclusiones de este trabajo de tesis han sido presentados, en detalle, en cuatro trabajos realizados por la doctoranda en colaboración con el director de la tesis, así como con miembros de su grupo de investigación, grupo SCImago¹, como ha quedado reflejado en las distintas coautorías.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer las aportaciones de los coautores de los trabajos en los que se han presentado los resultados de la investigación, como Félix de Moya Anegón y Cristina López Pujalte, sin los cuales este trabajo no hubiera sido posible, y muy especialmente al director del trabajo, Vicente P. Guerrero Bote. Y al grupo SCImago.

También quiero expresar mi agradecimiento hacia todos aquellos que han hecho posible la realización de esta tesis, como son mi familia, que me han apoyado en todo momento, amigos y compañeros de trabajo.

¹ El grupo SCImago, [<http://www.scimago.es/>], es un grupo de investigación de las universidades de Granada, Extremadura, Carlos III de Madrid y Alcalá de Henares, dedicado al análisis, representación y recuperación de la información, utilizando técnicas de visualización. Sus proyectos principales son: SCImago Journal & Country Rank-SJR; Atlas of Science.

Parte I: Líneas Generales del Trabajo





1. Resumen.

La ciencia es un fenómeno social e importante en las sociedades industrializadas y, en la actualidad, en la llamada sociedad de la información. Por tratarse de un sistema afectado por numerosos factores socioeconómicos se analiza frecuentemente como un proceso de entradas y salidas (análisis coste/beneficio) susceptible de ser cuantificado. En consecuencia, la rentabilidad y eficiencia de la ciencia es hoy objeto de evaluación que, por razones obvias, precisa ser analizado dentro del contexto social en donde se produce.

Las expectativas puestas en la investigación para la prosperidad futura de la sociedad, así como los costes elevados de la actividad científica, han propiciado un aumento paulatino de la actividad evaluadora de los resultados científicos en todos los países industrializados y en los países en vías de desarrollo.

Un estudio publicado en Nature establece una clasificación de los países en función de la producción científica, impacto de la misma e inversiones realizadas (King, 2004), lo que constata el interés de este tipo de estudios y la demanda creciente de información sobre el rendimiento de la investigación con fondos públicos.

Los indicadores de ciencia y tecnología que se utilizan en el proceso evaluativo, están basados en análisis cuantitativos y estadísticos, poniendo en evidencia cada uno de ellos una faceta del objeto de la evaluación. Unos son utilizados para valorar los recursos económicos y humanos dedicados a la actividad investigadora y otros para los resultados de la investigación.

Los dominios temáticos interdisciplinares son cada vez más numerosos y producen una gran cantidad de documentos científicos que presentan problemas a



la hora de su gestión (representación y organización) para la recuperación de la información. El análisis de dominio busca indagar más sobre la conformación de comunidades científicas, frentes de investigación, entre otros aspectos, de un campo temático determinado.

En este estudio se realiza un análisis del campo interdisciplinar de Energías Renovables mediante la aplicación de indicadores cuantitativos al dominio geográfico mundial, constituyendo un complemento informativo, cuantitativo y cualitativo, de dicho estudio, facilitando así el entendimiento de la evolución de las nuevas tendencias en dicho dominio.

Elaboramos un análisis de dominio del campo interdisciplinar de las Energías Renovables (*“Renewable energy, sustainability and the environmental”*) con los datos descargados y normalizados y definimos la metodología a seguir.

Nos hemos centrado en la categoría Energías Renovables, ya que es un tema de gran actualidad y en los últimos años, ha habido un progresivo interés en temas relacionados con el Medio Ambiente, acompañado de un gran desarrollo tecnológico en la búsqueda de promover la explotación de las fuentes de recursos renovables energéticos. Existe una gran preocupación social por nuestro entorno, no sólo en el ciudadano de a pie, sino que los Gobiernos y las empresas privadas están asumiendo esta preocupación, al encontrarse con una legislación cada vez más restrictiva y exigente, y con objetivos firmes en materia de Responsabilidad Social Corporativa.

Se ha aplicado los indicadores bibliométricos para el análisis de la investigación en el campo de las Energías Renovables, y los temas de investigación abordados son los siguientes:



- **Producción científica europea en Energías Renovables con respecto al mundo.**
- **Producción científica mundial en Energías Renovables.**
- **Palabras claves sobre Energías Renovables.**
- **Evaluación de la actividad científica en energía renovable, las revistas y las instituciones más productivas:**
 - Cuáles son los países y las revistas científicas con los mejores resultados en Energías Renovables conforme a los datos arrojados por los indicadores bibliométricos. [Artículos 1, 2].
 - Cuáles son los países, las instituciones de investigación y las revistas más productivos en Energías Renovables según los datos obtenidos utilizando los indicadores bibliométricos. [Artículo 2]
 - Cómo está la investigación de Energías Renovable en Europa comparada con el resto de países a nivel mundial. [Artículo 1]
 - Producción científica de España con respecto al mundo. Cuáles son las instituciones españolas con mayor producción y las revistas donde más publican las instituciones españolas. [Artículo 4]
- **Scopus:**
 - Cómo es la cobertura de la revista científica *Renewable Energy* en *Scopus*, en el campo de las Energías Renovables a través del estudio de las palabras claves. [Artículo 3]

Uno de los primeros pasos llevados a cabo en nuestro estudio, como hemos comentado anteriormente, ha sido delimitar el dominio científico, para que, una vez delimitado el gran número de publicaciones del campo de estudio, explorar el análisis bibliométrico más adecuado.



Tabla 1. Aspectos y temas de la investigación tratados en relación con la comunicación de sus resultados.

| <u>Temas</u> | <u>Artículo 1</u> | <u>Artículo 2</u> | <u>Artículo 3</u> | <u>Artículo 4</u> |
|---|---|---|--|--|
| Base de datos utilizada | <i>Scopus</i> | <i>Scopus</i> | <i>Scopus</i> | <i>Scopus</i> |
| Principales unidades de análisis | <ul style="list-style-type: none"> - Países y revistas científicas con los mejores resultados en Energías Renovables - Cómo está la investigación de Energías Renovable en Europa comparada con el resto de países a nivel mundial | <ul style="list-style-type: none"> - Países, instituciones de investigación y revistas científicas con mejores resultados en Energías Renovables. | <ul style="list-style-type: none"> - Cobertura de la revista científica <i>Renewable Energy</i>, en el campo de las Energías Renovables a través del estudio de las palabras claves | <ul style="list-style-type: none"> - Producción científica de España, instituciones españolas y revistas utilizadas por los científicos españoles. |
| Temas | Producción científica europea en Energías Renovables con respecto al mundo | Producción científica mundial en Energías Renovables | Palabras claves sobre Energías Renovables | Producción científica de España en Energías Renovables |
| Indicadores utilizados | <ul style="list-style-type: none"> - Producción primaria - Tasa de Variación (TV) - Índice de especialización temática (IET) - Producción por habitantes y por GDP - Citas por documento - Citación Normalizada - Promedio SJR | <ul style="list-style-type: none"> - Producción científica - Tasa de Variación (TV) - Índice de especialización temática (IET) - Citas - Citas por documento - Citación Normalizada - TV de Citación Normalizada | <ul style="list-style-type: none"> - Frecuencia palabras claves - Clustering - Algoritmo bursting Kleinber | <ul style="list-style-type: none"> - Producción científica - Tasa de Variación (TV) - Índice de especialización temática (IET) - Citas - Citas por documento - Citación Normalizada - TV de Citación Normalizada. |



Los resultados arrojados en este trabajo nos señalan en uno de los artículos publicados, que a nivel europeo, los países que cuentan con mayor producción en Energías Renovables en el periodo 2002-2007 son Reino Unido y Turquía. Alemania mantiene un número constante de publicaciones a lo largo del periodo estudiado y por esto es el país que menor Tasa de Variación experimenta y es el país que mayor esfuerzo realizan en la difusión de sus resultados. Estos dos últimos países obtienen buenos valores en cuanto a citas recibidas. Normalizando varios indicadores para los países, obtenemos cinco grupos de países europeos: países emergentes, medios, avanzados, iniciales y países especializados.

También analizamos las revistas científicas de Energías Renovables en el mismo periodo, y “Solar Energy Materials and Solar Cells” es la que cuenta con mayor número de documentos, seguida de “Energy Conversion and Management”, que son también las que mayor número de citas reciben. Para las revistas se ha utilizado el mismo procedimiento de clustering incluyendo las revistas que tienen todos los datos, y con este análisis hemos establecido tres grupos.

Como consecuencia de todos los datos analizados hay que subrayar que la producción científica en el campo de las energías renovables está creciendo y que, tanto la producción total mundial como la europea se duplican en el periodo estudiado. En el año 2006 hay un aumento considerable de la producción, y puede ser debido a la entrada en vigor en el año 2005 del protocolo de Kyoto.

En otro de los artículos publicados nos centramos en la producción científica mundial de las energías renovables para el periodo 2003-2008. Los resultados de este análisis nos muestran que, a nivel mundial, Estados Unidos, China, Reino Unido, India, Turquía y Japón son los países que mayor producción y mayor número de citas alcanzan. Los países que presentan mayor impacto son Dinamarca, Países Bajos, Suiza, Bélgica y Alemania. Normalizando varios



indicadores para los países, establecemos cinco grupos: países sobresalientes, avanzados, intermedios, especializados y países iniciales.

Además, en este artículo analizamos las instituciones y las revistas de Energías Renovables, siendo Technical University of Denmark y “Energy Conversion and Management”, respectivamente las que mayor producción presentan en el tema objeto de estudio. Normalizando las variables tanto para las instituciones como para las revistas obtenemos seis grupos distintos para las primeras y cinco para las segundas.

En otro de los artículos, empleamos una metodología distinta a la utilizada en los dos anteriores, ya que en esta nos centramos en analizar las keywords de los trabajos publicados en la revista Renewable Energy para los años 1990-2010. En nuestro caso, este tipo de análisis lo utilizamos para revelar patrones en el campo de ER con el fin de detectar los diferentes temas tratados.

Se distinguen cinco grandes grupos de trabajos. El primer grupo (A) trata sobre el viento y las mareas. El segundo (B) está dedicado a la combustión, diesel, biomasa, etc. y es el grupo de trabajos más especializados. El tercer grupo (C) trata sobre las políticas, efecto socio-económicos, etc. y es el que presenta mayor centralidad en el conjunto estudiado. El cuarto (D) trata sobre la energía solar, la eficiencia y transferencia, etc., es el que cuenta con mayor producción en el periodo estudiado y es el mejor definido (mayor cohesión). Y el quinto grupo (E) está dedicado al clima y los métodos utilizados para su análisis. Haciendo un análisis más específico obtenemos 22 grupos de trabajos.

Y por último, en otro de los artículos analizamos la producción científica de España en el periodo 2003-2009 para el área de Energías Renovables en España utilizando la base de datos Scopus. Los resultados muestran que España aumenta su producción de forma notable a lo largo del periodo y es el país, después de



China, que mayor tasa de variación experimental. Ha realizado un esfuerzo en el área superior al promedio mundial. Las instituciones que destacan por la producción son el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas y la Universidad Politécnica de Madrid, y la Universidad de Zaragoza y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, destacan tanto por la producción como por el impacto.

Las distintas metodologías desarrolladas en nuestra tesis en el campo de las Energías Renovables se pueden aplicar a otros campos en investigaciones futuras, y así nuestro trabajo, servir como punto de partida y referencia para comparar con otros campos de estudio.



2. Introducción.

Desde que la ciencia y la tecnología forman parte de la política de los estados, el conocimiento riguroso del destino y efecto de los esfuerzos económicos, humanos e institucionales por parte de los poderes públicos y la sociedad es imprescindible.

La Bibliometría es a partir de la segunda mitad del siglo XX un instrumento básico para acercarse a la medida de producción de conocimiento y su transformación en bienes. La importancia de este instrumento ha venido creciendo a lo largo de estos últimos cincuenta años hasta convertirse en una disciplina básica para el desarrollo de la “Ciencia de la Ciencia”. Sin embargo, ese mismo desarrollo ha servido para poner de manifiesto los problemas que se derivan de la utilización de metodologías de análisis y datos inadecuados o excesivamente reduccionistas. (Hicks et al., 2015)

Nuestro estudio trata sobre las Energías Renovables ya que es un tema que está adquiriendo interés con el paso del tiempo tanto para los ciudadanos como para los gobiernos de todo el mundo.

La utilización de las fuentes de energía renovables por el hombre, como son por ejemplo la energía eólica, la energía solar y la hidráulica, es muy antiguo, ya desde muchos siglos antes de nuestra era ya se empleaban y su utilización continuó durante toda la historia hasta que llega la "Revolución Industrial", y debido al bajo precio del petróleo, fueron abandonadas.

En los últimos años, debido al aumento del coste de los combustibles fósiles y los problemas medioambientales producidos de su utilización, nos encontramos con el resurgir de las energías renovables. Éstas son duraderas y además tienen la



ventaja añadida de complementarse entre sí, favoreciendo la integración entre ellas.

A pesar del auge de los estudios bibliométricos y del creciente interés en Energías Renovables, nos encontramos con un gran vacío en cuanto a análisis de dominio científicos de dicha disciplina, seguramente por ser un campo tan reciente, lo que nos lleva a la necesidad de investigar sobre ello. En cuanto a los resultados producidos a tener en cuenta en nuestro análisis, nos hemos centrado en las publicaciones científicas, ya que constituyen el principal producto de la labor científica y son comunes a la mayor parte de las disciplinas.

2.1. Limitaciones del estudio.

En primer lugar hay que tener en cuenta la dificultad existente a la hora de recopilar los datos, pues no se trata de una simple descarga, sino de un proceso mucho más complejo de manipulación, almacenamiento y normalización de información.

Una de las limitaciones para la realización del estudio ha sido, centrarnos sólo en una parte de todos los documentos resultantes de las consultas, como por ejemplo, por un lado todos aquellos países que cuenten con una producción igual o superior a 50 documentos, y en el caso de las revistas e instituciones, limitamos el estudio a las más productivas en la categoría objeto de estudio.

Otra de las limitaciones ha sido en uno de los trabajos, restringir el estudio a los artículos publicados en una de las revistas con mayor prestigio en el campo estudiado. Somos conscientes de que la extrapolación de los resultados de una revista a todo un campo puede dar lugar a un sesgo en cuanto a los datos obtenidos.



2.2. Fuentes bibliográficas.

Las fuentes bibliográficas que han sido utilizadas para este trabajo provienen de diferentes campos de conocimiento.

En primer lugar, hemos realizado una lectura y un análisis de la bibliografía correspondiente a nuestra área, es decir, Biblioteconomía y Documentación, centrándonos en aquellos trabajos sobre bibliometría e indicadores bibliométricos. Las fuentes más utilizadas han sido revistas científicas escritas en lengua inglesa.

En segundo lugar, ha sido necesario obtener información relacionada con la investigación en el campo de las Energías Renovables.

2.3. Estructura del trabajo.

Esta tesis consta de dos partes diferenciadas:

Parte I:

La parte I incluye los siguientes apartados: resumen, introducción, justificación y objetivos, metodología, material, discusión de los resultados obtenidos, perspectivas y bibliografía utilizada.

En esta primera parte se explica la necesidad de realizar esta tesis y se indican las líneas principales del trabajo. A continuación, se exponen los objetivos marcados, los resultados que se han alcanzado y las conclusiones que de ellos hemos extraído.

Parte II:



En esta segunda parte indicamos los cuatro trabajos publicados como resultado de la investigación. Además de los cuatro artículos (tres en inglés y uno en español), presentamos un resumen de cada uno de ellos en español.

Artículos:

- Primer artículo: *Analysis of Europe's scientific production on renewable energies.*
- Segundo artículo: *World scientific production on renewable energy, sustainability and the environment.*
- Tercer artículo: *Co-word based thematic analysis of renewable energy (1990-2010).*
- Cuarto artículo: *Análisis de la producción científica española en energías renovables, sostenibilidad y medio ambiente (Scopus, 2003- 2009) en el contexto mundial.*



3. Justificación y objetivos.

3.1. Las Energías Renovables y por qué la elección del tema.

Como consecuencia de la crisis del petróleo de los años 70, la población comenzó a tomar conciencia de las consecuencias que tenía el abastecimiento energético en los modos de vida. Debido a esto, se consideró que las energías renovables podían ser una opción energética que permitiese alcanzar un mayor grado de independencia de los recursos petrolíferos. El papel de las renovables como energías alternativas se ha suavizado, y han tomado fuerza los aspectos ambientales y la demanda social, actuando como impulsores en el desarrollo de una nueva etapa en la integración de las Energías Renovables (Sánchez, 1995).

El gasto de energía y sobre todo el transporte, es a día de hoy, la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes acidificantes. Según la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), la emisión de estos últimos contaminantes se ha reducido gracias a la utilización de combustibles más limpios. Pero mientras no disminuya el uso de los combustibles fósiles en el conjunto energético, los gases de efecto invernadero tienden a aumentar. Como posibles soluciones está la mayor utilización de las energías renovables y la eficiencia energética.

Estos aspectos han tomado gran relevancia con los estudios sobre el ozono y el cambio climático global, quedando plasmados en los objetivos que muchos países han ido asumiendo para reducir emisiones de CO₂. Algunas medidas como el protocolo de Kyoto o el resto de medidas políticas, resultan incompletas a largo plazo para superar la situación ambiental y energética actual, ya que es necesario realizar un importante esfuerzo tecnológico. Por todo ello, las energías



renovables a mediados de este siglo, pueden llegar a suponer el 50% del consumo de energía primaria.

La seguridad energética y el cambio climático han precipitado una creciente conciencia e interés en las energías renovables (Simon et al., 2010)

La palabra “energía renovable” engloba una serie de fuentes de energía que en teoría no se agotarían con el paso del tiempo. Éstas, serían una opción a las llamadas convencionales o “no renovables” y provocarían un mínimo impacto ambiental.

Tipos de fuentes de energías:

| <i>No Renovables</i> | <i>Renovables</i> |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">- Combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural)- Energía nuclear (fisión y fusión nuclear). | <ul style="list-style-type: none">- Energía Solar- Energía Solar Térmica- Energía Eólica- Energía Geotérmica- Energía Hidráulica- Biomasa- Mareomotriz- Undimotriz- Hidrógeno- Energía azul |



Las **fuentes de energía no renovables** son aquellas que se encuentran en la naturaleza de manera limitada por lo que, una vez se hayan consumido, no pueden sustituirse. Su velocidad de consumo es mayor que la de su regeneración.

Existen varias fuentes de energía no renovables, como son:

Combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural). Los combustibles fósiles se pueden utilizar en forma sólida (carbón), líquida (petróleo) o gaseosa (gas natural). Se han formado naturalmente y consisten en depósitos de organismos fósiles que anteriormente estuvieron vivos y se han desarrollado bajo condiciones especiales durante millones de años. Constituyen un recurso natural no renovable. Los combustibles fósiles se obtienen principalmente por perforación y minería superficial.

Ventajas de los combustibles fósiles

- Son fáciles de obtener y utilizar.
- Su gran disponibilidad (temporal).
- Su gran continuidad (temporal).
- Proporcionan bastante energía a un costo relativamente bajo.
- Su transporte es básicamente poco complicado.
- Son fáciles de colocar (la mayoría).

Desventajas de los combustibles fósiles

- Se pueden agotar las reservas a corto o medio plazo.
- Contaminan el medio ambiente.



- Cuando se utilizan contaminan más que cualquier otro producto que se hubiera podido utilizar.

Energía nuclear (fisión y fusión nuclear). La energía nuclear es aquella que se libera como resultado de una reacción nuclear. Se puede obtener mediante la división del núcleo (Fisión Nuclear) o bien por la unión de dos átomos (Fusión Nuclear). Generalmente, esta energía (que se obtiene en forma de calor) se aprovecha para generar energía eléctrica en las centrales nucleares, aunque existen muchas otras aplicaciones de la energía nuclear. En las reacciones nucleares se libera una gran cantidad de energía debido a que parte de la masa de las partículas involucradas en el proceso, se transforma directamente en energía.

Ventajas de la energía nuclear

- El uso de este tipo de energía garantiza un daño menor al medio ambiente, evitando las emisiones de elementos contaminantes que se generan en la utilización de combustibles fósiles.
- Es una energía limpia, no genera CO₂ y no contamina.
- Garantiza el suministro eléctrico, generando gran parte de la energía eléctrica que consumimos en el día a día.
- Los vertidos de las centrales nucleares al exterior son mínimos.
- En cuanto a las aportaciones de la medicina, se encuentra las emisiones de radiación (para diagnóstico y terapia), como los rayos X y resonancias magnéticas.
- En la alimentación ha permitido, por medio de las radiaciones ionizantes, la conservación de alimentos.



- Las centrales nucleares, al igual que otras instalaciones eléctricas, generan empleo y riqueza en su zona de influencia.

Desventajas de la energía nuclear

- Existe un alto riesgo de contaminación en caso de accidentes nucleares (Chernobyl y Fukusima).
- Se produce desechos radioactivos que son difícil eliminar.
- El coste de producción es inferior al de otras fuentes energéticas, pero el coste de las instalaciones y mantenimiento de las centrales nucleares es alto y prolongado, por lo que en muchos casos se prefiere el uso de combustibles fósiles.
- Puede usarse con fines no pacíficos y algunas naciones la pueden utilizar con fines bélicos.

Los tipos de energías renovables son:

La energía solar (Sol)

La energía solar es aquella que se origina directamente del sol, y trasforma los rayos de éste en electricidad.

La producción de la energía solar se puede realizar de dos formas:

- conversión térmica de alta temperatura. (Es el caso de las centrales o parques solares). Transforma la energía solar en energía térmica almacenada en un fluido y para calentar éste, se emplean unos dispositivos llamados colectores.



- y conversión fotovoltaica (sistema fotovoltaico). Convierte la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica. Para ello, se utiliza unas placas solares formadas por células fotovoltaicas.

Las tecnologías solares se dividen en dos grupos, dependiendo de la forma en que se distribuya la energía del sol, de la forma en que se capture y convierta:

- Activas. Entran en juego los paneles fotovoltaicos, colectores, bombas o aerogeneradores para convertir la luz solar en un producto útil. Es decir, es la que nos abastece de energía.
- Pasivas. Incluyen la selección de materiales con propiedades térmicas favorables, diseños de espacios con circulación natural de aire, y la orientación de una vivienda con respecto al sol. Este tipo trata de reducir el consumo de energía.

Algunos centros de investigación sobre la energía solar son:

- Photovoltaic Institute Berlin en Alemania.
- Instituto de Energía Solar, de la Universidad Politécnica de Madrid
- Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (o CIEMAT)
- Institut für Solare Energiesysteme ISE (Alemania).
- National Renewable Energy Laboratory NREL (Estados Unidos).

Ventajas de la energía solar

- Es energía segura y que no contamina
- Es una fuente inagotable.
- Los sistemas de captación solar son de fácil mantenimiento.
- El costo disminuye a medida que la tecnología avanza.



- Sector que promueve la creación de empleo.

Desventajas de la energía solar

- Para grandes proyectos de generación de energía solar se necesitan grandes extensiones de terreno.
- Es una fuente de energía intermitente (depende del número de horas de sol al año y del clima).
- Inicialmente requiere una gran inversión económica.
- En algunos casos, hay que complementar este método de convertir energía con otros.
- Los lugares donde hay mayor radiación, son lugares desérticos y alejados, (energía que no se aprovecha para desarrollar actividad agrícola o industrial, etc...)

Energía solar térmica

La energía solar térmica aprovecha la energía solar para producir calor o energía térmica, mediante el uso de paneles solares o colectores solares.

El panel solar o colector capta los rayos del sol, a través de los paneles se hace pasar el agua u otro fluido, de esta manera, una parte del calor es transferido al agua y, de esta forma ya se puede utilizar directamente. Sus aplicaciones de más interés son: para conseguir agua caliente sanitaria, calentamiento de piscinas y calefacción.

Estas instalaciones de energía no han sufrido modificaciones en cuanto al precio. Se ha observado algunas mejoras en los procesos de fabricación de captadores solares y por este motivo, podemos encontrar algunas rebajas en este tipo de instalaciones.



Ventajas de la energía solar térmica

- Proviene de una fuente inagotable (el sol) y completamente renovable.
- Contribuye a un desarrollo sostenible en cualquier tipo de aspecto social.
- No contamina (no produce emisiones de CO₂ u otros gases).
- No produce ruidos.
- Permite un mayor ahorro tanto en agua como electricidad.
- Fomenta la creación de empleo.
- Atrae inversores y genera un aumento en el mercado del valor de la vivienda.

Desventajas de la energía solar térmica.

- Su discontinuidad en el tiempo.
- Solo aprovechan la radiación directa, por lo que precisa que no haya nubes, y por lo tanto por la noche no generan energía.

Energía eólica (Viento)

La energía eólica es la energía generada por la utilización del viento. Produce electricidad mediante “molinos de viento” que transforman la energía cinética del viento en energía mecánica. Actualmente este recurso se emplea para generar energía eléctrica mediante aerogeneradores, pero hace años se utilizaba para moler grano, se aprovechaba para hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas y mover barcos impulsados por velas.

En la actualidad se utiliza para mover aerogeneradores. La fuerza del viento mueve una hélice y mediante un sistema mecánico se hace girar el rotor de un



generador, convirtiendo esta fuerza en energía eléctrica. Estas grandes máquinas se agrupan en parques eólicos.

Ventajas de la energía eólica

- El viento es un recurso inagotable.
- Este tipo de energía es, después de la energía solar, la que menor impacto tiene en el medio ambiente. Es limpia ya que no produce emisiones atmosféricas y no contamina.
- Tiene un impacto menos agresivo en el suelo, ya que no produce ningún contaminante que le perjudique, ni tampoco vertidos.
- Puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, en zonas remotas, no conectadas a la red eléctrica, para conseguir su suministro particular.
- Crea un elevado número de puestos de trabajo.
- Su impacto ambiental es bajo. La producción de electricidad a partir de este tipo de energía no destruye la capa de ozono ni genera residuos contaminantes.

Desventajas de la energía eólica

- La generación de grandes cantidades de electricidad con este tipo de energía, requiere el uso de grandes extensiones de terreno.
- La fuerza del viento es muy variable, discontinua y tanto su intensidad como su dirección cambian rápidamente.
- Su almacenamiento es imposible, ya que la energía eléctrica que se produce se consume al instante.
- La oscilación en la intensidad del viento puede producir apagones y daños.



- Los parques eólicos se sitúan normalmente en zonas apartadas y para transportar la energía se necesitan torres de alta tensión y cables de gran capacidad.

Energía geotérmica (Calor de la tierra)

Es una fuente de energía renovable que aprovecha el calor generado en el interior de la tierra. Es una de las fuentes de energía renovables menos conocida. Se puede observar el poder de esta energía en los volcanes o los géiseres. El vapor de agua al pasar por una turbina conectada a un generador produce la electricidad. Aprovecha el calor del subsuelo y sus principales aplicaciones se dan en nuestra vida cotidiana como para climatizar y obtener agua caliente tanto para grandes edificios como para viviendas.

Ventajas de la energía geotérmica

- Se trata de una energía limpia, renovable y altamente eficiente.
- Se encuentra en todas las partes del mundo, a diferencia por ejemplo, del petróleo.
- Es una fuente que evitaría a muchos países la dependencia energética del exterior.
- Genera bajos niveles de contaminación y ocasionan menor impacto ambiental que los producidos por los combustibles fósiles.
- Su coste es bajo.
- Ausencia de ruidos exteriores.
- No está sujeta a precios internacionales, sino que siempre puede mantenerse a precios nacionales o locales.

Desventajas de la energía geotérmica

- En algunos casos, emisión de ácido sulfhídrico y de CO₂



- La contaminación también se puede producir en el agua con sustancias como arsénico, amoníaco, etc.
- La construcción de plantas geotérmicas puede afectar a la estabilidad del terreno y el deterioro del paisaje.
- No se han desarrollado sistemas que puedan transportar la energía producida por este medio.

Energía hidráulica (Los ríos y corrientes de agua dulce)

La energía hidráulica, hídrica o hidroenergía, es aquella que aprovecha la energía de la caída del agua desde cierta altura. La energía potencial, durante la caída, se convierte en cinética. El agua pasa a gran velocidad por las turbinas y se transforma en energía eléctrica a través de generadores. Las instalaciones más comunes hoy en día son las centrales hidroeléctricas.

Ventajas de la energía hidráulica

- Es una energía renovable y limpia, no emite gases ni produce emisiones tóxicas y es de alto rendimiento energético.
- Es fácil de almacenar.
- La gran ventaja de la energía hidráulica es la eliminación de los costos de los combustibles y al no quemarlos las plantas hidráulicas, no producen directamente dióxido de carbono.
- Es una energía barata y una vez puesta en marcha, los costes de operación o mantenimiento son bajos.
- Tiene un bajo impacto en el ambiente.
- Debido al ciclo del agua, su disponibilidad es inagotable.



Desventajas de la energía hidráulica

- Alto coste en la instalación inicial.
- La construcción de grandes embalses puede inundar importantes extensiones de terreno y pérdidas de suelo productivo.
- Pueden destruir la naturaleza, ya que puede modificar el hábitat ecológico de la vegetación del entorno y de los peces y demás especies que viven en el agua.

Biomasa

La biomasa es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, originada en un proceso biológico, natural o artificial. Puede incluir residuos de las actividades ganaderas, forestales y agrícolas.

Según la procedencia de las sustancias empleadas, se distinguen varios tipos de biomasa: la vegetal relacionada con las plantas en general, como son tallos, ramas, frutos, etc y la biomasa animal que es la obtenida a partir de sustancias de origen animal, como grasas, excrementos, etc.

La biomasa es una energía renovable de origen solar a través de la fotosíntesis de los vegetales.

Ventajas de la biomasa

- Es una fuente de energía inagotable, barata, segura limpia y eficiente, con menos emisiones y capaz de producir energía térmica o eléctrica.



- En su proceso de combustión, genera pocos contaminantes sulfurados o nitrogenados, ni apenas partículas sólidas, por lo que contamina muy poco el medio ambiente y no destruye la capa de ozono. El balance de CO₂ emitido por la combustión de la biomasa es neutro.
- La utilización de la biomasa como energía disminuye la dependencia energética con el exterior, en concreto de combustibles fósiles.
- Contribuye al mantenimiento de los bosques, es una forma de reciclaje y disminución de residuos.
- Se fomenta la creación de puestos de trabajo locales.
- El coste de este tipo de energía es hasta 3 o 4 veces más barato.

Desventajas de la biomasa

- La biomasa posee menor densidad energética que los combustibles fósiles, es decir, que para conseguir la misma cantidad de energía se necesita utilizar más cantidad de recurso y por lo tanto los sistemas de almacenamiento deben ser mayores.
- Producción estacional, ya que por la variedad de cultivos que presenta la biomasa vegetal, depende de la época de recolección.
- Necesidad de acondicionamiento o transformación para su utilización.
- La incineración puede resultar peligrosa y producir sustancias tóxicas, por lo que se deben utilizar filtros y realizar la combustión a temperaturas mayores a los 900 °C.
- Al ser un recurso de uso reciente, las redes y los canales de distribución de la biomasa no se encuentran tan desarrollados como los de los combustibles líquidos y/o sólidos.
- Algunos de estos recursos tienen grandes contenidos de humedad por lo que es necesario un proceso de secado y esto conlleva a consumir más energía.



Energía mareomotriz (Los mares y océanos)

Es aquella energía sostenible que se obtiene aprovechando el movimiento que produce las mareas debido al viento y a las acciones gravitatorias entre el sol, la tierra y la luna, para generar electricidad de forma limpia.

La energía se obtiene mediante un acoplamiento de una turbina que mueve la mecánica de un alternador. Éste se conecta con una central en tierra y distribuye la energía.

Ventajas de la energía mareomotriz

- Se pueden obtener grandes cantidades de energía que hasta ahora no se había aprovechado.
- Es una energía limpia, silenciosa y no contamina, ya que no emite gases a la atmósfera.
- Es una energía inagotable que se obtiene por las mareas del mar y los océanos.
- Bajo costo de la materia prima. Las mareas que generan la energía se obtienen de forma gratuita.
- No presenta riesgo para la sociedad.
- Se puede producir esta energía mediante una central mareomotriz en cualquier clima y época del año.

Desventajas de la energía mareomotriz

- Se necesita una gran inversión inicial para construir las instalaciones.



- Supone un impacto a veces importante en el medio donde se instala. Las mareas deben ser lo suficientemente grandes para que sea justificable la inversión en infraestructuras.
- Puede provocar un impacto visual y estructural en el paisaje costero, debido a que la construcción de la central modifica el paisaje y repercute de forma negativa tanto en la flora como en la fauna, ya que las especies costeras tendrán que desaparecer debido a la central.

Energía undimotriz (Olas)

La energía undimotriz o también conocida como energía olamotriz, es la energía producida por el movimiento de las olas, es decir aprovecha la energía cinética del oleaje para la producción de electricidad. Las olas se generan por el roce del viento sobre la superficie del mar.

Ventajas de la energía undimotriz

- Es una energía limpia, no contamina y evita el efecto invernadero ya que no emite gases a la atmósfera.
- La energía de las olas es gratuita. Éstas son generadas por la naturaleza, por lo que el coste de la materia prima es gratuito, al igual que pasa con el aire y el sol.
- Es una energía inagotable, autónoma y continua.
- Es un tipo de energía muy segura ya que no produce durante su captación ni combustiones ni explosiones.
- Normalmente la captación de esta energía es muy silenciosa.
- No es caro de operar y mantener la energía de las olas.
- Puede producir una gran cantidad de energía.



Desventajas de la energía undimotriz

- Es necesario una gran inversión en la construcción de las instalaciones. El cableado hasta la tierra es muy costoso. La alta salinidad produce corrosión en estas instalaciones.
- Debido a este cableado o a los anclajes al sistema marino, puede verse afectada negativamente tanto la flora como la fauna.
- La energía generada es variable ya que depende de los parámetros de las olas.
- Las plantas cercanas a la orilla que son visibles desde tierra pueden ocasionar conflictos con intereses turísticos o con la aceptación de población local.

Hidrogeno

Es un elemento simple y muy abundante en el universo, pero no suele encontrarse en estado puro, así que para obtenerlo se necesitan de otras fuentes de energía. Es un vector ya que no existe aislado en la naturaleza. Es un medio de almacenaje y transporte de energía. Se encuentra combinado con otros elementos en su composición, como el agua (H₂O) y otros elementos orgánicos. El hidrogeno se puede transformar en energía utilizando una tecnología similar a la fabricación de pilas que transforman la energía química en electricidad.

Ventajas del uso del hidrógeno

- El hidrógeno es un combustible extraído del agua por lo que es un recurso muy abundante e inagotable en el mundo.



- No contamina ni consume recursos naturales. El hidrógeno se toma del agua y luego se oxida y se devuelve al agua. Al quemarlo podría eliminar la mayor parte de la contaminación del agua y del aire. Podría reducir en gran medida la amenaza de calentamiento del planeta.
- En funcionamiento normal, la celda de combustible es casi prácticamente silenciosa.
- Alta eficiencia, ya que el hidrógeno convertido en energía puede alcanzar gran eficiencia incluso mayor al del resto de energías.
- El hidrógeno como energía puede proporcionar larga vida a los elementos sobre los que se aplique.

Desventajas del uso del hidrógeno

- Al no ser un combustible primario hay un gasto para su obtención.
- Para producirlo se necesita calor o electricidad generados por otra fuente de energía.
- Requiere de sistemas de almacenamientos costosos y aun poco desarrollados.
- Elevado gasto de energía para licuar el hidrógeno.
- Al ser una tecnología aun en desarrollo, su precio no puede competir con el de las tecnologías convencionales.

Energía azul

La energía azul o energía osmótica es la energía obtenida por el contacto del agua dulce y el agua marina, y se liberan grandes cantidades de energía. Es la fuente de energía renovable basada en la diferencia de salinidad entre el agua de mar y el agua de río.



Ventajas de la energía azul

- No emite CO₂ a la atmósfera y produce electricidad de forma continua y predecible.
- Las plantas de energía pueden ser construidas bajo tierra y así no afectaría al entorno local.
- La energía azul tiene un gran potencial comparado con otras fuentes de energías renovables.
- Se puede gestionar el agua para el funcionamiento de la planta y así el impacto ecológico sea el mínimo.

Desventajas de la energía azul

- Este tipo de energía es costosa.
- El desviar todo el caudal fluvial hacia una planta de energía azul podría alterar rutas de navegación.
- Existen dificultades técnicas para desarrollar las membranas y por ahora son de costosa producción.

¿Por qué la elección del tema?

La necesidad de evaluar la repercusión económica de los resultados de la investigación al sistema de ciencia y tecnología y el papel de la ciencia en los procesos de innovación de un país es un hecho que ha llevado a numerosos investigadores de la ciencia a explorar metodologías bibliométricas con tal propósito (Carpenter and Narin, 1983; Noyons et al., 2003; Bassecouard and Zitt, 2004; Tijssen, 2004).



Hemos elegido las Energías Renovables porque es un tema importante hoy en día y con el paso del tiempo, se ha notado un interés mayor por este tema. Hoy en día, personas y gobiernos están mostrando especial interés por el desarrollo de proyectos de energía renovable, ya sea para cuidar del medio ambiente, como para fomentar el desarrollo económico a través de la generación de nuevos empleos y tecnologías. Hay pronósticos que dicen que para el año 2030 el 75% de la energía mundial y la totalidad de los automóviles serán alimentados por fuentes renovables.

En la actualidad, las energías renovables, además de que respetan el medio ambiente, es un punto importante para la creación de empleo.

Por tanto, este tema es importante e interesante analizar para conocer las tendencias en investigación en este campo y la situación europea con respecto al mundo en producción científica en energías renovables.

Varios autores han analizado este tema utilizando técnicas bibliométricas (Thomas, 1992; Uzun, 2002; Hassan, 2005; Tsay, 2008; Kajikawa et al., 2008; Kajikawa y Takeda 2008; Celiktas et al., 2009) para observar el progreso de la ciencia y la tecnología en las Energías Renovables.

3.2. Objetivos.

Los objetivos generales perseguidos en esta tesis son:

- Conocer el estado actual de las tendencias en investigación y producción científica en el ámbito de las Energías Renovables.
- Realizar un análisis de dominio del campo de Energías Renovables mediante la obtención de indicadores bibliométricos aplicados a las publicaciones científicas recogidas en las base de datos de Scopus.



Los objetivos específicos formulados como preguntas de investigación serían:

- ¿Cuáles son los países con mejores resultados en Energía Renovable en el periodo estudiado según los indicadores bibliométricos?
- ¿Qué clasificación de países podemos hacer según los valores que presentan en algunas de las variables utilizadas?
- ¿Cuáles son las instituciones más productivas en Energía Renovable a nivel mundial?
- ¿Qué clasificación de instituciones podemos establecer según los valores que presentan en distintos indicadores?
- ¿Cómo se encuentra la investigación en el campo de las Energías Renovables en España comparada con el resto de países a nivel mundial?
- ¿Cuál es la tasa de colaboración de España en el área de estudio?
- ¿Cuáles son las Instituciones más productivas en Energía Renovable en España?
- ¿Cuáles son los distintos grupos de instituciones españolas que podemos establecer según algunas de las variables normalizadas?
- ¿Cómo se encuentra la producción mundial y europea en Energía Renovable durante el período de estudio?
- ¿Cuáles son los países con mejores valores en Impacto normalizado?
- ¿Cuáles son las instituciones con mejores valores en Impacto normalizado a nivel mundial?
- ¿Cuáles son los patrones de investigación en el campo de la Energía Renovable según el estudio de palabras clave?
- ¿Qué revistas son las que obtienen mejores resultados en el campo de las energías renovables a nivel mundial?
- ¿Cuál es el resultado de los grupos de revistas normalizando algunos indicadores científicos?



- ¿Cuáles son las revistas científicas elegidas por los científicos españoles para publicar sus trabajos?
- ¿Qué grupos de revistas utilizadas por los españoles podemos establecer según algunos de los indicadores normalizados?



4. Metodología.

En nuestro trabajo pretendemos delimitar el campo de Energía Renovable seleccionando los documentos publicados en las revistas que se incluyen en la subject area de *Renewable Energy, Sustainability and the Environment* en *Scopus*. Realizamos una revisión bibliográfica sobre el estado de la cuestión de las tendencias en la evaluación de la actividad científica relacionadas con el campo interdisciplinar de Energías Renovables.

Definimos la metodología adecuada para la implementación del análisis de dominio contemplando producción, producción primaria, indicadores cuantitativos, análisis de citas, frentes de investigación y mapas de la ciencia que constituyen el marco conceptual de esta tesis (Moya-Anegón et al., 1998) en un dominio temático, en este caso, Energías Renovables en el mundo. La metodología se orienta a la generación de representaciones que puedan ser utilizadas para observar ciertos tipos de análisis: relaciones con instituciones, frentes de investigación en sus vertientes estática y dinámica de manera que se configuren como la expresión de un dominio temático.

Realizamos un estudio sobre la recuperación adecuada, para poder generar el corpus objeto de nuestro estudio, y su posterior implementación y evaluación de las mismas, y llevamos a cabo las consultas necesarias para la descarga de información de la base de datos de Scopus.

Procedemos a la normalización y depuración de los registros que conforman el corpus bibliográfico del estudio. Asimismo se generarán las bases de datos de trabajo interno.

Definimos la metodología a seguir y posteriormente realizamos un análisis de dominio con los datos ya descargados y normalizados.



Nuestro primer acercamiento al campo de las energías renovables ha sido analizar la cobertura temática de la base de datos Scopus y optamos por seguir una metodología ya empleada en trabajos anteriores (López-Illescas et al., 2008, Small, 1987) como es la de centrarnos tanto en las publicaciones incluidas en la base de datos de Scopus que responden a la temática de *Renewable Energy, Sustainability and the Environment*. Los resultados obtenidos demuestran que la producción científica en el campo objeto de estudio, está creciendo en el mundo de manera acelerada como corresponde a la actual necesidad del nuevo conocimiento sobre los problemas de la sostenibilidad energética.

En uno de nuestros artículos mostramos una comparación de la producción científica de Europa con respecto al mundo en el que se refleja que tanto la producción mundial como la europea se duplican en el periodo estudiado, aunque Europa no crece al mismo ritmo que el resto del mundo. En el año 2006 encontramos un gran aumento de la producción que puede ser debido a la entrada en vigor en el año anterior (2005) del protocolo de Kyoto.

En otro de los trabajos nos hemos centrado en la producción científica mundial en Energías Renovables. Realizamos un análisis por países, instituciones de investigación y revistas científicas utilizando la misma base datos de literatura científica, y los resultados nos indican, al igual que en el anterior trabajo publicado, que la producción total mundial aumenta a lo largo del periodo estudiado y que cada vez, este tema adquiere mayor interés. Este trabajo revela que Estados Unidos es el país que mayor producción obtiene en el periodo estudiado, Technical University of Denmark es la institución que cuenta con mayor número de documentos y la revista “Energy Conversion and Management” es la que obtiene mayor número de documentos en el periodo estudiado.



Otra de las metodologías utilizadas en los artículos publicados, ha sido la de analizar las palabras claves utilizadas en los artículos de la revista *Renewable Energy*. En la base de datos encontramos dos tipos de palabras claves para cada registro: “Author Keywords”, que son las asignadas por el autor del documento y “Index Keywords”, que son las añadidas por indizadores profesionales. Nosotros nos hemos centrado en las “Author Keywords” que son más numerosas, ofreciendo así una descripción más detallada y evitando un sesgo en el proceso de indización. Una vez recuperados los registros y sus keywords hemos introducido todos los datos recuperados en una base de datos diseñada ad-hoc para posteriormente realizar las consultas pertinentes y obtener datos cuantitativos. Para el clustering, se ha utilizado un procedimiento basado en la detección de comunidades de Newman y Girvan (2002), y este método se basa en la eliminación progresiva de los enlaces con mayor betweenness para dividir las redes de comunidades y en la modularidad como medida de la fortaleza de una determinada participación en comunidades. Los resultados muestran que los temas que más se tratan son los relacionados con las energías alternativas y el análisis de las co-words muestra una estructuración en 5 grandes clústeres, que posteriormente se desglosarán en 22 a un mayor nivel de resolución.

La metodología empleada en nuestra última publicación es comparar la producción científica de España con respecto al mundo y en concreto con los países más desarrollados y se observa que España aumenta su producción científica llegando a cuadruplicarse en el periodo estudiado. Por otro lado, se analizan las contribuciones de las instituciones españolas, donde podemos destacar por la producción que presentan, el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat) y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Y analizamos también las revistas utilizadas por los científicos para la publicación de los trabajos, siendo *Renewable Energy* la que mayor número de publicaciones presenta para el periodo estudiado.



En nuestro trabajo se muestra, que si los indicadores bibliométricos que se utilizan son elegidos y calculados correctamente, pueden ser de utilidad siempre y cuando se interpreten cuidadosamente.

El trabajo realizado en esta tesis pone de manifiesto cómo los resultados de los análisis bibliométricos dependen de las metodologías que se utilicen. Puede parecer sencillo por ejemplo contar las publicaciones de un país, pero es necesario saber exactamente qué es lo que hay que contarse, cómo debe contarse y qué indicadores se deben calcular.

4.1. La evaluación de la investigación.

Debemos hacer referencia a la importancia que tiene la investigación para el desarrollo de los países. La gestión del conocimiento debiera tratarse como gestión de la información organizacional interna y externa para la generación de nuevos acervos que influirán en el desarrollo de productos y servicios con alto valor agregado.

Desde años, la evaluación de la investigación ha comenzado a abrirse en el tema académico de nuestro país, como es habitual someter periódicamente los proyectos de investigación a la Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva (ANEP), para obtener fondos de investigación de diferentes convocatorias competitivas. También ha pasado a formar parte de nuestra cultura reciente la valoración de la trayectoria investigadora individual por parte de la Comisión Nacional de Evaluación de la Actividad Investigadora (CNEAI) (Villar, 2003).

En los últimos años, en el ámbito de la economía, la valoración de los resultados de la investigación ha recibido una destacable atención, extendiendo a Europa los estudios habituales en los Estados Unidos. Han aparecido numerosos trabajos que



presentan evaluaciones de la trayectoria de Universidades, Centros de Investigación, e investigadores individuales en la última década. Estas evaluaciones se basan en el número de publicaciones científicas realizadas en el periodo considerado y en la relevancia de las revistas en las que han aparecido (Villar, 2003). Por este motivo, la evaluación de la investigación es un tema de actualidad con consecuencias cada vez más importantes sobre la vida académica de los individuos y las instituciones.

Los países más industrializados son los que se han dado cuenta del enorme potencial que tienen los elementos claves de la ciencia y la tecnología sobre el desarrollo económico de un país, además de las ventajas comparativas que pueden establecer respecto a otros Estados. Pero, ¿cómo comparamos un país respecto a otro para saber qué debilidades y fortalezas tiene respecto al resto? Sólo la evaluación de la investigación es la que puede comprobar los logros de los objetivos perseguidos por los gobiernos en materia de ciencia y tecnología, y el alcance que éstos tienen en el contexto de la sociedad en la que se evalúan.

La evaluación del trabajo científico es sin duda un tema de gran importancia, no sólo para quienes hacen ciencia, sino además para quienes la administran y quienes la financian. El objetivo mínimo de este tipo de evaluación es el aseguramiento de la difusión adecuada y de la calidad de los trabajos, el juicio justo acerca del nivel profesional de quienes lo realizaron, y el buen uso del dinero invertido en la ejecución de las investigaciones.

Con la evaluación también podemos conocer los factores que influyen a la hora de lograr o impedir dichos objetivos, y por tanto, si no se han logrado, qué pueden mejorar los gobiernos para que éstos sean alcanzados (Spinak, 2001).

Hace más de cincuenta años que los países empezaron a obtener datos para poder realizar la evaluación de la ciencia, más concretamente, cuando en 1950 la



National Science Foundation (NSF) de Estados Unidos, decidió enviar a las empresas norteamericanas una encuesta para recabar datos estadísticos de la I+D (Truffer, 2002). A partir de entonces, la mayoría de los países más desarrollados, impulsados por el rápido crecimiento de los recursos nacionales dedicados a I+D, copiaron el modelo de los Estados Unidos y comenzaron también a realizar encuestas estadísticas sobre estas materias, dándose cuenta del enorme potencial que podían tener sobre el desarrollo económico la ciencia y la tecnología. Sin embargo, observaron que al analizar dichas encuestas había grandes diferencias, tanto en los conceptos como en los métodos empleados entre los distintos países, por lo que no se podían realizar comparaciones internacionales.

En 1963 la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, OCDE (OCDE, 1986), editó el Primer Manual de lo que después se conocería como la Familia Frascati, en el cual se desarrollaron las directrices y recomendaciones que dieron origen a los principales indicadores de ciencia y tecnología, ampliamente utilizados por la mayor parte de los países del mundo. De esta manera, se pudieron eliminar las barreras que hacían imposible hasta el momento las comparaciones entre ellos (Sancho, 2001).

Además de la OCDE, hay otros organismos como la United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization -UNESCO- y la Organización de los Estados Americanos -OEA- que también han contribuido al desarrollo de estos indicadores.

Los indicadores obtenidos a partir de estas recomendaciones han permitido describir y evaluar la naturaleza, el estado y la evolución de las actividades científicas y tecnológicas de un dominio en términos de sus inversiones y recursos humanos, e interpretar la innovación tecnológica (Spinak, 2001). Además, como hemos comentado anteriormente, también han permitido las comparaciones entre los países, imprescindible para observar las debilidades y



fortalezas que éstos tienen. Aunque desde la primera vez que se publicó el manual de Frascati hace más de 40 años, éste ha tratado exclusivamente de la medición de los recursos humanos y financieros dedicados a la investigación y al desarrollo experimental (I+D), denominados “datos de entrada” (inputs) de la I+D (Manual de Frascati, 2002), no haciendo referencia en ningún momento a los “datos de salida” (outputs): publicaciones, citaciones, patentes, beneficios comerciales, contribuciones culturales, etc. Por tanto, los primeros indicadores científicos surgieron de la medición de los insumos (inputs), ya que, los indicadores que miden los resultados de las actividades de investigación y del impacto que estos resultados tienen, tanto en la comunidad científica como en la economía y en la sociedad, han sido tardíamente contemplados (Godin, 2000; Macias-Chapula, 2001).

Pero no fue hasta la aparición del Science Citation Index creado por Garfield a mediados del siglo XX cuando se impulsó el uso de las publicaciones como medidas de resultados e impacto científicos, iniciándose así el tratamiento cuantitativo moderno de la documentación científica. No obstante, no fue hasta la década de 1990 cuando las organizaciones internacionales como la OCDE, la UNESCO, etc., comenzaron a mostrar un creciente interés por la obtención de estas medidas. En 1994 la OCDE publicó un manual con recomendaciones para la construcción de indicadores de patentes (OCDE, 1994) y en 1997, un informe que contenía los principales indicadores bibliométricos utilizados en el análisis de los resultados de la ciencia y la tecnología (Okubo, 1997). Su interés se ha centrado en la obtención de indicadores que miden el impacto de las I+D en la competitividad industrial y el crecimiento económico (Licha, 1998). La utilización de estos indicadores se ha generalizado en los países más desarrollados científicamente.

Por tanto, la evaluación de la investigación, de sus resultados, actividades, instituciones y actores, ha ganado relevancia porque ofrece la posibilidad de



contribuir a guiar y gestionar el sistema de I+D, dotándole de mayor coherencia y proporcionándole un aprendizaje continuo en asociación con otros instrumentos como la prospectiva, favoreciendo así una visión estratégica (Sanz-Méndez, 2004).

Como hemos comentado anteriormente, la evaluación es indispensable para la toma de decisiones en el ámbito político, puesto que debe contar con una información precisa y oportuna. Pero a pesar de ello, cuando se trata de conseguir información centralizada y sistematizada de forma coherente, observamos que aún nos queda un reto por delante, para que esta manera de trabajar la información sea parte y resultado de nuestro quehacer cotidiano (Romero-Hiller, 2002).

Por ello, las administraciones públicas encargadas de los siempre restringidos presupuestos en el sistema de I+D, son las que solicitan cada vez más instrumentos de análisis (Filippo y Fernández, 2002). Dichos análisis posibilitan seguir el rendimiento de la actividad científica y comprobar el impacto que tiene en nuestra sociedad. Además, hay que tener presente que los aspectos más notables en el desarrollo de la ciencia dependen directamente de la comunidad científica, basada en la construcción del conocimiento, y este conocimiento será el que determinará la forma de las sociedades en el futuro.

No sólo la economía es cada vez más una “economía del conocimiento” en cuyo seno la capacidad de la ciencia y la tecnología subtiende todas las otras actividades económicas, sino que los gobiernos, como ya hemos comentado, también dependen cada vez más de la capacidad de uso del conocimiento para su desarrollo (Villaveces et al., 2004), puesto que la investigación científica y las instituciones que generan la ciencia y tecnología son el componente central de la economía y de la actual sociedad del conocimiento (Moya-Anegón, et al., 2004a).



Como indica Guerrero-Bote, et al. (2006), es de vital importancia la intervención pública en el sistema de ciencia y tecnología, tanto a la hora de diseñar una determinada política científica como a la hora de evaluar los objetivos conseguidos.

Una de las maneras de evaluación que tienen las administraciones públicas, es realizar estudios bibliométricos (Carpenter et.al., 1988; Bence y Oppenheim, 2004). Su utilización se ha generalizado en los países más desarrollados científicamente. Así lo demuestra su progresiva incorporación a los estudios de evaluación de la actividad investigadora, y su presencia en gran parte de las publicaciones sobre indicadores de Ciencia y Tecnología elaborados periódicamente en los países por distintas entidades nacionales.

Entre estos informes podemos destacar:

- *Science & Engineering Indicators*, elaborados por primera vez en 1972 por el National Science Board de Estados Unidos, convirtiéndose en la aplicación cuantitativa más relevante y aceptada por todos los que utilizan los indicadores para la evaluación, aunque con bastantes críticas por parte de los analistas de las políticas científicas y de la propia comunidad científica (Zuckerman y Millar, 1980; La Follete, 1983).
- *Science & Technologie Indicateurs* del *Observatoire des Sciences et des Techniques* de Francia, realizado por primera vez en 1994.
- los *European Reports on S&T Indicators*, editados por la Comisión Europea, ha tomado parte muy activa en el trabajo metodológico y diseño de las encuestas de innovación (CIS), empleadas actualmente en todos los países de la OCDE (Sancho, 2002).



También son muy importantes los trabajos realizados por:

- *Centre for Science and Technologies Studies (CTWS)* de la Universidad de Leiden, Holanda (van Leeuwen et.al., 2003) situándose a la cabeza en cuanto a la obtención de indicadores para la evaluación de la ciencia (Nederhof y Van Raan, 1989).
- *Science and Technology Policy Research* de la Universidad de Sussex en el Reino Unido (Martin, 1996).
- *Computer Horizons Inc. (CHI)* en los Estados Unidos (Moed, 1996).
- *Information Science and Scientometric Research Unit (ISSRU)* en Hungría (Glanzel, 1996; Braun y Schubert, 1997).

En España tenemos que destacar los trabajos realizados por:

- *Instituto de Estudios Documentales sobre Ciencia y Tecnología (IEDCYT)* antes llamado, Centro de Información y Documentación Científica (CINDOC) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) (Gómez et al., 2004).
- *El Sistema de indicadores*, creado para la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) realizado por investigadores del grupo Scimago (FECYT, 2004).

En la región de Iberoamericana:

- *Red Iberoamericana de Ciencia y Tecnología (RICYT)*. Este repertorio de indicadores aporta la novedad mundial de que es el único compendio que



ofrece indicadores de producción científica recogidos de una serie de prestigiosas bases de datos internacionales de temas científicos específico (RECYT, 2006; Sancho, 2002).

No obstante, a pesar de que se producen orientaciones diferentes en cuanto a la forma de percibir la evaluación de la actividad científica, sin embargo, si parece haber consenso en utilizar para el análisis la literatura científica formal (Ronayne, 1985), en asumir la teoría lineal de la innovación (Cooney, 1984) y en la necesidad de financiación y personal cualificado para abordar esta ardua tarea (Kruytbosch, 1989).

Pero además de los informes realizados por los países para medir el impacto de las I+D en la competitividad industrial y el crecimiento económico, también tenemos que destacar el conjunto de revistas que se dedican a este tipo de estudios a partir de los indicadores.

- En inglés (en orden de productividad)
 - Scientometrics
 - Journal of the American Society for Information Science & Technology
JASIST
 - Research Policy
 - Information Processing & Management
 - Journal of Informetrics
 - Journal of Information Science
 - Journal of Documentation

En otros idiomas (en orden alfabético)

- Cahiers de la Société Française de Bibliométrie Appliquée



- Ciência da Informação
- Revista Española de Documentación Científica
- Revue Française de Bibliométrie
- The World-Wide Web Virtual Library Information Sciences.
- (Spinak, 2008)

Ahora bien, no debemos olvidarnos de que la evaluación de la ciencia, a pesar de realizarse a través de las entradas –inputs- y salidas –outputs, cuenta también con un factor intermedio que influye en la financiación de proyectos y la publicación de artículos en revistas científicas, la revisión por pares (*peer review*). Ésta nos permite conocer aspectos de tipo cualitativo, es decir, la calidad de las contribuciones científicas (Davyt y Velho, 1999), siendo además uno de los principales mecanismos de control de calidad externo (Smith, 1988; Garret-Jones, 2000; Wood et al., 2004; Langfeldt, 2004), tanto en la presentación de proyectos para su financiación por las agencias evaluadoras, como de un trabajo que se encuentre en proceso de ser publicado, permitiendo seleccionar los mejores trabajos entre los que compiten para la obtención de fondos de investigación o su publicación en revistas científicas (Lock, 1985).

Para ello se realiza una valoración del trabajo personal (medido a través de referencias), de su trayectoria de trabajo (medido a través de las publicaciones y citas) y de sus actuaciones futuras (medida a través de los proyectos de investigación). Esto exige que los evaluadores en el proceso de revisión se adapten a unas normas de conducta ética ampliamente aceptadas, como confidencialidad, imparcialidad y ausencia de conflicto de intereses, juego limpio y ausencia de beneficio del proceso de evaluación, competencia y respeto (Cami, 1995; Birkett, 1994).

Ha habido muchas críticas al respecto, puesto que hay autores que no creen que los expertos sean capaces de marcar directrices sobre el trabajo que realizan sus



colegas en el área (Hernon y Schwartz, 2006; Broome, 2006). También cuenta con una serie de limitaciones, como el denominado “Efecto Mateo” (Merton, 1968) y el “Efecto halo” (King, 1987), considerando como mejores a los científicos por su lugar de trabajo, independientemente del currículum que tengan, debido a la receptiva de los evaluadores a nuevas ideas (Hernon y Schwartz, 2006), y a mostrar una excesiva lealtad a los autores con un reconocido prestigio, deteriorando así las áreas emergentes (Luukkonen, 1990).

Sin embargo, pese a esto, la revisión por pares es una metodología muy utilizada, porque es, según Van Raan (1996), “*uno de los mecanismos que mantienen la Ciencia en condiciones saludables*”, ya que, como indica King (1987), “*es un proceso que retroalimenta la calidad del ente analizado*”, debido a que los evaluadores expertos aportan una serie de recomendaciones que contribuyen a la mejora del mismo.

Pero, a pesar de que hasta hace relativamente poco tiempo no se tomó conciencia de la importancia que tiene la evaluación y de la utilización de los indicadores científicos para la toma de decisiones en materia de política científica junto con la evaluación de los expertos, como apuntan la mayoría de los autores, el punto de referencia lo marcó Bernal (1939) con su obra “*La función social de la Ciencia*”. En esta obra se marcaba tres cuestiones fundamentales:

- *El estudio cuantitativo de la literatura y personal científicos.*
- *El uso de modelos matemáticos.*
- *El estudio objetivo de la política y administración científicas.*

Pero además de Bernal, también tenemos que destacar las contribuciones de John Derek de Solla Price y Eugene Garfield en la década de los setenta, que fueron los que contribuyeron de forma decisiva en el desarrollo de la evaluación de la ciencia y política científica (Price, 1963, 1976, 1978 y 1986). Se crearon bases de



datos objetivas que neutralizaron la influencia de los científicos como parte interesada y reacios a perder autonomía, tolerar críticas y evaluaciones externas (Price, 1970).

Desde que Bernal puso de manifiesto la importancia de la evaluación han pasado 70 años y ésta ha ido cambiando conforme a las necesidades de los gobiernos. Sin las disciplinas de Bibliometría, Cienciometría e Informetría, la evaluación sería imposible, puesto que ellas han sido las que han permitido el desarrollo de estos indicadores, haciendo de ellos una herramienta clave en la gestión de la política científica y tecnológica y en los procesos de toma de decisiones estratégicas.

En las páginas siguientes intentaremos abordar los términos que han hecho y hacen posible la evaluación de la investigación científica.

4.2. Bibliometría, Cienciometría, Informetría.

La Bibliometría, cienciometría e informetría, son tres ramas del análisis estadístico documental y de la producción del conocimiento científico. Todas ellas cuentan con más de tres décadas de existencia. Las bases conceptuales y metodológicas de la bibliometría y cienciometría se fueron asentando a partir de la década de 1960, cuando comenzaron a desarrollarse los lineamientos y recomendaciones que dieron origen a los principales indicadores de ciencia y tecnología ampliamente utilizados en la mayoría de los países del mundo (Godin, 2001). Sin embargo, gran parte de la literatura especializada plantea que los orígenes de los estudios métricos de la información comenzaron al principios del siglo XX con los trabajos de de Cole & Eales (1917), Lotka (1926), Gross and Gross (1927), Bradford (1934), Zipf (1949) entre otros, puesto que con sus trabajos descubrieron regularidades que afectaban a los procesos científicos



documentales. Pero, el hecho de que el término “bibliografía estadística” fuera utilizado menos de cinco veces entre 1923 y 1962 ilustra cómo era de confidencial tal actividad en esa época (Okubo, 1997).

El término bibliometría fue utilizado por primera vez en 1969 por Alan Pritchard, quien lo definió como “la aplicación de métodos estadísticos y matemáticos a libros y otros medios de comunicación” (Pritchard, 1969). Esta definición se aproxima bastante a la que pocos años más tarde, en 1969 ofreciera Mikhailov (Mikhailov, 1969, citado por Spinak, 1996) sobre la *cienciometría*: “disciplina científica que estudia la estructura y las propiedades de la información científica y las leyes del proceso de comunicación”. Este mismo término fue definido poco antes por Derek de Solla Price en su obra “Big Science and little science”, como “ciencia de la ciencia” (Price, 1973).

Pero desde que Pritchard acuñara el término de bibliometría se han hecho muchas proposiciones, que no clarifican si la bibliometría se refiere exclusivamente a la cuantificación de la publicación científica o recoge también otros tipos de publicaciones (Faba-Pérez et al., 2004). Así, encontramos distintas definiciones que se le han dado al término. Garfield y sus colaboradores (1978) la definen como la cuantificación de la información bibliográfica susceptible de ser analizada; Boyce y Kraft (1985) la definen como el estudio cuantitativo de la comunicación escrita a través de sus realizaciones físicas. Carpintero y Tortosa (1990) como el estudio cuantitativo y el análisis de aquellas dimensiones de los materiales bibliográficos que permiten medición; Lara (1983) la considera como el estudio de lo producido, difundido o utilizado por los “creadores”, “difusores” o “utilizadores” de la Ciencia; y Sancho (2001) la define como la disciplina científica que estudia las características y el comportamiento de la Ciencia y la Tecnología a través de las publicaciones científicas.



La última definición que hemos encontrado es de Marco Heredia (2007), que la presenta con dos acepciones, una de uso restringido y otra general. Para él, la bibliometría es el estudio estadístico y sociométrico de la producción literaria científica (uso restringido) o de cualquier área del conocimiento humano (uso general) que analiza a través del uso de modelos matemáticos aspectos de su producción tales como su tamaño y crecimiento, forma, autoría, etc.

Además de la multitud de proposiciones o revisiones que se le han hecho al término, algunos autores consideran que hubo dos generaciones en bibliometría. La primera abarcaría el período 1961-1974 y tendría sus bases en los estudios cuantitativos sobre aspectos como el sistema de recompensa de la ciencia, la noción de colegios invisibles, redes científicas de Price (Price, 1965; Price, 1973), así como la aparición de los conceptos de análisis de citación y creación de los índices de citas de Eugene Garfield (1955) a pesar de no estar orientados a la política científica, proporcionaban conceptos, métodos y herramientas que albergaban esa posibilidad. La segunda generación de 1975 en adelante, estaría asociada a las primeras ideas de representación gráfica de los dominios científicos, junto con las inversiones de I+D para la toma de decisiones en política científica (Chubin, 1987).

Por tanto, la bibliometría se ha convertido en un término genérico para una gama entera de medidas específicas y de indicadores. Su propósito es medir las salidas de la investigación científica y tecnológica con los datos derivados tanto de la literatura científica como de las patentes (Okubo, 1997), aunque nosotros sólo nos hemos centrado en los datos derivados de la literatura científica.

Por su parte, la palabra Cienciometría apareció en la misma década que la bibliometría, más concretamente en los países del Este Bajo, y bajo el término *naukometriya* (cienciometría), debe su nombre a V. V. Nalimov y a Tibor Braun que lo adoptaron al neologismo de su revista. La definieron como: “*la disciplina*



científica que estudia la estructura y las propiedades de la información científica y las leyes del proceso de comunicación". (11th International Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics, CSIC, Madrid, 2007)

Aunque las definiciones que se les han dado a bibliometría y cienciometría son distintas, nos hemos acostumbrado a utilizar estos términos casi como sinónimos (Pérez-Antón, 2006), debido a la lista de posibles aplicaciones que pueden abarcar tanto una como otra:

- Identificar las tendencias y el crecimiento del conocimiento en las distintas disciplinas.
- Estimar la cobertura de las revistas secundarias.
- Identificar los usuarios de las distintas disciplinas.
- Identificar autores y tendencias en distintas disciplinas.
- Medir la utilidad de los servicios de diseminación selectiva de información.
- Predecir las tendencias de publicación.
- Identificar las revistas núcleo de cada disciplina.
- Formular políticas de adquisición ajustadas al presupuesto.
- Adaptar políticas de descarte de publicaciones.
- Estudiar la dispersión y la obsolescencia de la literatura científica.
- Diseñar normas para estandarización.
- Diseñar procesos automáticos de indización, clasificación y confección de resúmenes.
- Predecir la productividad de editores, autores individuales, organizaciones, países. (Spinak, 2001).

Por tanto, observamos que aún no tienen diferencias conceptuales consensuadas, aunque según comenta Spinak (1997), la cienciometría además de utilizar las técnicas bibliométricas, también puede considerarse un instrumento de la sociología de la ciencia.



Por lo que la cienciometría no es más que la aplicación de técnicas bibliométricas al estudio de la actividad científica.

El término “Informetría” lo propuso por primera vez el alemán Otto Nacke en 1979 (Nacke, 1979), concretamente diez años después de que Pritchard acuñara el término bibliometría. Según Spinak (1996) se basa en las investigaciones de la bibliometría y la cienciometría. Comprende asuntos como el desarrollo de modelos teóricos y las medidas de información para hallar regularidades en los datos asociados con la producción y el uso de la información registrada; abarca la medición de aspectos de la información, el almacenamiento y su recuperación, por lo que incluye la teoría matemática y la modulación (Araújo-Ruiz, Arencibia-Jorge, 2002).

Como según comenta Tague-Sutcliffe (1992), en la práctica el término informetría también tiene un amplio alcance, los especialistas que aplican las técnicas bibliométricas y cienciométricas han orientado sus estudios con los modelos y medidas matemáticas a áreas bien definidas, habiendo dos aspectos que sí bien se adaptan a la informetría no se consideran dentro de la bibliometría ni cienciometría, como son:

- La definición y medición de la información.
- Los tipos y características de las medidas de capacidad de recuperación.

Para quedar claro el objeto de estudio, variables, métodos y objetivos de cada una de las disciplinas antes mencionadas, mostramos el cuadro que presentó *McGrath* (1989), en el que hizo un resumen de esta tipología:



| Tipología | Bibliometría | Cienciometría | Informetría |
|--------------------------|--|--|---|
| Objeto de estudio | Libros, documentos, revistas, artículos, autores y usuarios. | Disciplinas, materias, campos y esferas. | Palabras, documentos y bases de datos. |
| VARIABLES | Números en circulación, citas, frecuencia de aparición las palabras, longitud de las oraciones, etc. | Aspectos que diferencian a las disciplinas y a las subdisciplinas. Revistas autores, trabajos, forma en que se comunican los científicos | Difieren de la cienciometría en los propósitos de las variables, por ejemplo, medir la recuperación, la relevancia, el recordatorio, etc. |
| Métodos | Clasificación, frecuencia, distribución. | Análisis de documento y correspondencia. | Modelo rector-espacio, modelos booleanos de recuperación, modelos probabilísticos, lenguaje del procesamiento, enfoques basados en el conocimiento, tesauros. |
| Objetivos | Asignar recursos, dinero, tiempo, etc. | Identificar esferas de interés; dónde se encuentran las materias; comprender cómo y con qué frecuencia se comunican los científicos. | Aumentar la eficiencia de la recuperación |

Una vez definidas las disciplinas que estudian la evaluación, a continuación vamos a hablar de los indicadores, ya que sin ellos sería imposible realizar este tipo de estudios, y son los que nos van a permitir dar una visión general de cómo se encuentra las Energías Renovables.



4.3. Indicadores científicos.

Gran parte de los esfuerzos de la ciencia se han concentrado en la elaboración de metodologías apropiadas para la formulación de indicadores.

Desde sus comienzos éstos estuvieron basados en el modelo económico, es decir, en la medición de los insumos (entradas), recursos financieros, humanos, equipamiento, etc., pero cada vez existe un mayor interés por complementar los estudios de «input» con el análisis de los resultados de la investigación, estudios de «output», en los que vamos a centrar nuestro trabajo.

Gardfield, desde 1963, año en que aparece el SCI, ha contribuido a acrecentar los conocimientos estadísticos sobre los artículos científicos. A partir de su función primera como instrumentos de investigación bibliográfica, han ido escalando en ámbito, llegando a ser fuente generadora de investigación sobre el nivel de productividad científica o el impacto de las publicaciones incluidas en la base de datos. Garfield desarrolló los análisis de citas, que han sido utilizados por los sociólogos, historiadores de la ciencia y gestores de la información, impulsando así el uso de las publicaciones como medidas de resultados e impacto científicos, teniendo cabida de este modo, los indicadores bibliométricos, que se basan en datos extraídos de las publicaciones científicas, asumiendo que el resultado de la investigación es nuevo conocimiento que se da a conocer a través de publicaciones.

Los estudios bibliométricos aportan una interesante visión de la actividad científica del propio país, así como de su situación en el contexto internacional, lo que supone una información básica para facilitar la toma de decisiones de los responsables de la política científica.



Por tanto los indicadores bibliométricos, “*Son datos estadísticos deducidos de las publicaciones científicas. Su uso se apoya en el importante papel que desempeñan las publicaciones en la difusión de los nuevos conocimientos, papel asumido a todos los niveles del proceso científico*” (Gómez y Bordons, 1996).

Según Moravcsik (1989) entre otros (Citado por Llana-Martín y Barredo-Sobrino) los indicadores bibliométricos parten de una serie de premisas:

- El valor y la calidad de un trabajo de investigación viene dado por el modo en que es recibido por los demás científicos y por cómo reaccionan éstos ante el mismo.
- La reacción de la comunidad científica se puede estimar contemporáneamente o al poco tiempo de concluirse la investigación.
- Todas las contribuciones a la investigación científica dejan huellas identificables en la literatura científica.
- Examinando los trabajos publicados en las revistas científicas se capta la información sobre ciencia que se comunica científico a científico, a través de la bibliografía.
- Utilizando las bases de datos se pueden detectar todas las publicaciones científicas relevantes para esta evaluación.
- Se puede obtener una medida realista de la producción mediante el simple recuento de publicaciones, independientemente de la longitud y de la naturaleza de cada artículo.
- La cantidad de citas de un trabajo es una medida fiable de su valor.

Entre las cualidades que nos aportan los indicadores bibliométricos pueden citarse (Sancho, 1990):

- Poder observar el crecimiento del conocimiento en cualquier campo de la ciencia.



- Estudiar la dispersión y obsolescencia de las publicaciones científicas entre las diversas fuentes.
- Identificar los usuarios de las distintas disciplinas científicas mediante la colaboración entre científicos e instituciones, medida por el número de autores por trabajo o centro de investigación que colaboran.
- Predecir la productividad de editores, autores individuales, organizaciones y países medida por el número de sus trabajos.
- Predecir las tendencias de las publicaciones científicas a través del análisis y evaluación de las fuentes difusoras de los trabajos por medio del factor de impacto. Las revistas científicas desempeñan un papel esencial en la comunicación entre los científicos, convirtiéndose en canales formales primarios para la comunicación de teorías, métodos o resultados, motivo por el que la literatura científica es una representación de la actividad investigadora.
- Observar el Impacto o visibilidad que tienen las publicaciones dentro de la comunidad científica internacional, medida por el número de citas que reciben éstas por parte de trabajos posteriores.

Estas cualidades que presentan los indicadores bibliométricos han sido planteadas por varios autores. En el trabajo de Martin e Irvine (1983) y en otro posterior de Martin (1996) se destacaban tres aspectos: la parcialidad, la convergencia y la relatividad. La parcialidad hace referencia a que cada uno de los indicadores muestra un aspecto de la evaluación que está siendo realizada.

Por su parte, los indicadores convergen para otorgar un buen conocimiento de la actividad. Esta es una de las razones por la que los autores aconsejan utilizar un buen número de indicadores, puesto que si no se hace, se corre el riesgo de conseguir un conocimiento muy sesgado, ya que a la actividad científica se le ha llamado “multidimensional” y, por tanto, no puede identificarse a partir de un indicador aislado.



Por último, según los autores, la información que proporcionan los indicadores es relativa a la disciplina estudiada, por lo que no puede ser extrapolada a otras disciplinas, ya que los hábitos de investigación que muestran los científicos son distintos.

Para Martínez y Albornoz (1998) “los indicadores representan las características de generalidad, correlación entre variables distintas o de distintos contextos, cuantificabilidad, temporalidad, y posibilidad de constituirse en componentes básicos de desarrollos teóricos”.

Sin embargo, a pesar de estas cualidades, los indicadores bibliométricos también presentan una serie de limitaciones en su uso. Por lo que es conveniente tener en cuenta su aplicación y la interpretación de los resultados obtenidos tras su empleo. Así, para Sancho (1990) las limitaciones de los indicadores provienen, fundamentalmente de:

- Se basan en la investigación publicada, ignorando otras formas de comunicación, puesto que descarta cualquier resultado que se produzca en los canales informales del proceso científico que queda al margen de la literatura oficial. Maltrás Barba (2003) dice que “*la impresión que transmite esta objeción es la de concebir que los canales informales son una alternativa que pueden ser muchas veces equiparable a los canales formales*”. Aunque la literatura oficial es una muestra bastante significativa, puesto que la mayor parte de la literatura que circula por los canales informales termina publicándose en los canales formales (Maltrás-Barba, 2003).
- Las pautas de publicación son diferentes según las áreas, puesto que las áreas de Ciencias Sociales y Humanidades tienen formas y canales de publicación y citación algo diferentes y hace que las bases de datos



multidisciplinares no recojan bien la producción de estas áreas. Debido a que las fuentes registran principalmente artículos publicados en revistas científicas. Esta particularidad las convierte en buenos instrumentos para representar las contribuciones en las áreas de ciencias exactas y naturales, pero no tanto en las humanidades y ciencias sociales que utilizan además, y ampliamente, otras formas de comunicación de sus resultados, tales como libros u otros documentos monográficos. De igual modo, tampoco están bien representadas las disciplinas de corte tecnológico, debido a que parte de sus resultados son comunicados tanto en forma de patentes como de nuevos productos (Bordons y Zulueta, 1999).

- Restricciones procedentes de las fuentes de datos utilizadas, como son los sesgos de cobertura y la falta de normalización de determinados campos de interés bibliométrico, debido a que no existe una base de datos que cubra la producción científica completa de los países, sino que por el contrario, existen muchas bases de datos, multidisciplinares o especializadas, nacionales, regionales o internacionales que la representan parcialmente. Asimismo, y debido a que la mayoría de estas fuentes no fueron pensadas con fines de estudios métricos, en muchos casos resulta difícil identificar las publicaciones producidas por un país o una institución en particular. Por este motivo, las bases de datos más utilizadas a nivel mundial para la obtención de los indicadores bibliométricos son los índices de citas del Institute for Scientific Information (ISI): Science Citation Index –SCI- Social Science Citation Index (SSCI) y Arts and Humanities Citation Index (A&HCI). Entre las razones de su extensivo uso se encuentran el carácter multidisciplinar y el alcance internacional de las revistas que indizan. Otra, es que estas bases de datos registran la dirección de afiliación institucional de todos los autores de las contribuciones (Okubo, 1997), lo cual es para los fines bibliométricos un



instrumento clave en la identificación y delimitación de la producción científica de países e instituciones.

Pero a pesar de todo ello, el empleo de los indicadores bibliométricos presenta una serie de ventajas frente a otros métodos utilizados en la evaluación científica, al tratarse de un método objetivo y verificable, cuyos resultados son reproducibles (Bellavista et al., 1997).

De entre todos los indicadores bibliométricos que se pueden encontrar en la bibliografía, nosotros hemos elegido la batería utilizada por el grupo SCImago en el que trabajamos.

Algunos informes realizados por el grupo a partir de estos indicadores bibliométricos son:

- **“Indicadores científicos de Andalucía (ISI, Web of Science. 1998-2001)” (Moya-Anegón, et al, 2003) e “Indicadores científicos de Andalucía: ISI, Web of Science, 2002” (Moya-Anegón, 2005b)**

En el que dieron a conocer los resultados de la evaluación cualitativa y cuantitativa del Sistema Andaluz de Investigación en función de su producción científica. Esta evaluación iba acompañada de la valoración de otros parámetros e indicadores para dar una visión aún más completa de todos los aspectos que afectan e influyen sobre dicho sistema.

En consecuencia, con esta publicación pretendieron proveer un instrumento útil para la toma de decisiones a los distintos gestores de la Ciencia en Andalucía: tanto a nivel de los Centros de Investigación, para que pudieran abordar la tan necesaria planificación estratégica de sus respectivas



Instituciones, como a los propios investigadores, para que pudieran reorientar o reconducir sus líneas de investigación hacia temáticas de mayor impacto social. Y por supuesto, a los responsables políticos para que pudieran dirigir el debate que condujese desde el mayor consenso posible a la definición del nuevo Plan Andaluz de Investigación Desarrollo Tecnológico e Innovación, como instrumento esencial para el desarrollo de la Sociedad del Conocimiento en Andalucía.

- **“Indicadores científicos de la producción andaluza en Biomedicina y Ciencias de la Salud (ISI, Web of Science, 1990-2002)” (Moya-Anegón, 2004b) y posteriormente “indicadores científicos de la producción andaluza en biomedicina y ciencias de la salud. 2003-2004” (Moya-Anegón, 2006a)**

Estos informes han pretendido dar una descripción y caracterización de la producción científica andaluza en biomedicina y ciencias de la salud. Nacieron con la intención de ser un instrumento útil en la evaluación de los resultados de investigación del área biomédica de la comunidad autónoma de Andalucía, utilizando para ello los resultados con visibilidad internacional. Es por esto, que estos informes sólo recogían únicamente los trabajos que habían sido incluidos en las bases de datos del Institute for Scientific Information (ISI), excluyendo aquellos resultados que no estaban presentes en dichas bases de datos, y que son propios de la innovación tecnológica como son patentes, informes técnicos, etc.

- **“Indicadores bibliométricos de la actividad científica española (ISI, Web os Science, 1998-2002)” (Moya-Anegón, 2004a) e “Indicadores bibliométricos de la actividad científica española: 1990-2004” (Moya-Anegón, 2005a)**



El objetivo general de estos informes era ofrecer una información estructurada sobre la producción científica de los investigadores españoles, por área de conocimiento, a nivel nacional e internacional, como instrumento para el análisis de oportunidades de áreas emergentes del conocimiento y de fortalezas y debilidades del sistema español de ciencia y tecnología.

También han tratado exclusivamente los resultados de investigación que recogían las publicaciones visibles internacionalmente de las bases de datos del Institute for Scientific Information (ISI). En el que se excluían patentes y resultados propios de la innovación tecnológica. En particular, los informes trataban de:

- Conocer el volumen de producción científica visible internacionalmente a nivel regional y nacional.
 - Describir su evolución a lo largo del tiempo y compararla a nivel internacional.
 - Definir los patrones de comunicación científica de los investigadores españoles en las diferentes áreas temáticas.
 - Conocer la producción científica en distintos niveles de agregación (geográfico y temático).
 - Estimar la posición internacional de la ciencia española en términos de impacto y esfuerzo.
 - Identificar las redes de colaboración existentes y sus características.
-
- **“Indicadores científicos de Galicia (ISI, Web of Science, 1990-2003)” (Moya-Anegón, 2005c)**

Con este informe lo que pretendían era contribuir al análisis de la situación, evolución y efectos de las actividades de I+D en Galicia en las distintas áreas



de conocimiento, siendo uno de los objetivos que se planteaban desde el Consorcio de Bibliotecas Universitarias de Galicia. Para eso fue necesario, entre otras acciones, recopilar los datos disponibles sobre producción científica del personal investigador gallego, y a partir de ellos a través de la elaboración de indicadores establecer las condiciones existentes entre los esfuerzos, las disciplinas, los organismos, el territorio, etc.

Por todo esto, el Consorcio de Bibliotecas Universitarias de Galicia planteó la iniciativa de promover un análisis del estado de la investigación en Galicia a través de un estudio de indicadores científicos con la finalidad de conocer la situación actual y su evolución desde el año 1990.

El objetivo fundamental era medir la situación de Galicia en cuanto a generación de nuevo conocimiento y su relación con el esfuerzo inversor, a través del análisis de indicadores socioeconómicos que describiesen la situación de los recursos invertidos en I+D; indicadores de producción que describiesen aspectos cuantitativos de la actividad investigadora; indicadores de impacto que representaban la visibilidad dentro de la comunidad científica, y de indicadores de colaboración con otras comunidades españolas y en el contexto internacional.

- **“Indicadores Científicos de Extremadura (WOS 1990-2002)” (Guerrero-Bote, 2006)**

El objetivo general era proporcionar una visión de la investigación en la Comunidad Autónoma de Extremadura desde diferentes parámetros objeto de estudio y en diferentes dominios temáticos. Con este fin se analizó, por un lado, la intensidad de la Investigación y Desarrollo Tecnológico (I+D) y, por otro, la producción científica en el periodo 1990-2002, utilizándose para ello



las bases de datos del ISI. Se utilizaron indicadores socioeconómicos e indicadores bibliométricos para mostrar la relación entre los recursos invertidos en I+D y los resultados obtenidos, así como el posicionamiento de la Comunidad Autónoma de Extremadura en los diferentes ámbitos geográficos.

- **“Indicadores científicos de Madrid (ISI, Web of Science, 1990-2003)” (Olmeda-Gómez, 2006a)**

Este informe describía y caracterizaba los resultados de la producción científica madrileña con visibilidad internacional, tanto en el nivel institucional como por áreas de conocimientos, a partir del uso de un conjunto de indicadores que ayudaban al análisis del sistema madrileño de I+D.

El principal objetivo de este trabajo fue elaborar un conjunto de indicadores bibliométricos que sirviesen para analizar y realizar un seguimiento adecuado de la producción científica de Madrid. Estos indicadores fueron completados con otros datos de naturaleza económica y social. El estudio también cuantificaba la producción madrileña, caracterizándola a través de una serie de indicadores tanto simples como relacionales desde la perspectiva cuantitativa y cualitativa.

El estudio recopilaba y analizaba los datos disponibles sobre la producción científica producida por los investigadores madrileños sobre la base exclusiva de las publicaciones recogidas en las bases de datos de Thomson Scientific, en el período 1990-2003.

- **“La investigación en colaboración de las universidades españolas (2000-2004)” (Olmeda-Gómez, 2006b)**



Se estudiaba la producción con colaboración científica de las universidades españolas entre los años 2000 y 2004 de autores con filiación en centros universitarios españoles y que habían publicado en revistas incluidas en el Web of Science. Se aportaban datos de producción, con índices de coautoría, cálculos de factores de impacto esperado de la producción en colaboración desagregados por comunidades autónomas, centros universitarios y áreas temáticas de la Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva (ANEP) del Ministerio de Educación y Ciencia. También se estudió la colaboración internacional y se realizó mapas de colaboración que mostraban las relaciones de colaboración interinstitucional y los principales países con los que los autores colaboraban.

- **“Resultados de Investigación Científica con Visibilidad Internacional de la Universidad de Granada (ISI-WOS, 1990-2003)” (Moya-Anegón, 2006b)**

El objetivo de este informe era describir y caracterizar la producción científica de la Universidad de Granada (UGR), tanto en su estructura administrativa como por área de conocimiento, a partir del uso de una batería de indicadores que permitiesen realizar un análisis y seguimiento de su actividad investigadora.

De lo que se trataba por tanto era de la posibilidad de contar con un instrumento analítico que contribuyera a la evaluación de los resultados de las políticas universitarias y científicas, a partir del cual se pudiesen detectar por un lado, tanto las fortalezas como las debilidades de la actividad científica recogida en la Web of Science de Thomson Scientific, y por otra parte, una



herramienta a partir de la cual plantearán nuevas preguntas y planteamientos en el contexto de la política universitaria.

Otro de los informes realizados por el grupo es:

- **“Indicadores Bibliométricos de la Actividad Científica Española: (2002-2006)” (Moya-Anegón, 2009)**

En este trabajo como en todos los anteriores realizados para la FECYT se aborda la producción científica española, pero con una diferencia en cuanto a la fuente de información utilizada, puesto que ahora se venía utilizando exclusivamente el WOS (Web of Science) para la obtención de los datos, sin embargo en esta edición, y como novedad, han utilizado también la base de datos Scopus, puesto que engloba la mayor colección a nivel mundial de resúmenes, referencias e índices de la literatura científica, técnica y médica.

Y algunas de las tesis doctorales realizadas:

- **“Análisis del Domino Científico Español: (1995-2002)” (Chinchilla-Rodríguez, 2005)**

En el que la doctora Chinchilla-Rodríguez describía la producción científica española en su vertiente internacional recogida en ISI para el periodo 1995-2002. El principal objetivo de esta tesis era la elaboración de una batería de indicadores para el análisis y seguimiento de la producción científica española. Su resultado final era mostrar una metodología que pudiese analizar tanto los resultados de la actividad científica en cada una de las dimensiones de análisis como el sistema de relaciones en el que se desenvuelve.



- **“Análisis del Dominio Científico de las Matemáticas en España (1990-2004)” (Corera-Álvarez, E., 2007)**

En el que la doctora Corera-Álvarez recogía los resultados correspondientes a la caracterización de la producción científica matemática española producida en revistas recogidas por las bases de datos del *Institute for Scientific Information* (ISI) durante los años 1990-2004. El trabajo también estaba enmarcado en los estudios de análisis de dominio, pero la diferencia con respecto al trabajo de la Dra. Chinchilla estribaba en que se realizaba un estudio temático.

- **“Análisis del Dominio Científico de Ciencia de los Materiales (Scopus, 1996-2007)” (Espinosa-Calvo, 2009)**

En él, la Dra. Espinosa-Calvo sigue una línea parecida a la de la Dra. Corera-Álvarez, aunque cuenta con una diferencia principal: la fuente de extracción de datos, que en este caso es la base de datos de Scopus de Elsevier. Asimismo, el periodo de investigación también difiere por tratarse de un estudio posterior. De este modo, el estudio realizado por la Dra. Espinosa-Calvo, ofrece una visión bastante detallada de cómo se encuentra Ciencia de los Materiales a nivel mundial, nacional, por regiones y países.

- **Estudio y comparación de la Web of Science y Scopus (1996-2007) (Gómez-Crisóstomo, 2011)**

En el que la doctora M^a del Rocío Gómez Crisóstomo analiza y compara en profundidad la Web of Science, de Thomson Scientific, y Scopus, de Elsevier, las dos bases de datos bibliográficas más utilizadas y reconocidas por la comunidad científica en la actualidad, y que, desde hace tiempo han entrado



en seria competencia por ofrecer ambas una colección de datos y un abanico de servicios de gran calidad.

A continuación detallamos cada uno de los indicadores usados para precisar su significado y modo de obtención.

4.3.1. Indicadores para la dimensión cuantitativa.

Los indicadores que agrupamos como “cuantitativos” están basados en los recuentos de publicaciones y se fundamentan en el hecho de que en circunstancias equivalentes, cuantos más trabajos científicos publicados, tanto mayor es la cantidad de resultados científicos. Por otra parte, la información que nos proporcionen los indicadores de producción sólo será útil en marcos comparativos.

A partir de estos recuentos se han calculado dos tipos de indicadores. Por un lado calculamos el indicador Ndoc, que contabiliza el número total de documentos, y por otro los indicadores que caracterizarán la dimensión cuantitativa de la producción, con el objetivo de relativizar los valores absolutos. El primero de estos, es una simple reducción a porcentajes (%Ndoc) que será utilizada, principalmente, para sopesar presencias relativas tanto de los agentes productores como de las temáticas dentro de los distintos agregados, y el segundo se dirige a cuantificar en términos relativos el esfuerzo que cada agregado realiza por disciplinas temáticas donde tiene actividad (IET). Seguidamente pasamos a describir el significado de cada uno de estos indicadores así como el procedimiento de obtención de forma más detallada:

- Indicador Ndoc (Nº de documentos): señala el número de documentos, recogidos por las bases de datos Scopus y Web of Science. Con este



indicador se intenta medir, desde una perspectiva general, el volumen de producción de cada una de ellas.

- Indicador Tasa Porcentual o %Ndoc: se trata del porcentaje de trabajos respecto al total de documentos diferentes del nivel señalado. Estima el grado de participación de una comunidad, disciplina o cualquier otro nivel de agregación, en el conjunto de la producción que se considere. Se ha utilizado para las comparaciones generales entre agregaciones, para observar la presencia de la producción mundial, regional o nacional. La comparación entre los porcentajes de distintas áreas temáticas no es indicativa de la contribución o peso real en el agregado.
- Indicador Ndocc (N° de documentos primarios): este indicador representa el número de artículos científicos, reviews y conference papers. Expresa el tamaño en términos absolutos de la producción primaria o citable de un dominio o agregado. Hay que tener en cuenta, que, como veremos más adelante, son muchas las ocasiones en las que Scopus consideran a un mismo documento de distinta tipología, hecho que puede afectar a indicadores como el Ndocc.
- Indicador %Ndocc: se trata del porcentaje del número de artículos científicos, reviews y conference papers. Expresa el tamaño en términos relativos de la producción primaria o citable de un dominio o agregado.
- Indicador IET (Índice de Especialización Temática): refleja la actividad relativa en un área temática determinada a través del nivel de especialización, entendida como el esfuerzo relativo que una comunidad o agente dedica a una disciplina o área temática. Cuantifica de forma relativa el número de documentos producidos en una disciplina concreta por un determinado colectivo con respecto a otro colectivo. Donde, para



calcular el IET del campo temático C , en el colectivo E , con respecto al colectivo M se utiliza la fórmula:

Para calcular el IET del campo temático C , en el colectivo E , con respecto al colectivo M se utiliza la fórmula:

$$IET_{CE/M} = \frac{\frac{Ndocc_{CE}}{Ndocc_E}}{\frac{Ndocc_{CM}}{Ndocc_M}} = \frac{\%Ndocc_{CE}}{\%Ndocc_{CM}}$$

Donde:

- $Ndocc_{CE}$ es el número de documentos del campo C en el colectivo E (análogamente para $Ndocc_{CM}$)
- $Ndocc_E$ es el número total de documentos del colectivo E (análogamente para $Ndocc_M$)
- $\%Ndocc_{CE}$ es el porcentaje que suponen, dentro del total de documentos primarios del colectivo E , los del campo temático C (de manera análoga se define $\%Ndocc_{CM}$)

4.3.2. Indicadores para la dimensión cualitativa.

A lo largo de la historia de la literatura científica se han realizado numerosos estudios enfocados a determinar el concepto de calidad de los trabajos científicos. En 1995, Maltrás-Barba y Quintanilla (1995) realizaron una revisión de los más importantes, y concluyeron que en todos se mostraba la calidad científica como un concepto con múltiples dimensiones que podrían tener un mayor o menor interés en función de los objetivos de cada trabajo.



De modo general podemos decir que la calidad de un trabajo sería la importancia que éste desempeñará en el debate científico. En eso se fundamenta la teoría de la citación, donde las citas recibidas se interpretan como un reflejo directo de la actividad generada en el debate científico, del impacto en la comunidad de expertos. Sin embargo, esto supone un tiempo de espera para que se produzca la citación.

Igualmente, las revistas más importantes son las que publican los mejores trabajos, que potencialmente gozarán de una mayor visibilidad, y por tanto, obtendrán un mayor número de citas.

Basándonos en la calidad de las revistas, también podemos entender la calidad como la expectativa que genera un resultado al ser valorado por los otros científicos, es decir, como el cálculo de la importancia del papel que desempeñará en el debate entre colegas expertos. Se trata de una calidad juzgada a priori e independiente de la contribución efectiva que suponga finalmente en el corpus disciplinar. Es una calidad detectada desde la propia percepción interna del sistema científico en determinados momentos del ciclo de producción, nos referimos al proceso de selección de los trabajos por parte de las revistas científicas, y al sometimiento de juicio de valor de éstos por parte de los trabajos publicados. Dicho procedimiento implicaría el convencimiento de que a todos los trabajos seleccionados por una revista les ha sido aplicado el mismo rigor en los filtros antes de su publicación, y también el hecho de que posteriormente, ese mínimo de calidad puede verse refrendada y potenciada por el fenómeno de citación. De este modo ya tendríamos configuradas las bases del modelo bibliométrico fundamentadas en la teoría de la citación, donde las citas recibidas por las revistas se han tomado como un indicador de la importancia de las mismas en la ciencia y consecuentemente las citas recibidas por los documentos son un reflejo satisfactorio de la calidad de éstos.



Los indicadores de calidad de las revistas fundamentados en la teoría de la citación se basan principalmente en el promedio de citas recibidas por cada trabajo publicado en la revista. Sin embargo, existen diferencias en cuanto a la ventana de tiempo considerado para la publicación, así como la considerada para la citación.

Existen varios indicadores destinados a medir la calidad de las revistas a través del número de citas recibidas por los trabajos en ellas publicados en un determinado periodo de tiempo. Hasta hace poco tiempo, era el Factor de Impacto (FI), propuesto por Garfield (1972) e incluido en el Journal Citation Report del ISI de forma anual, el indicador más extendido. Pero no fueron pocos los autores que criticaron algunas de las características del mismo, principalmente el hecho de que mediante su cálculo no se atribuyese distinto peso a las citas dependiendo del prestigio de la revista de la que recibe la cita.

El SJR (Scimago Journal Rank): Es un indicador desarrollado por el grupo de investigación SCImago² que muestra la visibilidad de las revistas contenidas en *Scopus* desde 1996 (González-Pereira et al., 2010; Bollen et al., 2009; Guerrero-Bote & Moya-Anegón, 2012). Está basado en la transferencia de prestigio o influencia desde una revista a otra a través de las referencias. Es un indicador de las revistas independiente de su tamaño, y lo que hace es ponderar las citas recibidas por las revistas en una ventana de tres años con el prestigio de la revista citante.

² <http://www.scimagojr.com/SCImagoJournalRank.pdf>



4.4. Desarrollo y evaluación de Instrumentos bibliométricos.

La evaluación de los resultados logrados por un científico se lleva a cabo de dos formas distintas: peer review o evaluación por pares, y por valoración a posteriori de los resultados de la investigación, a través de las publicaciones en las que se recogen dichos resultados y de la valoración que de los mismos hace la comunidad científica (Peña-Rey, 2004).

Los indicadores bibliométricos se pueden definir como los parámetros que se usan para determinar: el crecimiento de cualquier campo de la ciencia, según la variación cronológica del número de trabajos publicados; la productividad de los autores o instituciones, medida por el número de sus trabajos y la colaboración entre científicos o instituciones, número de autores por trabajo o centros de investigación que colaboran (Sancho, 1990). Los indicadores bibliométricos constituyen un método objetivo, económico y relativamente sencillo, de obtener información cuantitativa acerca de los procesos de I+D.

Los estudios bibliométricos se aplican para conocer la actividad científica de un país, la producción científica de los investigadores, los autores más productivos, etc. Podemos considerar que estos estudios, basados en las publicaciones y en su impacto, son buenas herramientas para el análisis de la producción científica.

En el presente trabajo planteamos varios aspectos metodológicos elementales relacionados con la utilización de las técnicas bibliométricas como método para la evaluación del rendimiento de la investigación.

Para decidir qué tipo de análisis es el apropiado en una disciplina, hay que analizar el nivel de cobertura que dicha disciplina tenga en la base de datos que



se va a utilizar. Para los temas abordados en este estudio hemos utilizado la base de datos Scopus ya que, desde que en 2004 apareciese en el mercado, Thomson/ISI han perdido exclusividad con relación al análisis de citas.

Se han tratado temas como el análisis de las palabras claves, ya que es una técnica para detectar las tendencias existentes en una disciplina en un momento determinado. El análisis de las keywords utilizadas en un artículo científico ayuda al conocimiento del tema tratado sin la necesidad de consultar el texto completo. Por lo tanto, si se realiza un estudio de todas las keywords empleadas en los trabajos de las revistas pertenecientes a un determinado área en un periodo de tiempo determinado, se puede deducir la tendencia existente en la disciplina en ese periodo. La característica principal de este tipo de análisis es que se visualiza la estructura intelectual de una disciplina específica en los mapas del espacio conceptual de este campo. Muchos investigadores han analizado las keywords de los trabajos científicos como método para obtener ideas y líneas de investigación en diferentes campos. Algunos ejemplos son: la cartografía (Ding et al., 2001), ecología (Neff & Corley, 2009), la previsión tecnológica y la visualización (Woon et al., 2009), la energía del hidrógeno y pilas (Chen, Chen & Lee, 2010), residuos sólidos (Fu et al., 2010), desalinización (Tanakaa & Ho, 2011), *Helicobacter pylori* (Suk et al., 2011), la biodiversidad y la conservación (Liu et al., 2011).

Analizamos qué tipos de indicadores bibliométricos son los óptimos en Energías Renovables, ya que depende de las técnicas utilizadas, tanto para países, revistas como instituciones.



5. Material.

5.1. Fuente.

En este trabajo nos hemos basado en las “outputs”, es decir, en los resultados producidos, centrándonos exclusivamente en las publicaciones científicas, ya que constituyen el principal producto de la labor científica y son comunes a la mayor parte de las disciplinas.

Desde hace años, se realizan estudios bibliométricos a partir de la información que aportan las bases de datos bibliográficas del ISI (Information Science Institute) que sirven para evaluar la visibilidad de un país, institución, disciplina, centro, autor, etc., complementando otro tipo de análisis cualitativos. Pero hasta hace relativamente poco tiempo se consideraba a ésta como la base de datos que recogía todas las publicaciones más importantes en cada área temática, y ya desde noviembre de 2004 (Hane, 2004; Pickering, 2004) encontramos otra base de datos denominada Scopus creada por Elsevier. A pesar del poco tiempo que lleva este producto en el mercado, ya existen varios trabajos que intentan caracterizar y analizar dicha base de datos (Hane, 2004; Pickering, 2004; Jacso, 2004; Laguardia, 2005; Codina, 2005; Archambault et al., 2009).

Como es ampliamente conocido, no todas las publicaciones tienen el mismo valor para los científicos. Si bien es difícil establecer una clara diferencia entre las publicaciones de un cierto nivel y las que no lo tienen, está ampliamente aceptado considerar a las que se encuentran en las grandes bases de datos bibliográficas (Web of Science y Scopus principalmente) como las publicaciones más importantes en cada área temática.

Scopus se considera la mayor base de datos de literatura científica multidisciplinar que existe en el mercado. Se actualiza diariamente e incluye



resúmenes y referencias citadas desde 1960. Incluye más de 18.000 títulos de todas las ramas de la ciencia. Esta herramienta ofrece un paquete completo de servicios, entre los que cabe destacar:

- El corpus bibliográfico.
- Su interfaz diseñado para lograr una visión global de los resultados ayudando a los investigadores a identificar rápidamente lo que es relevante y las tendencias en su campo de estudio.
- Permite conexiones por disciplinas al buscar las citas y las referencias.
- Alcanza unos altos niveles de precisión al emparejar referencias con resúmenes.
- Ofrece enlaces a texto completo, a fuentes de Open Access y a catálogos de bibliotecas, y publicaciones exclusivamente electrónicas.
- Enlaces a artículos citados desde la lista de resultados, el resumen y las referencias.
- Asimismo los investigadores pueden presentar solicitudes para nuevos contenidos, fuentes o tipos de documentos, y tienen la posibilidad de configurar y personalizar sus preferencias.

Pero además de todas estas posibilidades que nos ofrece Scopus, en uno de los trabajos realizado por Moya-Anegón et al. (2007), se comparó Scopus con la versión Core del Ulrich's Directory (considerando como el referente mundial donde se recoge la información más exhaustiva sobre las revistas publicadas en el mundo). Como modelo tomaron la metodología de Braun, Glänzel y Schubert (Braun et al., 2000). Con esta comparación pudieron observar que:

- La cobertura proporcionada por Scopus es equilibrada en términos de temas, idiomas y editores en comparación con la base de Ulrich's. Por lo que se puede decir que Scopus tiene una representación absolutamente homogénea



en lo referente al mundo en casi todas las áreas, excepto las artes y humanidades, un hecho que se ha precisado en estudios anteriores (Goodman y Deis, 2005). Aunque hay que decir, que Scopus cubre un 35% de las revistas de Ciencias Sociales en el referente mundial.

- En cuanto a la cobertura geográfica también observaron un cierto paralelismo en la distribución de las dos colecciones, lo que hace pensar que Scopus, en cierta medida, se asemeja bastante al Ulrich.
- En lo que respecta a la lengua, también encontraron paralelismo entre Scopus y Ulrich, puesto que más del 80% de la producción científica está en inglés. Las diferencias en la distribución del resto de lenguas se centraban en el francés, chino, holandés y ruso (idiomas sobre-representados), y en el alemán, español e italiano (idiomas sub-representados).
- La gran mayoría de los editores (97%) están sobre-representados en las dos versiones (Ulrich's Core y Scopus), lo cual difiere de la distribución por disciplinas, países y lengua de publicación, en las que hay un pequeño grupo que está por encima de la media frente a una cola de la distribución muy grande que no la alcanza.
- En cuanto a las principales editoriales, Elsevier y Blackwell son las que ofrecen la mayor cobertura a nivel mundial y presentan una distribución temática bastante homogénea con respecto a Ulrich. La segunda está mejor representada que la primera. Por otra parte, Springer sobresale en Medicina, Biología, Computación y Psicología. Taylor & Francis además lo hace en Química, Medioambiente e Ingeniería y Medicina.

Con todo lo mencionado anteriormente, se puede decir que la cobertura ofrecida por la base de datos Scopus es bastante equilibrada. Pero la razón principal que nos ha llevado a utilizar esta fuente de datos para la realización del trabajo, ha sido la disposición de los datos como consecuencia del contrato de investigación que el Grupo SCImago realizó en el año 2007 con la editorial Elsevier. Como



resultado se desarrolló el portal SCImago Journal & Country Rank (SJR). Este portal está basado en los contenidos de la base de datos Scopus, y nació con la vocación de representar una alternativa open access a los productos de Thomson Scientific.

En la base de datos Scopus se tiene acceso a millones de registros procedentes de revistas científicas. En este portal se pueden obtener múltiples indicadores, que son los que nosotros hemos seleccionado para el análisis y seguimiento de la producción científica de los distintos dominios geográficos.

Desde su aparición, han sido numerosos los medios que se han hecho eco de este producto, puesto que amplía las opciones en la obtención de indicadores científicos, que hasta la fecha se habían basado principalmente en los productos generados por la empresa norteamericana Thomson Scientific.

Sólo con hacer una revisión de los enlaces que han hecho referencia al portal SCImago Journal & Country Rank (SJR), tanto internacionales como nacionales, podemos deducir el alcance que ha tenido este producto entre los investigadores. Por citar algunos (Nature News, University of Missouri –Libraries, Research Management in Management Research, University of Melbourne Library Intelligencer, University of Maryland Libraries, Institut de Ciència de Materials de Barcelona, Biblioteca Tomás Navarro – CSIC, Andalucía Investiga, El País, Observatorio de Martinej, Universidad de Extremadura, etc.)

En la página principal del portal encontramos dos opciones importantes: un ranking para revistas y otro por países. Mediante el ranking de revistas científicas o “Journal Indicators”, se puede filtrar por grandes áreas de conocimiento (27), categorías temáticas (295), países (229) y años (1996-2007). Han sido calculados nueve indicadores para cada una de las revistas. Además este ranking se puede ordenar mediante los diferentes indicadores: SJR, citas por documento, Índice h,



número total de documentos, documentos citables, total de referencias, referencias por documento y número total de citas. Existe también la posibilidad de utilizar un valor mínimo de umbral para recortar el ranking, además de obtener tablas estadísticas descargables por el usuario para su posterior manipulación.

También brinda la posibilidad de comparar distintos países mostrando los indicadores de todos ellos de manera simultánea, ya sea por categorías temáticas o de manera general, desde la opción "Compare".

El portal también ofrece, mediante un generador de mapas científicos, visualizar y representar las estructuras científicas de cada país, a través de técnicas de cocitación y de redes sociales.

5.2. Extracción de datos.

Puesto que el ámbito de estudio de nuestro trabajo son Energías Renovables, para nuestro estudio hemos descargado todos aquellos registros contenidos en la base de datos Scopus y pertenecientes a los periodos fijados en cada artículo. De cada uno de los registros, se ha tomado la información pertinente para cada caso.

5.3. Representación relacional.

Los procesos de captura de datos explicados en el punto anterior, han dado como resultado la construcción de una base de datos relacional, que permite operar, de modo sencillo, flexible y rápido, con los distintos análisis de indicadores bibliométricos. Para la construcción de la base de datos se ha utilizado un software ad-hoc desarrollado específicamente para las cargas, modelado y tratamiento de la información mencionada.



Concretamente, del conjunto de publicaciones que denominamos fuente, es decir, el conjunto de toda la producción científica publicada en cada una de las áreas correspondiente al período analizado, se ha obtenido y tratado toda la información ofrecida por Scopus.

En la base de datos se ha almacenado la información relativa a los registros contenidos en la base de datos en el momento de la descarga, para posteriormente trabajar con ellos mediante la aplicación de diversos indicadores bibliométricos.



6. Discusión de los resultados y conclusiones.

En esta parte, se presenta la discusión conjunta de los resultados obtenidos en los distintos trabajos junto con las conclusiones alcanzadas de acuerdo con los temas de investigación tratados en el conjunto completo de la tesis.

Los temas principales de investigación y los objetivos han sido ya expuestos en apartados anteriores. En esta sección pasaremos a enunciarlos, y a continuación, exponemos los resultados derivados de nuestro estudio con respecto a cada uno de ellos.

6.1. Cuantificación de la producción científica.

¿Cuáles son los países con mejores resultados en Energía Renovable en el periodo estudiado según los indicadores bibliométricos?

Nuestro análisis en el campo de las Energías Renovables nos ha revelado que los países que cuentan con mayor producción en este campo son Estados Unidos, China, Reino Unido, India, Turquía y Japón y son, a su vez, los que mayor número de citas alcanzan en los periodos analizados.

China y Turquía son los dos países que mayor crecimiento presentan en cuanto a la producción científica y, Japón y Alemania han mantenido un número constante de publicaciones a lo largo del periodo estudiado y por este motivo son los dos países que menor Tasa de Variación experimentan.

Turquía y Grecia son los países que mayor esfuerzo realizan en Energías Renovables.



Suecia y Dinamarca son los que mayor número de artículos por habitantes tienen, y Eslovenia, Turquía, Grecia, Lituania y Suecia son los países que obtienen mayor número de artículos por GDP.

¿Qué clasificación de países podemos hacer según los valores que presentan en algunas de las variables utilizadas?

De los resultados obtenidos y normalizando varios indicadores, hemos obtenido cinco grupos de países en cuanto a la investigación en este campo:

- El grupo de los países sobresalientes que son los que tienen una gran especialización con una alta producción científica reconocida internacionalmente que aumenta considerablemente a lo largo del periodo. Cuentan con una gran especialización. El prototipo de este grupo es Turquía.
- El de los países avanzados, que son potencias que aunque cuentan con una alta producción científica estabilizada y reconocida a lo largo del periodo, que no es fruto de una gran especialización sino de su gran volumen. Aparentemente el prototipo de este grupo es Estados Unidos.
- El de los países intermedios que son los que presentan una producción científica escasa no muy reconocida, lo que provoca que la especialización temática sea también bastante baja, a pesar de experimentar un crecimiento elevado. En este grupo parece que Rusia es el prototipo.
- El de países especializados que son los que a pesar de tener un volumen de producción medio-bajo creciente, que es fruto de una alta especialización,



obtienen una alta citación normalizada que va en aumento en el periodo estudiado. Se puede decir que el prototipo de este grupo es Argelia.

- Y por último, el de países iniciales que son los que tienen una escasa producción científica, y como consecuencia obtienen unos valores de especialización bastante grandes, que no son significativos estadísticamente. Su impacto es bajo y sin gran variación durante el periodo. El prototipo de este grupo podríamos decir que es Uzbekistán.

¿Cuáles son las instituciones más productivas en Energía Renovable a nivel mundial?

De las 2189 instituciones con producción en Energía Renovable a nivel mundial, nos hemos centrado en aquellas que cuentan con una producción igual o superior a 50 documentos, y de estas instituciones, 40 pertenecen al sector universitario y 11 al sector gubernamental.

La institución que mayor número de documentos obtiene en el periodo es Technical University of Denmark y es, a su vez, la que mejores valores obtiene de citación normalizada. Karadeniz Technical University ocupa la primera posición en cuanto a citas por documento.

Más del 80% de las instituciones objeto de estudio, superan el promedio mundial en cuanto a citación normalizada, ya que la mayoría de ellas alcanzan valores superiores a 1. Por otro lado, los países que agrupan mayor número de instituciones son Suecia y Turquía, seguidos de China y Estados Unidos y Japón.

¿Qué clasificación de instituciones podemos establecer según los valores que presentan en distintos indicadores?



A nivel mundial y normalizando varios indicadores para las instituciones, se han establecido seis grupos distintos:

- En el primer grupo predominan las instituciones chinas y está formado por instituciones con alta producción científica e impacto durante todo el periodo. El prototipo de este grupo sería “Utrecht University”.
- El segundo grupo de instituciones se caracteriza también por contar con instituciones con gran producción e impacto aunque recientes. Se puede decir que aparentemente el prototipo de este grupo es “Technical University of Denmark”.
- El tercer grupo está formado por instituciones que tienen gran producción pero bajo impacto. El prototipo de este grupo es “National Renewable Energy Laboratory”.

Al ser estos tres primeros grupos de instituciones los que mayor producción científica presentan, son las que mayor peso tienen en el rendimiento de sus correspondientes países.

- En el cuarto grupo predominan las instituciones suecas, seguidas de las turcas y las estadounidenses, y se caracterizan por contar con una producción mediana pero impacto destacable. Podríamos decir que el prototipo de este grupo sería “Karadeniz Technical University”.
- El quinto grupo (totalmente distinto al primero) está formado por instituciones con una producción discreta e impacto bajo. El prototipo de este grupo es “Sandia National Laboratories, New Mexico”.



- Y el sexto y último grupo está formado por instituciones con muy baja producción reciente pero con un impacto creciente. Podríamos decir que el prototipo de este grupo sería “National Taiwan University”.

En el primer grupo hay instituciones que son las que más destacan de sus países, por lo que llevan a éstos a situarse en el grupo 1 de países sobresalientes en su mayoría, y en el grupo 2 de países avanzados.

¿Cómo se encuentra la investigación en el campo de las Energías Renovables en España comparada con el resto de países a nivel mundial?

Si observamos los resultados obtenidos en el análisis de la producción científica española en energías renovables en el contexto mundial para el periodo 2003-2009, observamos que España incrementa notablemente su producción científica, llegando a cuadruplicarse en el periodo estudiado.

Los países que cuentan con una producción superior a 1000 documentos son Estados Unidos, China, Reino Unido, India, Turquía y Japón.

En cuanto a Tasa de Variación, China es el país que mayor crecimiento experimenta en el año 2009 con respecto a 2003, seguido de España.

Los países que presentan mayor esfuerzo/especialización en esta área del Índice de Especialización temática (IET) respecto al mundo en cuanto a energía renovable, sostenibilidad y medio ambiente fueron Turquía y Grecia. En este sentido, España ha hecho un esfuerzo/especialización en esta área superior al promedio mundial, aunque hay seis países por delante, de los cuales sólo dos tuvieron una mayor producción.



España se sitúa en séptimo lugar en cuanto a citación normalizada.

Analizando los valores medios de las variables utilizadas para los países, podemos destacar que España se encuentra dentro del grupo de países sobresalientes. Ha habido un incremento del esfuerzo científico dedicado al área de estudio durante el periodo estudiado, lo que ha hecho posible el aumento de la producción y del impacto mejorando las posiciones de España en el ranking mundial.

¿Cuál es la tasa de colaboración de España en el área de estudio?

La tasa de colaboración en España no es muy alta. Los trabajos sin colaboración vienen a suponer cerca del 50%. Se espera una tendencia al crecimiento de la tasa de colaboración internacional, que viene a estar por encima del 25%.

¿Cuáles son las Instituciones más productivas en Energía Renovable en España?

Como instituciones destacan el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológica (CIEMAT) y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) por su producción y la Universidad de Zaragoza (UNIZAR) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) tanto por la producción como por el impacto.

¿Cuáles son los distintos grupos de instituciones españolas que podemos establecer según algunas de las variables normalizadas?

Contamos con 109 instituciones españolas que han publicado trabajos en el área de Energía Renovable, Sostenibilidad y Medio Ambiente, y en el periodo estudiado. Sólo 34 de ellas tienen una producción promedio anual superior a 1



trabajo. Entre las mismas hay 29 universidades y otras cinco instituciones del sector público.

El grupo 1, que está formado por las instituciones públicas de investigación distintas a las Universidades. Éstas se caracterizan por una citación normalizada superior a la unidad, y una especialización alta, salvo el CSIC que es más generalista. Destacan el CIEMAT por su alta producción que supone cerca del 15% de la producción nacional y el CSIC con una citación normalizada que supera en un 67% el promedio mundial.

El grupo 2 compuesto por universidades, en este caso 10, con una citación normalizada superior en un 30% al promedio mundial. A excepción de la Universidad de Barcelona y de la Universidad de Santiago de Compostela, todas tienen una especialización superior al promedio mundial. Destaca la alta citación normalizada que obtiene la Universitat Jaume I con sus 8 trabajos.

El grupo 3 lo forman las universidades con una especialización superior al promedio mundial y producciones medias. En este caso destaca la Universidad de Jaén.

El grupo 4 incluye universidades con una citación normalizada inferior al promedio mundial. En este grupo destaca la Universidad Politécnica de Madrid.

¿Cómo se encuentra la producción mundial y europea en Energía Renovable durante el período de estudio?

El análisis nos muestra que la producción total mundial y europea aumenta a lo largo del periodo estudiado, que con el paso de los años este tema está adquiriendo interés y podemos observar que algunos países en desarrollo destacan en algunas de las variables estudiadas para el mundo.



La producción científica en el campo de las energías renovables está creciendo como consecuencia de los problemas de sostenibilidad energética existente hoy en día.

Europa, que viene a tener el 40% de la producción mundial, crece a menor ritmo que el resto del mundo. Hay un considerable aumento de la producción en 2006 que puede ser consecuencia de la entrada en vigor en 2005 del protocolo de Kyoto. El impacto, concretamente la citación normalizada de Europa, es superior al mundial, y crece más de un 10 % en el periodo.

6.2. Impacto científico.

¿Cuáles son los países con mejores valores en Impacto normalizado?

Los países con los mayores valores de impacto normalizado son Dinamarca, Países Bajos, Suiza, Bélgica y Alemania, y superan el promedio mundial en más de un 30%.

Austria, Noruega, Dinamarca y Países Bajos son los que mayor crecimiento anual medio presentan para este indicador.

Si tenemos en cuenta los países más productivos, Dinamarca es el que mayor incremento en citación normalizada presenta en el periodo estudiado, seguido de Hong Kong, Australia y Alemania, mientras que, Países Bajos y Bélgica, con una buena citación normalizada presentan ligeros decrementos.

¿Cuáles son las instituciones con mejores valores en Impacto normalizado a nivel mundial?



Las instituciones que mejores valores alcanzan en citación normalizada son Technical University of Denmark y Utrecht University. Además de estas, si nos centramos en las instituciones con mayor número de documentos, las que presentan mayor impacto son Chinese Academy of Sciences, Shanghai Jiao Tong University, Indian Institute of Technology, Delhi y Tsinghua University.

6.3. Análisis temático.

¿Cuáles son los patrones de investigación en el campo de la Energía Renovable según el estudio de palabras clave?

Los resultados obtenidos muestran que los temas más utilizados en este campo son los relacionados con la energía solar, la energía eólica, radiación solar, la eficiencia energética, etc.

La estructura temática y geográfica definida mediante procesos de clustering en este trabajo permite avanzar en el conocimiento del desarrollo científico en un ámbito emergente como el de las energías renovables, que, a diferencia de otros más tradicionales, permite a países que no están entre los más poderosos científicamente ocupar posiciones muy destacadas en el contexto mundial.

Se establecen 5 clústeres y 22 a un mayor nivel de resolución.

Aunque el algoritmo de clustering no es jerárquico, la mayor parte de los clústeres de resolución 2 están incluidos y por tanto se pueden encuadrar dentro de otros de resolución 1.

Como consecuencia de este análisis, obtenemos que la palabra clave más utilizada en los artículos de la revista RE es wind power (que pertenece al cluster A (R1) y 3 (R2)), seguida de solar-energy (cluster D (R1) y 8 (R2)), solar-



radiation (cluster E (R1) y 2 (R2)) y renewable energy-resources (cluster C (R1) y al 4 (R2)). Alternative energies es la keywords que mayor bursting tiene en el periodo estudiado, (cluster 4).

Centrándonos en la resolución 1, el cluster A está dedicado al viento y a las mareas y al final del periodo es el tercero en cuanto a producción (43%), con una temática bastante especializada. Es un clúster que emerge durante el periodo de estudio, no presentando un periodo global de bursting. Aunque si se observa un bursting de Wind Power, no muy intenso, a mediados del periodo, y el que está dedicado a las Turbines principalmente (cluster 7), bastante intenso, que se da a finales del periodo. Este cluster no tiene una gran cohesión. Wind power es la keyword que, dentro de este cluster, mayor número de ocurrencias presenta.

Se produce el resurgimiento del cluster B, que trata sobre la combustión, el diesel, la biomasa, etc., por lo que es el que menor producción engloba (25%). Este tema emerge durante el periodo, con un bursting bastante intenso al final de periodo. El tema de los biocombustibles tiene también un bursting muy intenso (cluster 1) en la última parte del periodo, y el de la biomasa y biogas (cluster 6) tiene otro de menor intensidad a mediados del periodo. Este cluster es el más especializado. Bio-mass es la palabra clave que mayor frecuencia de aparición tiene en el conjunto de artículos estudiados en este cluster

El clúster C está dedicado a los temas generales, las políticas y los efectos socio-económicos que incluye también una parte sobre células fotovoltaicas, es el segundo con mayor producción (55%) y es el que mayor centralidad presenta ya que es el que mejor se relaciona con el resto de clústeres de la red. No se detecta ningún periodo de bursting global, pero sí en algunos de los temas específicos que incluye. Dos de ellos, el que trata sobre las células fotovoltaicas (cluster 10), que resulta ser el más central de la disciplina y el cluster dedicado a costes e inversiones (cluster 14) tienen breves periodos de bursting a mediados del



periodo, mientras que el cluster que trata sobre Asia y Eurasia (cluster 13) tiene un periodo de bursting de mediana intensidad en la última parte del periodo de estudio. El tema de la energy conservation y utilization (11) que agrupa solamente el 9% de la producción, obtiene el bursting más intenso y extenso desde el 2004 a la actualidad. La keyword que mayor número de ocurrencia tiene en este conjunto es renewable energy-resources.

El clúster D, que trata sobre la energía solar, la simulación de ordenador, la transferencia de calor, etc., es el que mayor producción tiene del conjunto estudiado, con un 56%, pero a partir del 2002 comienza a decaer, no presentando tampoco un bursting global. Dentro de éste, la energía solar (cluster 8), forma el cluster de resolución 2 que mayor producción tiene en el periodo estudiado con dos periodos de bursting uno de mediana intensidad a principios del periodo y otro más extenso e intenso a mediados del periodo. La simulación por ordenador tiene un bursting muy intenso a principios del periodo y otro de menor intensidad a mediados. La desalinización, la destilación, etc. (cluster 15) tiene un bursting de mediana intensidad en la última parte del periodo. Por la cohesión observada, se puede decir que es el cluster mejor definido del periodo. Solar-energy es la palabra clave que mayor frecuencia de aparición tiene en este clúster

El clúster E dedicado a la climatology es uno de los menores con un 35% de la producción y ha ido perdiendo interés, por lo que su periodo de bursting, muy intenso, se da a principios del periodo. El periodo de ebullición de este cluster comienza en 1991 y finaliza en 1993. Algunos descriptores de este cluster se mezclan con los de otros clústeres. Contiene el descriptor “mathematical models” que es el descriptor sobre simulación que mayor producción contiene. La palabra clave que mayor frecuencia de aparición tiene es solar-radiation.

Por otro lado, centrándonos en la resolución 2 se establecen 22 clusters, donde el 3, 7, 9, 16, 17, 18 y 22 se encuadran en el cluster A; el 1, 6 y 21, en el cluster B;



el 4, 10, 11, 13, 14, 19 y 20, en el cluster C; el 5, 8, 12 y 15, en el cluster D; y por último el 2, en el cluster E. Utilizando la R2 el cluster 10 es el de mayor centralidad y la palabra clave con mayor frecuencia de aparición es sistemas fotovoltaicos. Los clústeres 1, 2, 5 y 6 son los que mayor cohesión presentan. Los clústeres de resolución 2 mejores definidos son los que tratan temas como la combustión y el bio-combustible (cluster 1) que en la última parte del periodo de estudio tiene un bursting bastante intenso, la climatología (cluster 2), con un bursting muy intenso a principios del periodo, la transferencia de calor y el aire acondicionado (cluster 5) y, por último, el que trata sobre la biomasa (cluster 6), con un breve bursting a mediados del periodo.

6.4. Análisis de las revistas utilizadas.

¿Qué revistas son las que obtienen mejores resultados en el campo de las energías renovables a nivel mundial?

En cuanto a la producción científica de las revistas, “Energy Conversion and Management” (ECM) es la que cuenta con mayor número de documentos en el periodo, seguida de “Solar Energy Materials and Solar Cells” (SEMSC), que son, al mismo tiempo, las que mayor número de citas reciben en el periodo estudiado. “Environmental Science and Policy” es la que mayor crecimiento anual medio en citación normalizada experimenta.

En cuanto al impacto, la revista que presenta mayor crecimiento anual medio para este indicador es “Annual Review of Environment and Resources” (ARER).

En este caso y a nivel mundial, si hacemos una agrupación de las revistas según el país al que pertenecen, encontramos que 14 de las mismas son de Países Bajos, 7 de Estados Unidos, 2 de Reino Unido y 1 australiana. Las revistas donde más



trabajos se publican y que a su vez mayor impacto alcanzan en el periodo estudiado son de los Países Bajos.

¿Cuál es el resultado de los grupos de revistas normalizando algunos indicadores científicos?

- En el primer grupo están las revistas que con una gran producción científica y las que obtienen alto impacto. Todas las revistas de este grupo son de Países Bajos. El prototipo de revista en este grupo es “Solar Energy Materials and Solar Cells”.
- Al igual que el grupo anterior, todas las revistas son de Países Bajos y en este segundo grupo están las revistas de gran volumen pero impacto inferior a la media, siendo “Renewable Energy” el prototipo de este grupo.
- El tercer grupo lo forman revistas con gran producción, pero impacto muy bajo. En este grupo las dos revistas son de estadounidenses. En este grupo el prototipo es “International Solar Energy Conference”.
- En el cuarto grupo se encuentran las revistas con un volumen de publicación bajo y escaso impacto. Predominan las revistas británicas y estadounidenses. El prototipo de este grupo es “International Journal of Sustainable Development and Planning”.
- El quinto grupo está formado por revistas con un volumen de publicación pequeño, pero con un alto impacto. De las cinco revistas de este grupo, tres son de Países Bajos, una estadounidense y una británica. El prototipo de este grupo es “Environmental Research Letters”.



El hecho de que todas las revistas de los dos primeros grupos sean sólo de Países Bajos, no está directamente relacionado con la producción científica de este país en el área de Energías Renovables, sino con la base, de los mayores Publisher a nivel mundial. De hecho, esto hace que el 40% de las revistas de esta área sean de Países Bajos.

A nivel particular y en el caso concreto de Europa, hay 45 revistas que tienen todos los datos y para estas se ha utilizado el mismo procedimiento de clustering, y hemos obtenido los siguientes grupos:

- El grupo 1 formado por revistas con un número medio de documentos pequeño, y el mayor impacto, principalmente adscritas a otras áreas.
- El grupo 2 formado por revistas también con un número medio de documentos pequeño y bajo impacto.
- Y el último, el grupo 3 formado por revistas más especializadas del área, que tienen la media de documentos un impacto también bastante alto.

¿Cuáles son las revistas científicas elegidas por los científicos españoles para publicar sus trabajos?

La mayoría de las revistas utilizadas para publicar por los científicos españoles del área de estudio son del primer cuartil, seguidas de las del segundo a gran distancia de las revistas del tercer y cuarto cuartil. Gran parte de ellas figuran como holandesas por pertenecer al grupo Elsevier. En concreto las dos revistas más utilizadas a gran distancia del resto son “Renewable Energy” y “Solar Energy”. Esto también da una idea de la fortaleza del impulso de las energías renovables y en concreto de la solar dentro del área de estudio.



Las revistas que mayor número de citas obtienen en el periodo estudiado son “Solar Energy Materials and Solar Cells” y “Energy Conversion and Management”.

¿Qué grupos de revistas utilizadas por los españoles podemos establecer según algunos de los indicadores normalizados?

El grupo 1 formado por revistas con alto número de documentos, de citas y mayor impacto. Destaca “Solar Energy Materials and Solar Cells”. (Todas las revistas son de Países Bajos).

El grupo 2 se caracteriza por contar con revistas que tienen un número de documentos medio por revista, altos valores en citas pero un bajo impacto. El prototipo de este grupo es “Renewable Energy”. (Todas las revistas son de Países Bajos).

El grupo 3 incluye revista con un número de documentos medio por revista pequeño, pocas citas y escaso impacto. Destaca “Problemy Ekorożwoju”. (En este grupo predominan las revistas británicas y estadounidenses).

El grupo 4 formado por revistas con un número de documentos por revista pequeño, número medio de citas, pero con un mayor SJR. El prototipo de este grupo es “Environmental Research Letters”. (Tres de las revistas de este grupo son de Países Bajos, una estadounidense y una británica).

6.5. Qué revela nuestro análisis sobre las Energías Renovables.

Nuestro estudio muestra que la producción científica mundial en el campo de las energías renovables está creciendo de manera acelerada por la necesidad actual de hacer frente a los problemas de la sostenibilidad energética. Existen países que



no son científicamente muy poderosos, y consiguen ocupar posiciones muy destacadas a escala mundial.

Europa está poniendo mayor esfuerzo en investigación en este campo que el mundo en su conjunto. La producción mundial y europea se duplicó durante el período de estudio. Europa está muy bien posicionada respecto al mundo en este campo científico, tanto en producción, como en impacto, representa el 40% de la producción mundial y su impacto en este ámbito (medida por la citación normalizada) está por encima del valor global. Además creció en más del 10% en el período.

A nivel mundial, España ocupa la posición 11 en cuanto a su producción, encontrándose dentro del grupo de países emergentes con una gran producción, gran impacto y gran especialización temática. Dentro de Europa, España ocupa la posición sexta y se encuentra dentro del grupo de países avanzados con altos valores de producción y citación normalizada. Cuenta con una producción alta y creciente, llegando a cuadruplicarse en el periodo estudiado. Esto se debe a que también se produce un incremento de la citación normalizada. Ha realizado un esfuerzo en esta área superior al promedio mundial. La tasa de colaboración en el área de energías renovables no es muy alta. Los documentos con colaboración tanto nacional como internacional es baja y los trabajos sin colaboración suponen cerca del 50%. España se encuentra dentro del grupo de países sobresalientes, ya que cuenta con una gran producción científica global con alta especialización temática.

En el periodo de estudio solo 34 instituciones españolas publican más de un trabajo al año. Más del 80% de las mismas son universidades y un 12% son instituciones del sector público.



Los científicos españoles eligen para publicar sus trabajos las revistas del primer cuartil. Gran parte de ellas son holandesas por pertenecer al grupo Elsevier.

Realizamos un análisis temático de Energía Renovable basado en palabras clave para revelar los patrones en el campo de esta disciplina y se muestra que los temas más tratados tratan sobre la energía solar, energía eólica, radiación solar, la eficiencia energética, etc.

Temáticamente hay un grupo importante de trabajos que trata sobre la energía solar, la eficiencia, etc. Otro tema muy tratado es el relacionado con temas generales como son las políticas, el efecto socio-económico, células fotovoltaicas, etc. En tercer lugar está una temática bastante especializada como es la que trata sobre temas de viento y mareas. El siguiente grupo de trabajos es el que trata sobre temas de la climatología, y por último está el grupo que trata temas sobre la combustión, el diesel, la biomasa, etc.

Más específicamente existe un grupo donde los temas mejor definidos tratan sobre la combustión y el bio-combustible.



7. Perspectivas de investigación futura.

Las líneas principales perspectivas de investigación futura con respecto a los temas de investigación y objetivos planteados son:

- Ampliar el periodo de estudio tanto de países, instituciones como de revistas científicas, para así poder observar la evolución histórica y situación actual tanto de Europa como del Mundo.
- Otra de las líneas futuras es ampliar el número de revistas analizadas que traten sobre el tema en cuestión, para observar si hay diferencia entre las palabras claves utilizadas en unas revistas u otras de la misma categoría temática.
- Por último, efectuar un estudio más exhaustivo de la disciplina y dar un paso más allá que la mera presentación de datos bibliométricos, lo que podrá revelar aspectos muy interesantes sobre las líneas de investigación en Energías Renovables.



8. Rerefencias.

11th International Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics (2007), CSIC, Madrid.

Araújo-Ruiz, J.A., Arencibia-Jorge, R. (2002). Informetría, bibliometría y cienciometría: aspectos teórico-prácticos.

Archambault, É., Campbell, D., Gingras, Y., Larivière, V. (2009). Comparing Bibliometric Statistics Obtained from the Web of Science and Scopus. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60 (7), 1320-1326.

Bassecoulard, E., Zitt, M. (2004). Patents and publications. In: Moed, H.F., Glänzel, W., and Schmoch, U. (2004) (eds.). *Handbook of quantitative science and technology research. The use of publication and patent statistics in studies of S&T systems*. Dordrecht (the Netherlands): Kluwer Academic Publishers, 665–694.

Bellavista, J., Guardiola, E., Méndez, A., Bordons, M. (1997). Evaluación de la investigación. Madrid: CIS.

Bence, V., Oppenheim C. (2004). The influence of peer review on the research assessment exercise. *Journal of Information Science*, 30 (4), 347-68.

Bernal, J. D. (1939). *The Social Function of Science*. Londres: Routledge.

Birkett, N. J. (1994). The Review-process for applied-research grant proposals: suggestion for revision. *Canadian Medical Association Journal*, 150, 1227-1229.



Bollen, J., Van de Sompel, H., Hagberg, A., Chute, R. (2009). A principal component analysis of 39 scientific impact measures, *PLoS ONE* 4 (6), e6022. doi:10.1371/journal.pone.0006022. [Consulta: 10 junio 2007]

Bordons, M., Zulueta, M. A. (1999). Evaluación de la actividad científica a través de indicadores bibliométricos. *Revista Española De Cardiología*, 52 (10), 790-800.

Boyce, B. R., Kraft. D. H. (1985). Principles and theories in Information Science. *Annual Review of Information Science and Technology*, 20, 153-178.

Bradford, S. C. (1934). Sources of information on specific subjects. *Engineering. A Illustrated Weekly Journal*, 137 (3550), 85-86.

Braun, T., Glänzel, W., Schubert, A. (2000). How Balanced is the Science Citation Index's Journal Coverage? A preliminary Overview of Macrolevel Statistical Data, p. 251-277. En: Cronin, Blaise y Helen Barsky Atkins (eds.) *The Web of Knowledge – A Festschrift in Honor of Eugene Garfield*. Canada: American Society of Information Science.

Broome, M. E. (2006). Editorial: Peer Review: Evolution or Revolution?. *Nursing Outlook*, 54 (2), 61-62.

Cami, J. (1995). Conflicto de intereses e investigación clínica. *Medicina Clinica*, 105, 174-179.

Carpenter, M.P., Gibb F., Harris, M., Irvine, J., Martin, B.R., Narin, F. (1988). Bibliometric Profiles for British Academic-Institutions - an Experiment to Develop Research Output Indicators. *Scientometrics*, 14 (3-4), 213-233.



Carpenter, M., Narin, F. (1983). Validation study: patent citations as indicators of science and foreign dependence. *World Patent Information*, 5, 180–185.

Carpintero, H., Tortosa, F. (1990). Aplicaciones de la metodología bibliométrica a la historia de la Psicología: una visión de conjunto. En: Tortosa, F., Mayor, L. y Carpintero, H. (Eds.). *La Psicología contemporánea desde la Historiografía*. Barcelona: PPU.

Celiktas, M. S., Sevgili, T., Kocar, G. (2009). A snapshot of renewable energy research in Turkey. *Renewable Energy*, 34, 1479–1486.

Chen, Y.H., Chen, C.Y., Lee, S.C. (2010). Technology forecasting of new clean energy: The example of hydrogen energy and fuel cell. *African Journal of Business Management*, 4 (7), 1372-1380.

Chinchilla-Rodríguez, Z. (2005). Análisis del Dominio Científico Español: 1995-2002 (ISI, Web of Science). Tesis Doctoral. Universidad de Granada.

Chubin, D. E. (1987). Research Evaluation and the Generation of Big Science Policy. *Science Communication*, 9 (2), 254-277.

Codina, L. (2005). Scopus: el mayor navegador científico de la web. *El Profesional de la Información*, 4, 44–49.

Cole, F. J., Eales, N. B. (1917). The history of comparative anatomy. Part: 1: a statistical analysis of the literature. *Science. Progress*, 11, 578-596.



Corera-Álvarez, E. (2007). Análisis del Dominio Científico de las Matemáticas en España: 1990-2004 (ISI, Web of Science). Tesis Doctoral. Universidad de Granada.

Davyt, A., & Velho, L. (1999). Excelencia científica: la construcción de la ciencia a través de su evaluación. La Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC), Uruguay. *Redes: Revista De Estudios Sociales De La Ciencia*, 6 (13), 13-48.

Ding, Y., Chowdhury, G.G., Foo, S. (2001). Bibliometric cartography of information retrieval research by using co-word analysis. *Information Processing and Management*, 37 (6), 817-842.

Espinosa-Calvo, M.E. (2009). Análisis del Dominio Científico de Ciencia de los Materiales (Scopus, 1996-2007). Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura.

Faba-Pérez, C., Guerrero-Bote, V.P., Moya-Anegón, F. (2004). Fundamentos y técnicas cibernéticas: modelos cuantitativos de análisis. Junta de Extremadura, Mérida. Serie Sociedad de la Información, 18, 216.

Filippo, D., Fernández, M.T. (2002). Bibliometría: Importancia de los indicadores bibliométricos. En: Red iberoamericana de indicadores de ciencia y tecnología. El estado de la ciencia: principales indicadores de ciencia y tecnología iberoamericanos / interamericanos. Buenos Aires: RICYT.

Fu, H.Z., Ho, Y.S., Sui, Y.M., Li, Z.S. (2010). A bibliometric analysis of solid waste research during the period 1993-2008. *Waste Management*, 30 (12), 2410-2417.



Garfield, E. (1955). Citation Indexes for Science. *Science*, 122 (3159), 108-111 [Reimpreso en: *Essays of an Information Scientist*, 1983, 6, 468-471].

Garfield, E. (1972). Citation Analysis as a tool in journal evaluation. *Science*, 178 (40-60), 471-479.

Garfield, E. (1978). Launching the ISI Atlas of Science: for the new year, a new generation of reviews. *Current Contents*, 1, 3-8.

Garret-Jones, S., Aylward, D. (2000). Some recent development in the evaluation of university research outcomes in the United Kingdom. *Research Evaluation*, 8 (1), 69-75.

Girvan, M., Newman, M.E.J. (2002). Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99 (12), 7821-7826.

Godin, B. (2000). Outline for a History of Science Measurement. *Science, Technology, & Human Values*, 27 (1), 3-27. Montreal, Canadá. Disponible en: http://www.csiic.ca/PDF/Godin_1.pdf [Consulta: 15 septiembre 2007].

Godin, B. (2001). What's So Difficult About International Statistics? UNESCO and the Measurement of Scientific and Technological Activities. Montreal, Canadá. Project of the History and Sociology of S&T Statistics. Disponible en: http://www.csiic.ca/PDF/Godin_13.pdf [Consulta: 6 septiembre 2011]

Gómez, I., Bordons, M. (1996). Limitaciones en el uso de los indicadores bibliométricos para la evaluación científica. *Política Científica*, 46, 21-26.



Gómez-Crisóstomo, M.R. (2011). Estudio y comparación de la Web of Science y Scopus (1996-2007). Tesis doctoral. Universidad de Extremadura.

González-Pereira, B., Guerrero-Bote, V.P., Moya-Anegón, F. (2010). A new approach to the metric of journals' scientific prestige: The SJR indicator. *Journal of Informetrics*, 4, 379-391.

Goodman, D., Deis, L. F. (2005). Scopus vs WoS: additional review in LJ. En: The Charleston advisor, 2005. Disponible en: http://www.charlestonco.com/feedback/view_letter.cfm?id=35 [Consulta: 15 octubre 2008].

Gross, P.L.K., Gross, E. M. (1927). College Libraries and Chemical Education. *Science*, 66, 385-389.

Guerrero-Bote, V.P., Moya-Anegón, F. (2012). A further step forward in measuring journals' scientific prestige: The SJR2 indicator. *Journal of Informetrics*, 6 (4), 674-688.

Guerrero-Bote, V., Moya-Anegón, F., Reyes Barragán, MJ., Zapico-Alonso, F., Faba, C., Chinchilla-Rodríguez, Z., Corera-Álvarez, E., Muñoz-Fernández, F. J., Vargas-Quesada, B., Espinosa-Calvo, M.E., González-Suárez, B., Gómez-Crisóstomo, M.R. (2006). Indicadores Científicos de Extremadura (WOS 1990-2002). Badajoz: Junta de Extremadura. Consejería de Infraestructuras y Desarrollo Tecnológico. Dirección General de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación.

Hane, P. (2004). Elsevier announces Scopus service. *Information today*. Disponible en: <http://newsbreaks.infotoday.com/nbreader.asp?ArticleID=16494>. [Consulta: 9 julio 2011]



Hassan, E. (2005). The evolution of the knowledge structure of fuel cells. *Scientometrics*, 62 (2), 223–238.

Hernon, P., Schwartz, C. (2006). Peer review revisited. *Library & Information Science Research*, 28 (1), 1-3.

Hicks, D., Wouters, P., Waltman, L., De Rijcke, S., Rafols, I. (2015). Bibliometrics: The Leiden Manifesto for research metrics. *Nature*, 520 (7548), 429-431.

Jacso, P. (2004). Scopus, Péter's Digital Reference Shelf. September 2004. Disponible en: <http://www.galegroup.com/servlet/HTMLFileServlet?imprint=9999®ion=7&fileName=reference/archive/200409/scopus.html>. [Consulta: 28 septiembre 2011]

Kajikawa, Y., Takeda, Y. (2008). Structure of research on biomass and bio-fuels: A citation-based approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 75 (9), 1349-1359.

Kajikawa, Y., Yoshikawa, J., Takeda, Y., Matsushima, K. (2008). Tracking emerging technologies in energy research: Toward a roadmap for sustainable energy. *Technological Forecasting and Social Change*, 75, 771-782.

King, J. (1987). A review of bibliometric and other science indicators and their role in research evaluation. *Journal of Information Science*, 13 (5), 261-276.

King, David A. (2004). The scientific impact of nations: what different get for their research spending. *Nature*, vol. 430, 15 de july, 311-316.



Laguardia, C. (2005). E-views and reviews: Scopus vs. Web of Science. *Library Journal*, 15. Disponible en: <http://www.libraryjournal.com/article/CA491154.html> [Consulta: 26 septiembre 2011]

Langfeldt, L. (2004). Expert panels evaluating research: decision-making and sources of bias. *Research Evaluation*, 13 (1), 51-62.

Lara, A. (1983). Precisiones en torno a la delimitación conceptual entre Cienciología, Cienciometría, Informetría, Bibliometría y Sociometría documentaria. *Revista Española de Documentación Científica*, 6 (4), 333-337.

Licha, I. (1998). Indicadores de gestión de la investigación y desarrollo tecnológico. En: *Indicadores de ciencia y tecnología: estado del arte y perspectivas*, Eduardo Martínez, Mario Albornoz (ed.). Caracas: UNESCO, 53-78.

Liu, X.J., Zhang, L.A., Hong, S. (2011). Global biodiversity research during 1900-2009: A bibliometric analysis. *Biodiversity and Conservation*, 20 (4), 807-826.

Llana-Martín, A., Barredo-Sobrino, M.P. (2003). Estudio bibliométrico de la producción científica de los departamentos básicos de la facultad de medicina de la universidad autónoma de Madrid. (1990-2000). Universidad Autónoma De Madrid, 2003.

Lock, S. (1985). *A difficult balance: editorial peer review in medicine*. Londres: The Nuffeld Provincial Hospital Trust.



López-Illescas, C., Moya-Anegón, F., Moed, H.F. (2008). The actual citation impact of European oncological research. *European Journal of Cancer*, 44, 228–236.

Lotka, A. J. (1926). The frequency distribution of scientific productivity. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 16 (12), 317-323.

Luukkonen, T. (1990). Citation in the rhetorical reward and communication systems of sciences. *Acta Universitatis Tamperensis, Series A*, 285, 297-319.

Macias-Chapula, C. A. (2001). Papel de la informetría y de la cienciometría y su perspectiva nacional e internacional. *ACIMED: Revista cubana de los profesionales de la información en salud*, 9 (4), 35-41.

Maltrás Barba, B. (2003). Los indicadores bibliométricos: fundamentos y aplicación al análisis de la ciencia. Asturias: Trea.

Maltrás-Barba, B., Quintanilla, M. (1995). Indicadores de la producción científica. España 1986-1991. Madrid: CSIC.

Marco-Heredia, M. (2007). ¿Qué es la bibliometría? Su papel dentro de la ciencia de la ciencia. Disponible en: http://mural.uv.es/marhema3/apuntes/int_bibliometria/Tema_2.pdf [Consulta: 3 julio 2011]

Martin, B. R. (1996). The use of multiple indicators in the assesment of basic research. *Scientometrics*, 36 (3), 343-62.

Martin, B. R., Irvine, J. (1983). Assessing basic research: some partial indicators of scientific progress in radio astronomy. *Research Policy*, 12, 61-90.



Martínez, E., Albornoz, M. (1998). Indicadores de ciencia y tecnología: balance y perspectivas. En E. Martínez y M. Albornoz (Ed.): Indicadores de ciencia y tecnología: estado del arte y perspectivas. Caracas: Nueva Sociedad, 9-21.

McGrath (1989). (What bibliometricians, scientometricians and informetricians study; a typology for definition and classification; topics for discussion. En: International Conference on Bibliometrics, Scientometrics and Informetrics, 1989. Ontario: Second Conference... Ontario: The University of Western Ontario.

Merton, R. K. (1968). The Matthew effect in science. *Science*, 159 (3810), 56-63.

Moravcsik, M. J. (1989). ¿Cómo evaluar la ciencia y a los científicos?. Traducción del inglés José Ramón Pérez Álvarez-Osorio. *Revista Española de Documentación Científica*, 12 (3), 313-325.

Moya-Anegón, F., Carretero-Guerra, R., Sánchez-Malo, F., Solís-Cabrera, F. M., Muñoz-Fernández, F.J., Chinchilla-Rodríguez, Z., Corera-Álvarez, E., González-Molina, A., Herrero-Solana, V., Vargas-Quesada, B. (2006a). Indicadores Científicos de la Producción Andaluza en Biomedicina y Ciencias de la Salud (ISI, Web of Science 2003-2004). Sevilla: Junta de Andalucía. Consejería de Salud.

Moya-Anegón, F., Chinchilla-Rodríguez, Z., Corera-Álvarez, E., Gómez-Crisóstomo, R., González-Molina, A., Hassan-Montero, Y., Vargas-Quesada, B. (2009). Indicadores Bibliométricos de la Actividad Científica Española: 2007. Madrid: FECYT.

Moya-Anegón, F., Chinchilla-Rodríguez, Z., Corera-Álvarez, E., Gómez-Crisóstomo, M.R., González-Molina, A., Muñoz-Fernández, F.J., Vargas-



Quesada, B. (2005a). Indicadores bibliométricos de la actividad científica española (ISI, Web of Science, 1990-2004). Madrid: FECYT.

Moya-Anegón, F., Chinchilla-Rodríguez, Z., Corera-Álvarez, E., González-Molina, A., Herrero-Solana, V., Muñoz-Fernández, F.J., Vargas-Quesada, B., (2006b). Resultados de Investigación Científica con Visibilidad Internacional de la Universidad de Granada. Granada: Universidad de Granada.

Moya-Anegón, F., Chinchilla-Rodríguez, Z., Corera-Álvarez, E., Herrero-Solana, V., Muñoz-Fernández, F., Navarrete-Cortés, J., Vargas-Quesada, B. (2005c). Indicadores Científicos de Galicia: ISI, Web of Science, 1990-2003. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia.

Moya-Anegón, F., Chinchilla-Rodríguez, Z., Corera-Álvarez, E., Herrero-Solana, V., Muñoz-Fernández, F., Vargas-Quesada, B. (2005b). Indicadores Científicos de Andalucía: ISI, Web of Science, 2002. Granada: Programa de Divulgación Científica de Andalucía. Secretaría General de Universidades.

Moya-Anegón, F., Chinchilla-Rodríguez, Z., Corera-Álvarez, E., Muñoz-Fernández, F., Vargas-Quesada, B., Herrero-Solana, V. (2004a). Indicadores Bibliométricos de la Actividad Científica Española: ISI, Web of Science, 1998-2002. Madrid: FECYT.

Moya-Anegón, F., Chinchilla-Rodríguez, Z., Vargas-Quesada, B., Corera-Álvarez, E., Muñoz-Fernández, F.J., González-Molina, A., Herrero-Solana, V. (2007). Coverage analysis of Scopus: A journal metric approach. *Scientometrics*, 73 (1), 53-78.



Moya-Anegón, F., Jiménez-Contreras, E., De La Moneda-Corrochano, M. (1998). Research fronts in library and information science in Spain (1985-1994). *Scientometrics*, 42 (2), 229-246.

Moya-Anegón, F., Solís-Cabrera, F., Chinchilla-Rodríguez, Z., Corera-Álvarez, E., Herrero-Solana, V., Muñoz-Fernández, F., Navarrete-Cortés, J., Vargas-Quesada, B. (2003). Indicadores Científicos de Andalucía: ISI, Web of Science, 1998-2001. Granada: Junta de Andalucía.

Moya-Anegón, F., Solís-Cabrera, F.M., Sánchez-Malo, F., Corera-Álvarez, E., Chinchilla-Rodríguez, Z., Hassan-Montero, Y., Herrero-Solana, V., Muñoz-Fernández, F.J., Navarrete-Cortés, J., Ruiz-de-Osma-Delatas, E., Vargas-Quesada, B. (2004b). Indicadores Científicos de la Producción Andaluza en Biomedicina y Ciencias de la Salud (ISI, Web of Science 1990-2002). Sevilla. Consejería de Salud. Junta de Andalucía.

Nacke, O. (1979). Informatie: ein never name für eine disciplin. *Nachr Dokum*, 30 (6), 429-433.

Neff, M.W., Corley, E.A. (2009). 35 years and 160,000 articles: A bibliometric exploration of the evolution of ecology. *Scientometrics*, 80 (3), 657-682.

Noyons, E.C.M., Buter, R.K., van Raan, A.F.J., Schmoch, U., Heinze, T., Hinze, S., and Rangnow, R. (2003). Mapping excellence in science and technology across Europe. Nanoscience and nanotechnology. Leiden: CWTS.

OCDE (1986). OECD science and technology indicators: n. 2, R&D, Invention and Competitiveness, Paris.



OCDE (1994). Using patent data as science and technology indicators, Patent Manual 1994, The measurement of Scientific and technological activities, OCDE/GD (94), 114. Paris.

Okubo, Y. (1997). Bibliometric indicators and analysis of research systems, methods and examples, Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, *STI Working Papers 1997/1*.

Olmeda-Gómez, C., Ortiz-Repiso-Jiménez, V., Aragón-González, I., Oralle-Perandones, M.A., Perianes-Rodríguez, A. (2006a). Indicadores científicos de Madrid (ISI, Web of Science, 1990-2003). Madrid: Comunidad de Madrid. Dirección General de Universidades e Investigación.

Olmeda-Gómez, C., Perianes-Rodríguez, A., Ovalle-Perandones, M.A., Gallardo-Martín, A. (2006b). La investigación en colaboración de las universidades españolas (2000-2004). Madrid: Comunidad de Madrid. Dirección General de Universidades.

Peña-Rey, I. (2004). Estudio bibliométrico de la producción científica sobre dioxinas a través de las bases de datos Pubmed e I.M.E. (1997-2003). Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.

Pérez-Antón, M.A. (2006). Usos y abusos de la cienciometría, Centro de Investigación y de estudios avanzados. *CINVESTAV*, 1 (25).

Pickering, B. (2004). Elsevier prepares Scopus to rival ISI Web of science. In: *Information world review*.

Price, D. J. S. (1963). Little Science, Big Science. New York: Columbia University Press.



Price, D. J. S. (1965). Network of scientific papers. *Science*, 149, 5510-5515.

Price, D. J. S. (1970). Statement on National Science Policy Before Subcommittee on Science, Research, and development of the Committee on Science and Astronautics. Washington: Government Printing Office, 23, 649-652.

Price, D. J. S. (1973). Hacia una ciencia de la ciencia. Barcelona: Ariel. Traducción de Little science, big science, Columbia, 1963.

Price, D. J. S. (1976). A general theory of bibliometrics and other cumulative advantage process. *Journal of the American Society for Information Science*, 27 (5), 292-306.

Price, D. J. S. (1978). Science since Babylon. New Haven, Londres: Yale University Press. Edición príncipe 1961.

Price, D. J. S. (1986). Little Science, Big Science and Beyond. Columbia: University Press.

Pritchard, A. (1969). Statistical Bibliography or Bibliometrics?. *Journal of Documentation*, 25 (4), 348-349.

Romero-Hiller, G. (2002). Indicadores de Ciencia y Tecnología para la toma de decisiones y la formulación de Políticas Públicas. Caso: Observatorio Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (OCTI). Ministerio de Ciencia y Tecnología. Venezuela. Disponible en: <http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/eventos/index/assoc/HASH3890.dir/doc.pdf>. [Consulta: 09 septiembre 2011]



Sánchez, F. (1995). Energías Renovables, situación y perspectivas. En CIEMAT: Energía Renovables, 11-19.

Sancho, R. (1990). Indicadores bibliométricos utilizados en la evaluación de la ciencia y la tecnología. Revisión bibliográfica. *Revista Española de Documentación Científica*, 13 (3-4), 842-865.

Sancho, R. (2001). Medición de las actividades de ciencia y tecnología. Estadísticas e indicadores empleados. *Revista Española de Documentación Científica*, 24 (4), 383-405.

Sancho, R. (2002). Indicadores de los sistemas de ciencia, tecnología e innovación. *Economía Industrial*, n. 343, p. 97-109.

Sanz-Méndez, L. (2004). Evaluación de la investigación y sistema de ciencia. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) Unidad de Políticas Comparadas. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/1605/1/dt-0407.pdf> [Consulta: 5 septiembre de 2011]

Scimago Institutions Rankings. available online at <http://www.scimagoir.com/methodology.php> 2010. Accessed 5 June.

Simon, C., Batchman, T., Taylor, C. (2010). Introduction to renewable energy: An interdisciplinary approach. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, 16 p.

Small, H. (1987). The Significance of bibliographic references. *Scientometrics*, 12 (5-6), 339-341.



Smith, R. (1988). Problems with peer review and alternatives. *BMJ*, 296, 774-777.

Spinak, E. (1996). Diccionario enciclopédico de Bibliometría, Cienciometría e Informetría. Caracas: UNESCO.

Spinak, E. (1997). Indicadores cientiométricos. Disponible en: http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol9_s_01/sci07100.pdf [Consulta: 23 septiembre 2011]

Spinak, E. (2001). Indicadores cientiométricos. *ACIMED*, 9 (4), 16-18.

Suk, F.M., Lien, G.S., Yu, T.C., Ho, Y.S. (2011). Global trends in *Helicobacter pylori* research from 1991 to 2008 analyzed with the Science Citation Index Expanded. *European Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 23 (4), 295-301.

Tague-Sutcliffe, J. (1992). An introduction to Informetricis. *Information Processing Management*, 28 (1), 1-3.

Tanakaa, H., Ho, Y.S. (2011). Global trends and performances of desalination research. *Desalination and Water Treatment*, 25 (1-3), 1-12.

Thomas, S.M. (1992). The evaluation of plant biomass research: a case study of the problems inherent in bibliometric indicators. *Scientometrics*, 23 (1), 149–167.

Tijssen, R.J.W. (2004). Measuring and evaluating science–technology connections and interactions. In: Moed, H.F., Glänzel, W., and Schmoch, U. (2004) (eds.). *Handbook of quantitative science and technology research. The*



use of publication and patent statistics in studies of S&T systems. Dordrecht (the Netherlands): Kluwer Academic Publishers, 695–716.

Truffer I. (2002). Evaluación de las actividades científico-tecnológicas a través de indicadores. [en Línea] *Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 24, 13-34 Disponible en:

http://www.uner.edu.ar/06_investigacion/revistacdyt/articulos/descargas/cdt24_truffer.htm. [Consulta: 2 septiembre 2011].

Tsay, M. (2008). A bibliometric analysis of hydrogen energy literature, 1965–2005. *Scientometrics*, 75 (3), 421–438.

Uzun, A. (2002). National patterns of research output and priorities in renewable energy. *Enegy Policy*, 30, 131-136.

Van Raan, A. F. J. (1996). Advanced bibliometric method as quantitative core or peer review based evaluation and foresight exercises. *Scientometrics*, 36 (3), 397-420.

Villar, A. (2003). La evaluación de la investigación en economía. *Revista valenciana de economía y hacienda*, 8, 97-133.

Villaveces, J.L., Orozco, L.A., Olaya, D.L., Chavarro, D., Suárez, E. (2004). ¿Cómo medir el impacto de las políticas de ciencia y tecnología?. Observatorio Colombiano de ciencia y tecnología. Colombia. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/cts/v2n4/v2n4a07.pdf>. [Consulta: 20 septiembre 2008]

Wood, M., Robert, M., Howell, B. (2004). The reliability of peer reviews of papers on information systems. *Journal of Information Science*, 30 (1), 2-11.



Woon, W.L., Henschel, A., Madnick, S. (2009). A Framework for technology forecasting and visualization. *International Conference on Innovations in Information Technology, IIT '09*, 155-159.

Zipf, G. K. (1949). Human behaviour and the principle of least effort. Cambridge (Mass): Addison Wesley Press.

Parte II: Artículos



9. Papers.

9.1. Analysis of Europe's scientific production on renewable energies.

9.2. World scientific production on renewable energy, sustainability and the environment.

9.3. Co-word based thematic analysis of renewable energy (1990–2010).

9.4. Análisis de la producción científica española en energías renovables, sostenibilidad y medio ambiente (Scopus, 2003-2009) en el contexto mundial.



ARTÍCULO 1:

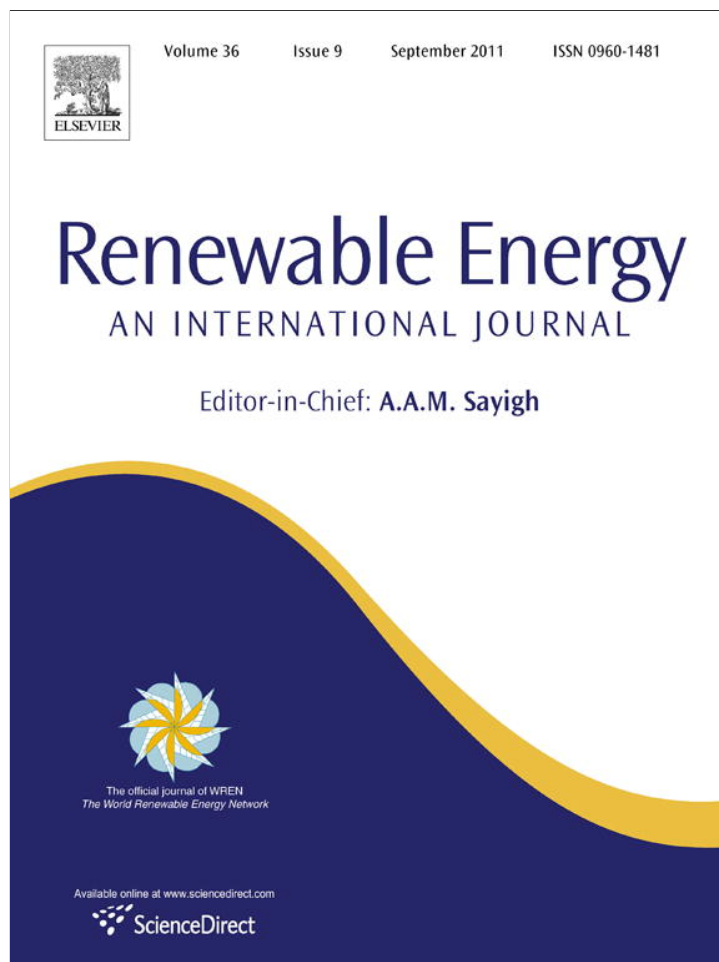
9.1. Analysis of Europe's scientific production on renewable energies.

Romo-Fernández, L.M, López-Pujalte, C., Guerrero-Bote, V.P. and Moya-Anegón, F.

Accepted in:

Renewable Energy

Provided for non-commercial research and education use.
Not for reproduction, distribution or commercial use.



This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

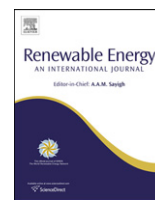
In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>



Contents lists available at ScienceDirect

Renewable Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/renene

Analysis of Europe's scientific production on renewable energies

Luz M. Romo-Fernández^a, Cristina López-Pujalte^a, Vicente P. Guerrero Bote^{a,*}, Félix Moya-Anegón^b^a Department of Information and Communication, University of Extremadura, SClmago Group, Spain^b CSIC, CCHS, IPP, SClmago Group, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 December 2010

Accepted 1 February 2011

Available online 3 March 2011

Keywords:

Renewable energy

Bibliometrics

Europe

Statistics & numerical data

Research support

ABSTRACT

An overview is given of research in the major countries of Europe in the area of renewable energies. The analysis used the Scopus (Elsevier) database of scientific literature, calculating bibliometric indices (primary production, average citations per document, percentage variation, SJR, etc.) for the geographical domain of Europe during the period 2002–2007. The aim of the study is to supplement previous works on the subject which have mostly been limited to a particular type of energy without addressing the area as a whole, as well as to expand their methodological approaches in both the data retrieval strategy and the calculation of indices. The results show Europe to be well positioned globally in this scientific field – in production, in citations, and in impact.

© 2011 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The science and technology of sustainable and renewable energies are indispensable for the future of our economy and society. There has been a major growth in research effort to advance the development of these energy sources [1]. However, the trends in renewable energy systems have received attention in only a few, but nevertheless interesting, scientometric studies [1–7]. These studies have given a first idea of progress in science and technology in this field [8], and we shall briefly discuss them in the following paragraphs.

Thomas [2] evaluates the work of research groups in the field of biomass, considering areas outside the U.S. and the E.E.C. Two key elements are considered: the measure of scientific productivity, and an examination of the factors that affect the functioning of research.

Uzun [3] compares the research results and priorities of 25 countries in renewable energy for the periods 1996–1997 and 1998–1999, using as measures the numbers of publications and their increase, and the research priority index.

Hassan [4], recognizing the part played by science and technology in the development of fuel cells, characterizes the evolution of the structure of these cells in the 1990s on the basis of patent and scientific publication data.

Tsay [5] explores the characteristics of the literature on hydrogen energy from 1965 to 2005 using the Science Citation

Index Expanded. The results showed the hydrogen energy literature to have grown exponentially in the last decade considered, with an annual growth rate of around 18%. The countries at the forefront of production on the subject were the USA, Japan, and China with 25.8%, 14.9%, and 7.7% of the total, respectively.

Kajikawa [1] perform a network analysis of the citations of scientific publications on renewable energy to shed light on the current structure of research in this domain. The results confirmed that the fastest growing areas in research in this field are those related to fuel cells and solar cells.

Kajikawa [6] analyze the sub-areas of biomass and biofuels which have attracted increasing interest as forms of sustainable energy. They perform a network analysis of the citations of scientific papers, using clustering techniques. The results showed that, in research on biomass and biofuels, the fastest growing areas are hydrogen and biofuel production.

Finally, Celiktas [7] consider the trends of research in renewable energy over a long period (1980–2008), but focusing only on Turkey. They found publications on biomass and conversion systems, as well as on solar energy systems, to predominate. They also noted the rapid growth of the numbers of publications and citations over the last decade of their study, with more than half of all the papers having been published in the last four years.

In the present work, we shall analyze scientometrically the scientific production of the interdisciplinary field of “Renewable Energy, Sustainability and the Environment” in the Scopus database, considering the European geographical domain, and the period 2002–2007. The aim is to facilitate understanding of the evolution of emerging trends in renewable energy in that domain.

* Corresponding author.

E-mail address: guerrero@unex.es (V.P. Guerrero Bote).

2. Material and methods

It is well known that not all publications have the same value to scientists. While it is difficult to mark a clear distinction between publications that are of a certain level and those that are not, the broad consensus is to consider those to be found in the major bibliographic databases (principally, the Web of Science and Scopus) as the publications that are important in each subject area.

In November 2004 [9,10], the largest multidisciplinary scientific bibliographic database on the market, Scopus, was made available with more than 17,000 journals. Despite its short time in the market, this product has already been the object of several studies addressing its characterization and analysis [11–13].

In the present work, to delimit the field of renewable energy, we first selected all those documents published in journals included in the subject area of “Renewable Energy, Sustainability and the Environment” in Scopus. This first group we denominated “Articles on Renewable Energy”. We then selected those documents in the database not in this first group but which met the following criteria [14,15].

- (a) At least 10% of the document’s references were published in journals of the Renewable Energy subject area.
- (b) The journal in which the document was published has at least 2% of its articles meeting criterion (a).

We denominated this second group “Additional Items”. We focused mainly on those countries with a primary production (Ndocc) of at least 50 documents. The document types considered were: articles, reviews, and conference papers.

The **SJR** (Scimago Journal Rank) is an index developed by the SCImago research group¹ to represent the visibility of the journals contained in Scopus since 1996 [16,17]. It is based on the dissemination of prestige or influence from journal to journal through references. It is size-independent, and weights the citations received by the journals within a three-year window with the prestige of the citing journal.

In particular, in calculating the **average citations per document** we applied the window as follows: for articles published in 2002, citations were counted in the period 2002–2004; for articles published in 2003, citations were counted for the period 2003–2005, etc. For the last two years considered at the time of data retrieval, 2006 and 2007, production was available only until 2007, so that two- and one-year windows were used, respectively.

The **Normalized Citation** variable was calculated as the ratio of the average citations per document for each country and the global average citation per document.

The **Percentage Variation** (PV) for the study period (2002–2007) is the percentage difference of the production (number of documents) in 2007 relative to the production in 2002.

The **Subject Specialization Index** (SSI) reflects the relative activity [18] in a particular subject area determined through the level of specialization, understood as the relative effort that a community or agent devotes to a discipline or subject area. It is quantified in relative terms as the number of documents produced in a particular discipline by a given group with respect to another group. The SSI of subject area *C* for group *E* with respect to group *M* is calculated as:

$$SSI_{CE/M} = \frac{\frac{Ndocc_{CE}}{Ndocc_E}}{\frac{Ndocc_{CM}}{Ndocc_M}} = \frac{\%Ndocc_{CE}}{\%Ndocc_{CM}}$$

where

Table 1

Distribution of the “Additional Items” by specific subject area.

| Categories | Ndocc |
|---|-------|
| Energy Engineering and Power Technology | 531 |
| Condensed Matter Physics | 291 |
| Materials Science (miscellaneous) | 257 |
| Surfaces, Coatings and Films | 222 |
| Surfaces and Interfaces | 222 |
| Fuel Technology | 221 |
| Chemical Engineering (miscellaneous) | 164 |
| Environmental Engineering | 146 |
| Management, Monitoring, Policy and Law | 124 |
| Civil and Structural Engineering | 121 |
| Energy (miscellaneous) | 115 |
| Geography, Planning and Development | 105 |
| Mechanical Engineering | 100 |
| Fluid Flow and Transfer Processes | 82 |
| Control and Systems Engineering | 77 |
| Environmental Science (miscellaneous) | 76 |
| Organic Chemistry | 72 |
| Nuclear Energy and Engineering | 66 |
| Environmental Chemistry | 40 |
| Waste Management and Disposal | 34 |
| Chemistry (miscellaneous) | 32 |
| Physical and Theoretical Chemistry | 32 |
| Ecology | 30 |
| Filtration and Separation | 29 |
| Water Science and Technology | 28 |
| Electrochemistry | 27 |
| Analytical Chemistry | 24 |
| Electrical and Electronic Engineering | 24 |
| Geotechnical Engineering and Engineering Geology | 24 |
| Building and Construction | 21 |
| Development | 19 |
| Food Science | 11 |
| Atomic and Molecular Physics, and Optics | 11 |
| Ecology, Evolution, Behavior and Systematics | 10 |
| Electronic, Optical and Magnetic Materials | 10 |
| Physics and Astronomy (miscellaneous) | 10 |
| Engineering (miscellaneous) | 8 |
| Business, Management and Accounting (miscellaneous) | 8 |
| Multidisciplinary | 8 |
| Atmospheric Science | 7 |
| Plant Science | 7 |
| Architecture | 6 |
| Safety Research | 5 |
| Forestry | 5 |
| Safety, Risk, Reliability and Quality | 5 |
| Finance | 5 |
| Computational Mechanics | 4 |
| Mechanics of Materials | 4 |
| Process Chemistry and Technology | 4 |
| Pollution | 4 |
| Agronomy and Crop Science | 4 |
| Nature and Landscape Conservation | 4 |
| Industrial and Manufacturing Engineering | 4 |
| Statistical and Nonlinear Physics | 3 |
| Economics and Econometrics | 3 |
| Economic Geology | 2 |
| Global and Planetary Change | 2 |
| Management of Technology and Innovation | 2 |
| Modeling and Simulation | 1 |
| Organizational Behavior and Human Resource Management | 1 |
| Geophysics | 1 |
| Public Health, Environmental and Occupational Health | 1 |
| Computer Science Applications | 1 |
| Computational Theory and Mathematics | 1 |
| Computational Mathematics | 1 |
| Strategy and Management | 1 |
| Space and Planetary Science | 1 |
| Education | 1 |

- $Ndocc_{CE}$ is the number of documents in the field *C* in the group *E* (and analogously for $Ndocc_{CM}$);
- $Ndocc_E$ is the total number of documents of group *E* (and analogously for $Ndocc_M$);

¹ <http://www.scimagojr.com/SCImagoJournalRank.pdf>.

- %Ndocc_{CE} is the percentage of documents of group E in the field C relative to the total of that group's primary documents (and analogously for %Ndocc_{CM}).

We also used two other indicators: **production per capita** and **production relative to Gross Domestic Product (GDP)**. Population data for European countries was taken from the Eurostat website² and the United Nations databases (Undata)³, and GDP data from the World Bank⁴ and Undata.

3. Results and discussion

There were 8237 documents corresponding to the first group ("Articles on Renewable Energy") and 2086 documents corresponding to the second group ("Additional Items"), the total thus being 10,323. Table 1 gives the subject area distribution of the second group of documents.

One observes in Table 1 that the specific subject areas with most documents in the second group were Energy Engineering and Power Technology (531) and Condensed Matter Physics (291). Considering categories with at least 20 documents, one observes that many have some relation to Chemistry, Engineering, Materials Science, Energy, and Environmental Science.

As can be seen in Fig. 1, total European production increased considerably over the study period, doubling in those five years. The marked increase in 2006 may have been due to the entry into force in 2005 of the United Nations Framework Convention on Climate Change⁵. Both European and global primary production grew by over 100% from 2002 to 2007. At the beginning of the period, European production represented 40.38% of global production, and was down by about three percentage points at the end of the period.

As one observes in Table 2, the sum of the production of the first six countries accounts for 65% of total European production (and 25% of global production).

Comparing the production data obtained in the present study with those reported in an earlier work on the subject [3], one sees that two countries remain among those with the greatest production on Renewable Energy – the UK and Germany. The difference is in their position, since in our study the country with greatest production is the UK and in the earlier work it was Germany.

In terms of PV (the Percentage Variation) for the more productive countries, Turkey presents the greatest relative growth from 2002 to 2007 (304.17%), a characteristic that was highlighted by Celiktas [7]. In contrast, Germany, which is ranked third in terms of production, is the country with the lowest PV (4.52%) because it maintained a high but constant number of publications throughout the period.

Total European production in this subject area increased by an average of 15.59% annually, an increase similar to the global rate of increase (17.2%) over the same period. The annual increase peaked in 2006 at around 34% both in Europe and globally.

The countries making the greatest effort in renewable energy relative to global production were Turkey with an SSI of 4.52, and Greece with an SSI of 3.31. This means that the percentage of their total production of documents on renewable energy relative to their total production is greater by those factors than the equivalent percentage worldwide. There follow in order Lithuania, Slovenia, Sweden, and Denmark.

It should be noted that the SSI of Europe relative to the World in this field is 0.89. Considering the values representing this effort

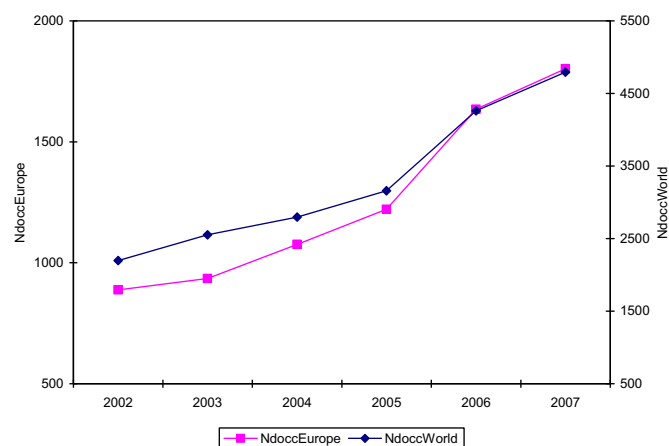


Fig. 1. Temporal evolution of primary production in Europe and globally (2002–2007).

corresponding to the top third of European countries in terms of production (UK, Turkey, Germany, Italy, Sweden, Spain, and France), one sees that, with the exceptions of Turkey (which stands far above the rest), Sweden, and Spain, the other four are below the European average, with France having the lowest SSI (0.54).

Fig. 2 shows each country's percentages of production together with its SSI. One notes that, among those with greatest production, Turkey and Greece have the highest SSI values.

Fig. 3 shows how the Nordic countries Sweden and Denmark had the most articles per capita, with 66.61 and 56.18 per million inhabitants, respectively. They were followed by Greece, Slovenia, Switzerland, and Finland, these last with values of around 40. The lowest values, 3.11 and 0.60, corresponded to Romania and Russia, respectively.

With respect to number of articles relative to GDP for the period 2002–2007, Slovenia, Turkey, Greece, Lithuania, and Sweden ranked top with values above 1.3 articles per billion US\$. The case of France stands out as being ranked fairly high (seventh) in terms of production, but with low values of SSI and of the indicators relative to population size and GDP.

One observes that there is a group of countries – Sweden, Slovenia, and Greece – which rank at the top in number of articles per capita and relative to GDP, all well above the European average and the global values.

As one observes in Table 3, the countries with the greatest values (all above 1.7) of Total Normalized Citation were Switzerland, Denmark, Sweden, and the Netherlands. The value for Europe as a whole was 1.37, which was also surpassed by Germany, Turkey, Belgium, and Austria, while Norway equaled this average value.

At the other extreme were Russia, Portugal, Slovenia, and Poland, none of which reached 0.9, their values being between 35% and 45% below the value obtained by Europe as a whole.

Ignoring Russia and Lithuania which have a very low annual production of documents, the countries with the greatest mean annual growth in this indicator (far above the European average) are Austria, Norway, Denmark, and the Netherlands. Austria, in particular, underwent major growth in terms of the Normalized Citation.

Comparing scientific production on renewable energy with the Normalized Citation values, one sees that Turkey and Germany, which are ranked second and third respectively in terms of scientific output, are also ranked high in terms of citations received (6th and 5th, respectively). On the contrary, the UK drops from the top in production to the middle of the list in terms of Total Normalized Citation.

² <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/> (2009-05-04).

³ http://unstats.un.org/unsd/cdb_discontinued/cdb_discontinued.asp (2009-10-05).

⁴ <http://www.pdwb.de/archiv/weltbank/gdp07.pdf> (2009-05-04).

⁵ <http://archivo.greenpeace.org/Clima/Prokioto.htm>.

Table 2
Temporal evolution by country of production, SSI, and PV (2002–2007).

| Country | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | Ndocc | PV | SSI |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|--------|---------|------|
| United Kingdom | 133 | 136 | 177 | 174 | 224 | 299 | 1143 | 124.81 | 0.84 |
| Turkey | 72 | 123 | 165 | 180 | 265 | 291 | 1096 | 304.17 | 4.52 |
| Germany | 155 | 128 | 126 | 129 | 177 | 162 | 877 | 4.52 | 0.68 |
| Italy | 66 | 91 | 88 | 89 | 125 | 152 | 611 | 130.30 | 0.85 |
| Sweden | 65 | 73 | 104 | 111 | 137 | 117 | 607 | 80.00 | 2.17 |
| Spain | 56 | 58 | 78 | 120 | 144 | 128 | 584 | 128.57 | 1.08 |
| France | 75 | 66 | 60 | 77 | 102 | 115 | 495 | 53.33 | 0.54 |
| Greece | 43 | 62 | 53 | 59 | 116 | 126 | 459 | 193.02 | 3.31 |
| Netherlands | 65 | 58 | 54 | 87 | 99 | 93 | 456 | 43.08 | 1.14 |
| Denmark | 36 | 36 | 45 | 42 | 67 | 80 | 306 | 122.22 | 2.07 |
| Switzerland | 31 | 35 | 48 | 71 | 54 | 63 | 302 | 103.23 | 1.05 |
| Belgium | 31 | 31 | 27 | 31 | 49 | 58 | 227 | 87.10 | 1.03 |
| Finland | 27 | 25 | 35 | 27 | 44 | 54 | 212 | 100.00 | 1.45 |
| Poland | 24 | 23 | 20 | 28 | 36 | 33 | 164 | 37.50 | 0.60 |
| Portugal | 12 | 11 | 17 | 24 | 37 | 37 | 138 | 208.33 | 1.45 |
| Norway | 17 | 14 | 18 | 25 | 20 | 40 | 134 | 135.29 | 1.22 |
| Austria | 5 | 16 | 24 | 18 | 34 | 36 | 133 | 620.00 | 0.86 |
| Ireland | 4 | 6 | 19 | 18 | 28 | 29 | 104 | 625.00 | 1.42 |
| Russian Federation | 13 | 11 | 10 | 16 | 16 | 18 | 84 | 38.46 | 0.18 |
| Slovenia | 9 | 7 | 6 | 11 | 21 | 28 | 82 | 211.11 | 2.20 |
| Romania | 12 | 14 | 4 | 11 | 12 | 14 | 67 | 16.67 | 1.30 |
| Lithuania | 1 | 3 | 8 | 6 | 14 | 22 | 54 | 2100.00 | 2.84 |
| Europe | 888 | 935 | 1076 | 1221 | 1635 | 1802 | 7557 | 102.93 | 0.89 |
| World | 2199 | 2552 | 2797 | 3158 | 4260 | 4795 | 19,761 | 118.05 | |

With respect to the SJR, this indicator varied less between countries than the Normalized Citation – its coefficient of variation was 9.73% compared with 29.31% for the Total Normalized Citation. The mean SJR for the principal European countries was around 0.070. The countries with the highest SJR values, and which therefore are making the greatest efforts in disseminating their results, are Germany, followed by Slovenia and Lithuania (although these have very few documents), Spain, Switzerland, and Belgium, all with values between 7% and 18% above the European average. Those with the lowest SJR values are Turkey, Russia, UK, Romania, and Greece, with values between 11% and 22% below the European average.

Application of a hierarchical clustering algorithm using average linkage between groups to the normalized variables Ndocc, PV, Normalized Citation, and SJR revealed 5 clusters for which the

differences were highly significant ($sig. < 0.01$) in the indicators Ndocc, SSI, Total Normalized Citation, and significant ($0.01 < sig. < 0.05$) in PV and SJR. Fig. 4 shows the dendrogram resulting from this procedure.

These five clusters of countries can be described according to the average values of the variables used in the analysis:

- Cluster 1 comprises only Turkey and Greece. We would label them as emergent in the present context. They have high values of production, PV, and SSI, and values close to the European average in Normalized Citation (slightly above), and SJR (slightly below). These countries do not have a high GDP, but are making a major budgetary effort in this field.
- Cluster 2 comprises Romania, Norway, Finland, Portugal, Russia, and Poland. These are countries which could be labeled as close

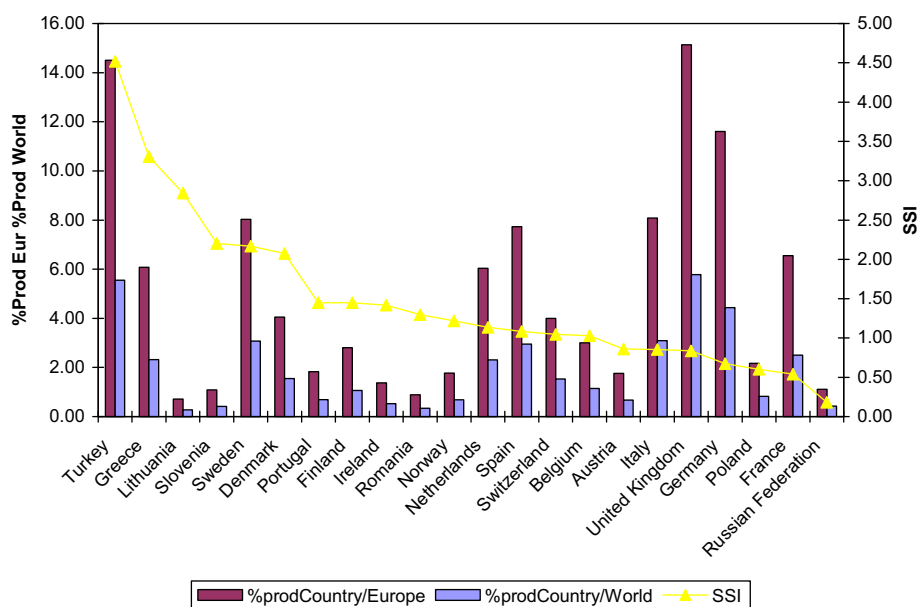


Fig. 2. Percentage of production in each country relative to European and global production, and the Subject Specialization Index.

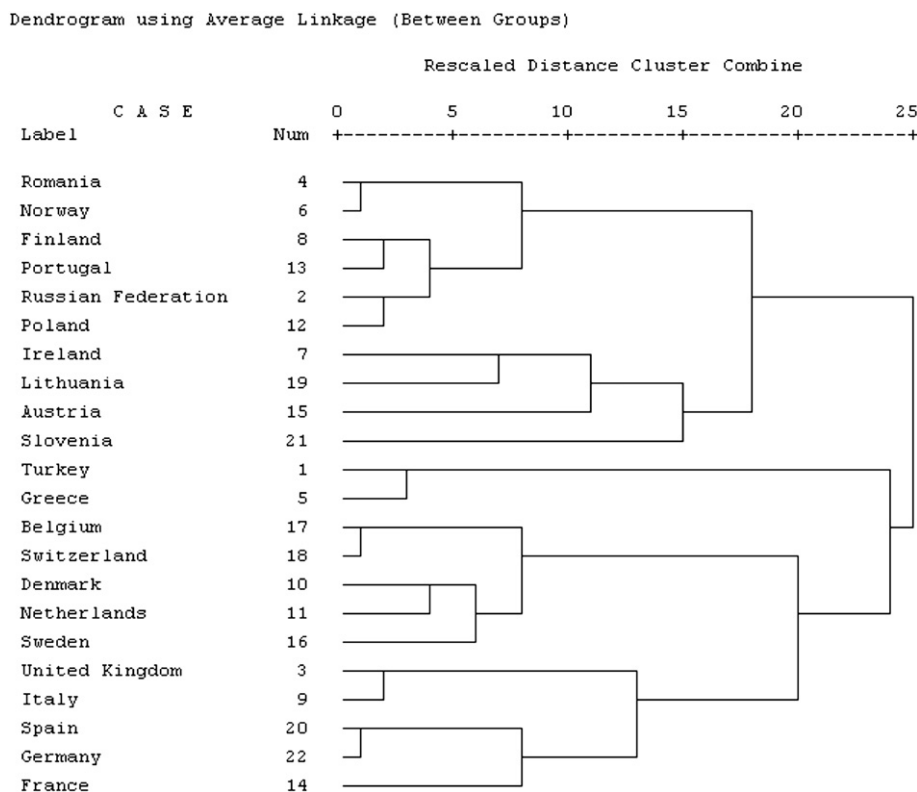


Fig. 4. Dendrogram of the principal countries as obtained by the hierarchical clustering procedure.

also received the greatest number of citations. But relating them with the number of documents or the Normalized Citation led to the former falling to fifth position, and the latter falling 13 positions. With this criterion, they were overtaken by journals with very few documents – “Progress in Photovoltaics: Research and Applications”, “Annual Review of Environment and Resources”, “Fuel”, and “Thin Solid Films”. Except for the review journal, and unlike the two first mentioned journals, these belong to specific subject areas other than ‘Renewable Energy, Sustainability and the Environment’.

Several of the publications in the table are directly related to two of the outstanding topics in renewable energy research that have been identified in earlier work – biomass and solar energy [1,6,7]. Uzun [3] also highlights the field of photovoltaic technology as being the most productive.

The journal with the highest mean annual growth rate in Normalized Citation was “Environmental Science and Policy”. Its growth in the last year (2007) studied was particularly notable. At a certain distance follow “Wind Energy”, “Environmental Impact Assessment Review”, “Environmental Research Letters”, “Annual Review of Environment and Resources”, “Renewable and Sustainable Energy Reviews”, “Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy”, and “Renewable Energy”, all journals within the renewable energy subject area.

The SJR index showed less variation among the different journals than the citations (although in both cases, the variation was high). The mean SJR was 0.07, with only 27% of the journals surpassing this value. The Total Normalized Citation of the set of journals analyzed and their SJR values presented a certain correlation (Pearson’s R coefficient equal to 0.79). Indeed, the top five ranked journals according to the Total Normalized Citation remained essentially the same in the ranking according to the SJR, the exception being “Fuel”

which dropped 8 positions to be replaced by a journal from another area: “International Journal of Hydrogen Energy”.

The medians of the number of documents, the Normalized Citation, and the SJR were less than the corresponding means, reflecting a skew of the distributions to the right. This was especially so for the cases of number of articles per year and the SJR, while the differences for the Total Normalized Citation were very small.

The clustering procedure was then applied to the 45 journals for which all the data were available. The analysis was limited to 3 clusters which presented highly significant differences in all the variables (sig. < 0.01). Fig. 5 shows the dendrogram resulting from this analysis.

These three clusters of journals can be described according to the average values of the variables used in the analysis:

- Cluster 1 in the last part of the dendrogram is characterized by a small mean number of documents per journal, and the greatest values of Normalized Citation and SJR. Of the 15 journals in the group, 9 belong to other specific subject areas, and one of the other 6 also has other ascriptions as well as the Renewable Energy subject area.
- Cluster 2 in the first part of the dendrogram also has a small mean number of documents per journal, but this time with very low values of the Normalized Citation and SJR. Of the 20 journals in this group, 8 belong to other areas, and 9 of the other 12 also have ascriptions to various areas.
- Cluster 3 corresponds to the 10 journals in the center of the dendrogram. They have an intermediate impact as measured by the Normalized Citation and SJR (the latter somewhat above the average value), and a large number of documents per journal. All 10 journals are ascribed to the subject area in question, while 5 of them have other ascriptions too.

Table 4 Primary production, average citations per document, Normalized Citation, Total Normalized Citation, and average SJR of the journals that published most studies included in the present study.

| Journal | Ndocc | | | | | | | | | | TOTAL PPrim | Average (citation/doc) | | | | | | | Total Std. Cit. | SJR | | | | | | | |
|---|-------|-----|------|-----|------|-----|------|------|-------|-------|----------------|------------------------|------|------|------|------|------|------|--------------------|------|------|------|------|-------|-------|--|--|
| | 2002 | | 2003 | | 2004 | | 2005 | | 2006 | | | 2007 | | 2002 | | 2003 | | 2004 | | | 2005 | | 2006 | | 2007 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Progress in Photovoltaics: Research and Applications | 11 | 17 | 7 | 13 | 21 | 16 | 85 | 3.45 | 14.35 | 5.71 | 2.62 | 1.48 | 0.44 | 2.22 | 7.12 | 2.69 | 1.09 | 1.48 | 1.96 | 1.96 | 1.48 | 1.96 | 1.96 | 1.96 | 0.169 | | |
| Annual Review of Environment and Resources | 18 | 11 | 13 | 14 | 15 | 15 | 71 | 5.33 | 4.73 | 10.77 | 2.50 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 2.64 | 2.23 | 4.48 | 2.5 | 0.9 | 3.31 | 4.25 | 0.9 | 3.31 | 3.31 | 0.244 | | |
| Fuel | 4 | 5 | 9 | 16 | 24 | 27 | 85 | 5.50 | 3.00 | 7.00 | 7.31 | 2.42 | 0.63 | 3.54 | 1.49 | 3.3 | 3.04 | 2.42 | 2.82 | 2.48 | 2.42 | 2.82 | 2.48 | 2.48 | 0.082 | | |
| Thin Solid Films | 29 | 44 | 39 | 56 | 68 | 70 | 306 | 4.97 | 4.93 | 5.05 | 4.86 | 2.40 | 0.31 | 3.2 | 2.45 | 2.38 | 2.02 | 2.4 | 1.41 | 2.39 | 2.02 | 2.4 | 1.41 | 2.39 | 0.131 | | |
| Solar Energy Materials and Solar Cells | 228 | 298 | 163 | 238 | 344 | 269 | 1540 | 2.82 | 4.08 | 5.96 | 4.44 | 2.44 | 0.49 | 1.82 | 2.02 | 2.81 | 1.87 | 2.45 | 2.2 | 2.28 | 2.45 | 2.2 | 2.28 | 2.28 | 0.138 | | |
| Renewable and Sustainable Energy Reviews | 20 | 25 | 30 | 35 | 27 | 118 | 255 | 5.80 | 2.32 | 3.53 | 6.49 | 4.48 | 1.01 | 3.73 | 1.15 | 1.67 | 2.7 | 4.48 | 4.52 | 2.11 | 4.48 | 4.52 | 2.11 | 0.092 | | | |
| Biomass and Bioenergy | 97 | 92 | 110 | 86 | 122 | 88 | 595 | 2.88 | 2.78 | 3.58 | 5.05 | 1.52 | 0.27 | 1.85 | 1.38 | 1.69 | 2.1 | 1.53 | 1.22 | 1.91 | 1.53 | 1.22 | 1.91 | 0.088 | | | |
| Fuel Processing Technology | 1 | 5 | 3 | 12 | 21 | 13 | 55 | 5.00 | 2.60 | 5.00 | 3.92 | 2.43 | | 3.22 | 1.29 | 2.36 | 1.63 | 1.63 | 1.72 | 1.63 | 1.63 | 1.63 | 1.72 | 1.72 | 0.080 | | |
| Environmental Science and Policy | 39 | 49 | 42 | 63 | 62 | 59 | 314 | 1.95 | 2.29 | 3.11 | 2.90 | 1.90 | 1.49 | 1.49 | 1.13 | 1.25 | 1.21 | 1.9 | 6.69 | 1.64 | 1.63 | 1.64 | 1.64 | 0.067 | | | |
| Applied Energy | 13 | 8 | 29 | 25 | 28 | 33 | 136 | 1.69 | 2.25 | 4.14 | 3.12 | 1.43 | 0.33 | 1.09 | 1.12 | 1.95 | 1.3 | 1.43 | 1.5 | 1.53 | 1.43 | 1.5 | 1.53 | 0.055 | | | |
| Wind Energy | 26 | 26 | 26 | 31 | 37 | 34 | 154 | 2.15 | 2.31 | 4.29 | 1.38 | 0.71 | 0.71 | 1.07 | 1.07 | 1.09 | 1.79 | 1.38 | 3.17 | 1.52 | 1.38 | 3.17 | 1.52 | 0.043 | | | |
| Energy Policy | 8 | 6 | 10 | 17 | 37 | 77 | 155 | 3.38 | 3.50 | 3.00 | 5.82 | 2.89 | 0.52 | 2.17 | 1.74 | 1.41 | 2.42 | 2.89 | 2.33 | 1.51 | 2.89 | 2.33 | 1.51 | 0.061 | | | |
| Solar Energy | 90 | 97 | 176 | 150 | 173 | 149 | 835 | 1.70 | 1.91 | 2.99 | 4.09 | 1.31 | 0.22 | 1.09 | 0.95 | 1.41 | 1.7 | 1.31 | 0.99 | 1.50 | 1.31 | 0.99 | 1.50 | 1.50 | 0.085 | | |
| Energy and Fuels | 7 | 5 | 5 | 15 | 21 | 35 | 88 | 2.71 | 2.20 | 5.40 | 5.13 | 2.24 | 0.06 | 1.75 | 1.09 | 2.55 | 2.14 | 2.24 | 0.26 | 1.50 | 2.24 | 0.26 | 1.50 | 1.50 | 0.086 | | |
| Energy Conversion and Management | 207 | 216 | 211 | 206 | 283 | 329 | 1452 | 1.84 | 3.07 | 3.57 | 3.51 | 1.45 | 0.26 | 1.18 | 1.52 | 1.68 | 1.46 | 1.45 | 1.19 | 1.50 | 1.46 | 1.45 | 1.19 | 1.50 | 0.066 | | |
| Environmental Impact Assessment Review | 35 | 32 | 44 | 44 | 42 | 41 | 238 | 1.57 | 2.78 | 2.95 | 3.50 | 1.05 | 0.46 | 1.01 | 1.38 | 1.39 | 1.46 | 1.05 | 2.08 | 1.49 | 1.46 | 1.05 | 2.08 | 1.49 | 0.053 | | |
| Energy Sources | 14 | 20 | 46 | 22 | 22 | 102 | 293 | 1.15 | 2.22 | 1.05 | 1.89 | 0.57 | 1.05 | 0.44 | 1.89 | 0.57 | 1.05 | 0.44 | 1.34 | 1.05 | 0.44 | 1.34 | 1.05 | 0.053 | | | |
| Renewable Energy | 136 | 170 | 160 | 156 | 184 | 179 | 985 | 1.53 | 2.22 | 2.14 | 3.25 | 1.45 | 0.39 | 0.98 | 1.1 | 1.01 | 1.35 | 1.45 | 1.73 | 1.30 | 1.45 | 1.73 | 1.30 | 0.058 | | | |
| International Journal of Hydrogen Energy | 4 | 5 | 5 | 3 | 17 | 30 | 64 | 6.00 | 1.40 | 5.20 | 4.67 | 2.18 | 0.10 | 3.86 | 0.69 | 2.45 | 1.94 | 2.18 | 0.45 | 1.25 | 1.94 | 2.18 | 0.45 | 1.25 | 0.131 | | |
| Resources, Conservation and Recycling | 60 | 62 | 66 | 65 | 76 | 119 | 448 | 1.90 | 2.45 | 2.48 | 3.55 | 1.12 | 0.19 | 1.22 | 1.22 | 1.17 | 1.48 | 1.12 | 0.87 | 1.24 | 1.12 | 0.87 | 1.24 | 0.059 | | | |
| Journal of Cleaner Production | 56 | 84 | 97 | 127 | 171 | 165 | 700 | 1.96 | 2.55 | 2.23 | 3.35 | 0.98 | 0.38 | 1.26 | 1.26 | 1.05 | 1.39 | 0.98 | 1.71 | 1.23 | 0.98 | 1.71 | 1.23 | 0.052 | | | |
| Energy | 72 | 95 | 182 | 184 | 233 | 235 | 1001 | 1.54 | 2.06 | 2.28 | 3.04 | 1.44 | 0.28 | 0.99 | 1.02 | 1.08 | 1.27 | 1.44 | 1.24 | 1.21 | 1.44 | 1.24 | 1.21 | 0.060 | | | |
| Applied Thermal Engineering | 18 | 25 | 29 | 39 | 66 | 68 | 245 | 2.61 | 3.52 | 2.31 | 2.90 | 1.09 | 0.24 | 1.68 | 1.75 | 1.09 | 1.21 | 1.09 | 1.06 | 1.19 | 1.09 | 1.06 | 1.19 | 0.058 | | | |
| Energy and Buildings | 107 | 110 | 134 | 130 | 161 | 137 | 779 | 2.38 | 1.84 | 1.91 | 2.39 | 1.14 | 0.12 | 1.53 | 0.91 | 0.9 | 1 | 1.14 | 0.52 | 1.13 | 1.14 | 0.52 | 1.13 | 0.058 | | | |
| Building and Environment | 15 | 18 | 22 | 28 | 45 | 78 | 206 | 1.13 | 2.06 | 2.27 | 3.25 | 1.67 | 0.29 | 0.73 | 1.02 | 1.07 | 1.35 | 1.67 | 1.32 | 1.03 | 1.67 | 1.32 | 1.03 | 0.053 | | | |
| Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME | 20 | 10 | 12 | 13 | 32 | 21 | 108 | 2.00 | 2.60 | 1.25 | 1.92 | 0.84 | 0.43 | 1.29 | 1.29 | 0.59 | 0.8 | 0.84 | 1.92 | 0.95 | 0.8 | 0.84 | 1.92 | 0.95 | | | |
| Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics | 134 | 117 | 62 | 49 | 50 | 90 | 502 | 1.31 | 1.42 | 1.63 | 2.39 | 1.18 | 0.07 | 0.85 | 0.7 | 0.77 | 0.99 | 1.18 | 0.3 | 0.90 | 0.77 | 0.99 | 1.18 | 0.3 | 0.052 | | |
| International Journal of Photoenergy | 24 | 35 | 30 | 29 | 40 | 25 | 183 | 1.42 | 1.80 | 1.70 | 2.21 | 0.33 | 0.04 | 0.91 | 0.89 | 0.8 | 0.92 | 0.33 | 0.18 | 0.89 | 0.92 | 0.33 | 0.18 | 0.89 | 0.063 | | |
| Desalination | 4 | 10 | 13 | 25 | 8 | 39 | 99 | 1.00 | 2.10 | 1.92 | 2.04 | 0.75 | 0.18 | 0.64 | 1.04 | 0.91 | 0.85 | 0.75 | 0.81 | 0.83 | 0.85 | 0.75 | 0.81 | 0.83 | 0.067 | | |
| International Journal of Energy Research | 15 | 10 | 20 | 18 | 37 | 30 | 130 | 2.33 | 1.20 | 1.70 | 1.94 | 0.62 | 0.13 | 1.5 | 0.59 | 0.8 | 0.81 | 0.62 | 0.6 | 0.79 | 0.81 | 0.62 | 0.6 | 0.79 | 0.053 | | |
| Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME | 37 | 39 | 41 | 38 | 41 | 31 | 227 | 1.05 | 1.10 | 1.17 | 1.42 | 0.54 | 0.16 | 0.68 | 0.55 | 0.55 | 0.59 | 0.54 | 0.72 | 0.67 | 0.59 | 0.54 | 0.72 | 0.67 | 0.045 | | |
| Wind and Structures, An International Journal | 39 | 29 | 29 | 29 | 31 | 31 | 188 | 1.03 | 0.83 | 1.38 | 1.17 | 0.48 | 0.19 | 0.66 | 0.41 | 0.65 | 0.49 | 0.48 | 0.87 | 0.61 | 0.49 | 0.48 | 0.87 | 0.61 | 0.044 | | |
| ASHRAE Transactions | 6 | 4 | 11 | 14 | 13 | 8 | 56 | 1.17 | 1.75 | 0.91 | 0.93 | 0.77 | 0.11 | 0.75 | 0.87 | 0.43 | 0.39 | 0.77 | 0.61 | 0.42 | 0.39 | 0.77 | 0.61 | 0.042 | | | |
| Energy and Environment | 48 | 34 | 54 | 46 | 42 | 46 | 270 | 0.23 | 1.91 | 0.85 | 0.89 | 0.45 | 0.11 | 0.15 | 0.95 | 0.4 | 0.37 | 0.45 | 0.50 | 0.40 | 0.37 | 0.45 | 0.50 | 0.045 | | | |
| International Journal of Ambient Energy | 6 | 10 | 11 | 14 | 8 | 10 | 59 | 0.17 | 1.10 | 0.18 | 1.07 | 0.10 | 0.10 | 0.11 | 0.55 | 0.09 | 0.45 | 0.45 | 0.37 | 0.45 | 0.45 | 0.37 | 0.45 | 0.040 | | | |
| Huagong Xuebao/Journal of Chemical Industry and Engineering (China) | 3 | 4 | 7 | 5 | 22 | 13 | 54 | 0.50 | 0.50 | 1.29 | 0.40 | 0.59 | 0.10 | 0.11 | 0.25 | 0.61 | 0.17 | 0.59 | 0.35 | 0.17 | 0.59 | 0.35 | 0.17 | 0.35 | 0.041 | | |
| Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference | 80 | | | 93 | | | 173 | 0.40 | | | 0.31 | | | 0.26 | | | 0.13 | | 0.25 | | | | | | 0.25 | | |
| Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy | | | | 37 | | | 73 | | | | 0.41 | | 0.17 | | | | 0.41 | | 0.75 | | 0.41 | | 0.75 | | 0.016 | | |
| Environmental Research Letters | | | | 12 | | | 61 | | | | 0.58 | | 0.20 | | | | 0.58 | | 0.92 | | 0.58 | | 0.92 | | 0.127 | | |
| International Journal of Sustainable Energy | | 18 | | 18 | | | 66 | | 0.17 | | 0.78 | | | | | | 0.78 | | 0.32 | | 0.78 | | 0.32 | | 0.039 | | |
| Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects | | | | 131 | | | 270 | | | | 0.37 | | 0.09 | | | | 0.37 | | 0.39 | | 0.37 | | 0.39 | | 0.017 | | |
| International Journal of Green Energy | | | | 30 | | | 70 | | | | 0.33 | | 0.10 | | | | 0.33 | | 0.45 | | 0.33 | | 0.45 | | 0.018 | | |
| Refocus | 40 | 36 | 44 | 32 | 6 | 6 | 158 | 0.05 | 0.08 | 0.14 | 0.38 | | | 0.03 | 0.04 | 0.06 | 0.16 | 0.16 | 0.10 | 0.06 | 0.16 | 0.16 | 0.10 | 0.10 | 0.018 | | |
| Gong Cheng Li Xue/Engineering Mechanics | 1 | 3 | 6 | 7 | 15 | 18 | 50 | 0.17 | 0.17 | 0.43 | 0.07 | 0.06 | | 0.12 | 0.06 | 0.1 | 0.04 | 0.04 | 0.25 | 0.09 | 0.04 | 0.25 | 0.09 | 0.037 | 0.037 | | |
| Taiyangneng Xuebao/Acta Energetica Sinica | 21 | 26 | 34 | 33 | 71 | 65 | 250 | 0.19 | 0.12 | 0.21 | 0.09 | 0.04 | | 0.09 | 0.06 | 0.1 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.036 | | |
| International Journal of Sustainable Development and Planning | | | | 32 | | | 61 | | | | 0.09 | | | | | | 0.09 | | 0.09 | | 0.09 | | 0.09 | | 0.04 | | |
| International Solar Energy Conference | | | | 82 | | | 620 | 0.23 | 0.09 | 0.02 | 0.03 | | | 0.15 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.14 | 0.02 | 0.01 | 0.14 | 0.02 | 0.02 | 0.035 | | |
| Research Journal of Chemistry and Environment | | | | 66 | | | 66 | | | | 0.03 | | | | | | 0.03 | | 0.08 | | 0.03 | | 0.08 | | 0.034 | | |
| Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering | | | | 12 | | | 92 | | | | 0.08 | | | | | | 0.08 | | 0.06 | | 0.08 | | 0.06 | | 0.02 | | |
| Thermal Science | | | | 53 | | | 53 | | | | 0.02 | </ | | | | | | | | | | | | | | | |

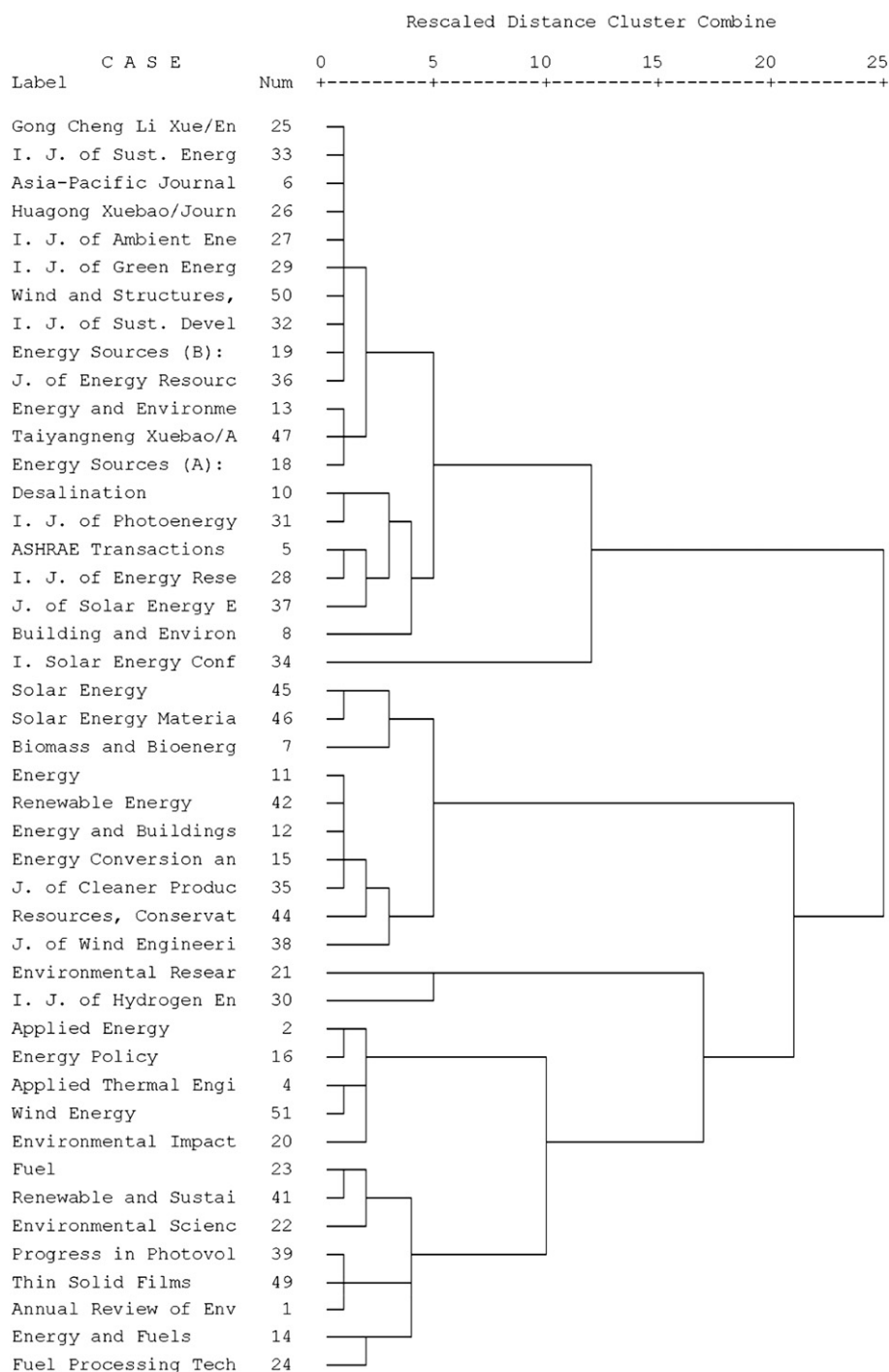


Fig. 5. Dendrogram of the principal journals as obtained by the hierarchical clustering procedure.

4. Conclusions

Global scientific production in the renewable energy field has been growing at an ever-faster rate as befits the need in today's world for new knowledge with which to tackle the problems of energy sustainability. But this growth has been uneven across the different domains of science, and has very different characteristics in different subfields. The thematic (journals) and geographical (countries) structure revealed by the clustering procedures used in the present work can advance our understanding of scientific developments in this emerging field which, unlike more traditional fields, allows countries that are not among the most powerful scientifically to

occupy quite prominent positions on a world scale. Indeed, renewable energy is a field in which one can appreciate dynamics of scientific development that are very different from those prevailing in the world of science in general. This is especially noticeable in certain developing countries which are making significant efforts to reduce their energy dependency on less sustainable sources. The study reveals that in the period 2002–2007:

- A far from negligible number of works related to renewable energies were published in journals not ascribed to the “Renewable Energy, Sustainability and the Environment” specific subject area.

- Global and European production doubled over the period. Europe, which accounts for 40% of global production, is growing at a slower pace than the rest of the world. There was a marked increase in production in 2006 which may have been the result of the entry into force in 2005 of the Kyoto protocol.
- Relative to GDP and particularly to population, Europe is putting greater effort into research in this field than the world as a whole. This is not so, however, relative to the total of its research production as indicated by the SSI. For this, one has to bear in mind that the world total also includes developing nations.
- The impact of Europe in this area, as measured by the Normalized Citation, is above the global value, and grew by more than 10% in the period.

The countries of Europe can be clustered into five groups with respect to their research in this field:

- Advanced countries, which are powers in terms of their scientific production in general. They have a high production which is also of high impact, but which has clearly stabilized. The magnitude of their production reflects the overall volume of their scientific output rather than any particular specialization.
- Specialist countries, mainly Nordic nations. They have a substantial high quality output, reflecting their traditional efforts in this field rather than any overall volume of scientific production.
- Emergent countries, consisting of Greece and Turkey. They have a production of average quality but of considerable size and growing. This size rather reflects effort and specialization in the field than any general capacity of these countries.
- Initiate countries, consisting of nations with a small production of impact close to the global average, but with a fairly major specialization and growing production.
- Intermediate countries, with a low but growing production, and impact and specialization similar to those of the world as a whole.

Finally, the journals used form three groups:

- The first consists of journals with a small mean number of documents, but of the greatest impact. They are primarily ascribed to other subject areas.
- The second consists of journals also with a small mean number of documents, but now of low impact. Many are ascribed to other subject areas, but also many belong to the area in question.
- And the third consists of more specialized journals in the area with a large mean number of documents, and an intermediate impact somewhat above the average.

Acknowledgments

This work was financed by the Junta de Extremadura – Consejería de Educación Ciencia & Tecnología and the Fondo Social Europeo as part of research project PRI06A233 and the predoctoral studentship PRE07051, and by the Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008–2011 and the Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) as part of research projects TIN2008-06514-C02-01 and TIN2008-06514-C02-02.

References

- [1] Kajikawa Y, Yoshikawa J, Takeda Y, Matsushima K. Tracking emerging technologies in energy research: toward a roadmap for sustainable energy. *Technological Forecasting and Social Change* 2008;75:771–82.
- [2] Thomas SM. The evaluation of plant biomass research: a case study of the problems inherent in bibliometric indicators. *Scientometrics* 1992;23(1):149–67.
- [3] Uzun A. National patterns of research output and priorities in renewable energy. *Enegy Policy* 2002;30:131–6.
- [4] Hassan E. The evolution of the knowledge structure of fuel cells. *Scientometrics* 2005;62(2):223–38.
- [5] Tsay M. A bibliometric analysis of hydrogen energy literature, 1965–2005. *Scientometrics* 2008;75(3):421–38.
- [6] Kajikawa Y, Takeda Y. Structure of research on biomass and bio-fuels: a citation-based approach. *Technological Forecasting and Social Change* 2008;75(9):1349–59.
- [7] Celiktas MS, Sevgili T, Tocar G. A snapshot of renewable energy research in Turkey. *Renewable Energy* 2009;34:1479–86.
- [8] Garfield E. Contract research services at ISI. *Citation analysis for governmental, industrial and academic clients*. *Current Contents* 1992;23:5–13.
- [9] Hane P. Elsevier announces Scopus service, *Information today*, <http://newsbreaks.infotoday.com/nbreader.asp?ArticleID=16494>; 2004 [Last visit on 9 January 2007].
- [10] Pickering B. Elsevier prepares Scopus to rival ISI Web of science. *Information World Review*; 2004.
- [11] Archambault É, Campbell D, Gingras Y, Larivière V. Comparing bibliometric statistics obtained from the Web of Science and Scopus. *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 2009;60(7):1320–6.
- [12] Moya Anegón F, Chinchilla Rodríguez Z, Vargas Quesada B, Corera Álvarez E, Muñoz Fernández FJ, González Molina A, et al. Coverage analysis of Scopus: a journal metric approach. *Scientometrics* 2007;73(1):53–78.
- [13] Leydesdorff L, Moya Anegón F, Guerrero Bote VP. Journal maps on the basis of Scopus data: a comparison with the journal citation reports of the ISI. *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 2010;61(2):352–69.
- [14] López Illescas C, Moya Anegón F, Moed HF. The actual citation impact of European oncological research. *European Journal of Cancer* 2008;44:228–36.
- [15] Small H. The Significance of bibliographic references. *Scientometrics* 1987;12(5–6):339–41.
- [16] González-Pereira B, Guerrero-Bote VP, Moya-Anegón F. A new approach to the metric of journals' scientific prestige: the SJR indicator. *Journal of Informetrics* 2010;4:379–91.
- [17] Bollen J, van de Sompel H, Hagberg A, Chute R. A principal component analysis of 39 scientific impact measures. *PLoS ONE* 2009;4(6):e6022. doi:10.1371/journal.pone.0006022. [Last visit on 10 June 2007].
- [18] Moya Anegón F, Chinchilla Rodríguez Z, Corera Álvarez E, Muñoz Fernández F, Vargas Quesada B, Herrero Solana V. *Indicadores Bibliométricos de la Actividad Científica Española: ISI, Web of Science, 1998–2002*. Madrid: FECYT; 2004.



ARTÍCULO 2:

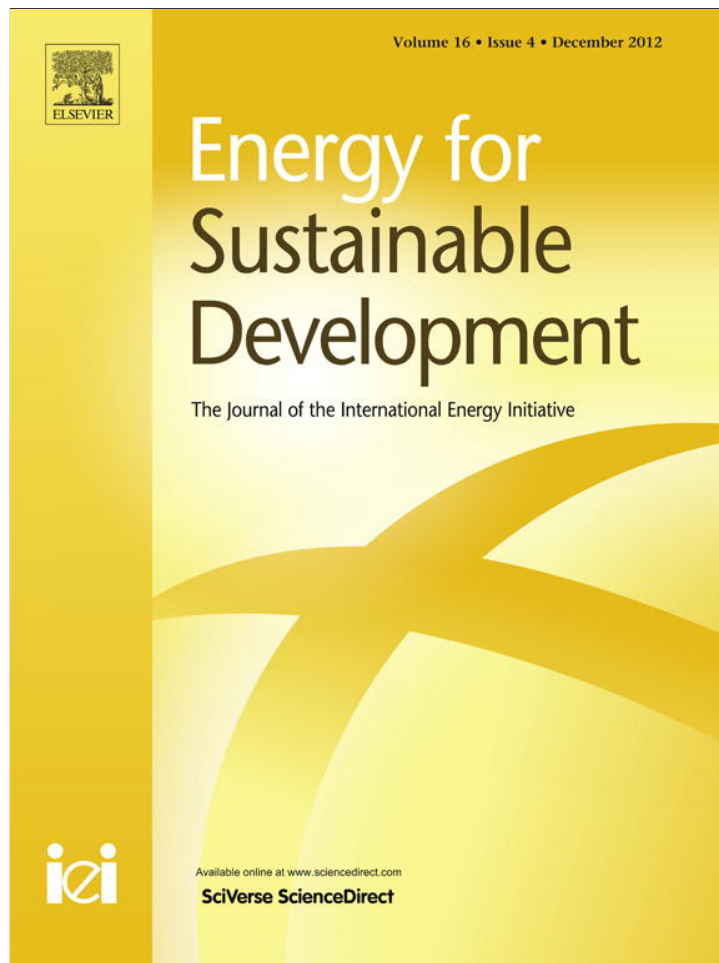
**9.2. World scientific production on renewable energy, sustainability
and the environment**

Romo-Fernández, L.M, Guerrero-Bote, V.P. and Moya-Anegón, F.

Accepted in:

Energy for Sustainable Development

Provided for non-commercial research and education use.
Not for reproduction, distribution or commercial use.



This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

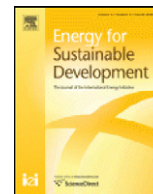
Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>

Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com)

Energy for Sustainable Development



World scientific production on renewable energy, sustainability and the environment

Luz M. Romo-Fernández ^a, Vicente P. Guerrero-Bote ^{a,*}, Félix Moya-Anegón ^b

^a University of Extremadura, Department of Information and Communication, SClmago Group, Spain

^b CSIC, CCHS, IPP, SClmago Group, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 March 2012

Revised 26 June 2012

Accepted 26 June 2012

Available online 11 August 2012

Keywords:

Renewable energy

Sustainability and the environment

Bibliometrics

Scientific production

Research institutions

ABSTRACT

This study examines world scientific production on renewable energy, sustainability and the environment on the basis of bibliometric indicators (scientific production, percentage variation of production, average cites per document, normalized impact, impact, etc.) for the period 2003–08. The analysis is made by country, by research institution, and by scientific journal, using the Scopus (Elsevier) database of scientific literature. The results show the total world production to have increased during the period studied, and that this topic has been attracting great scientific interest. Two groups of countries with high production are distinguished, one of which has a highly specialized subject focus. There are also three groups of institutions with a major production, two of which also have high impact.

© 2012 International Energy Initiative. Published by Elsevier Inc. All rights reserved.

Introduction

The focus of the present work is Renewable Energy, Sustainability and the Environment, a topic of major interest in that it is an important component of sustainable development. There have been only a few bibliometric studies on this area, however, and there is a clear need for an overview of the research (Dalpe, 2002; Garfield, 1992; Strehl and Dos Santos, 2002).

In this sense, Thomas (1992) evaluates the work of research groups in the field of biomass, considering areas outside the U.S. and the E.E.C. Uzun (2002) compares the research results and priorities of 25 countries in renewable energy for the periods 1996–97 and 1998–99, using as measures the numbers of publications and their increase, and a research priority index. Hassan (2005), recognizing the part played by science and technology in the development of fuel cells, characterizes the evolution of the structure of these cells in the 1990s using patent and scientific publication data as basis. Tsay (2008) explores the characteristics of the literature on hydrogen energy from 1965 to 2005 using the Science Citation Index Expanded. The results showed the hydrogen energy literature to have grown exponentially in the last decade that was considered, with an annual growth rate of some 18%. Kajikawa et al. (2008) perform a network analysis of the citations of scientific publications on renewable energy to shed light on the current structure of research in this domain. The results confirmed that the fastest growing areas in research in this field are those related to fuel cells and solar cells. Kajikawa and Takeda (2008) analyze the sub-areas of biomass

and biofuels which have attracted increasing interest as forms of sustainable energy. They perform a network analysis of the citations of scientific documents, using clustering techniques. The results show that the fastest growing areas in research on biomass and biofuels are hydrogen and biofuel production. Celiktas et al. (2009) consider the trends of research in renewable energy over a long period (1980–2008), but focusing only on Turkey. They found the predominant publications to be on biomass and conversion systems, as well as on solar energy systems. They also noted the rapid growth of the numbers of publications and citations over the last decade of their study, with more than half of all the documents having been published in the last four years. And finally, (Romo Fernández et al., 2011) provide an overview of the research of major European countries in the area of renewable energy for the period 2002–07, using the Scopus (Elsevier) scientific literature database. The results show global and European production to have doubled over the period studied, and that Europe, which has 40% of global production, is growing at a slower pace than the rest of the world.

Most of these scientometric studies were limited to a specific type of energy or a particular country, and did not treat the subject area as a whole. They also take restricted methodological approaches in both the data retrieval strategy and the calculation of the indicators.

In the present work, we analyze scientific production in the Renewable Energy, Sustainability and the Environment category using bibliometric indicators (production, normalized impacts, and their percentage variations, the subject specialization index, cites per document, SJR, etc.) for the period 2003–08. As independent variables, we consider countries, major research institutions, and scientific journals.

* Corresponding author at: Facultad de Biblioteconomía y Documentación, Pl/lbn Marvan s/n, 06001 Badajoz, Spain. Tel.: +34 645440889; fax: +34 924286401.
E-mail address: guerrero@unex.es (V.P. Guerrero-Bote).

Although these indicators are to study the quantity and quality of scientific publications, they may not represent the importance of the issues treated.

Material and methods

In November 2004, the largest multidisciplinary scientific bibliographic database on the market, Scopus, was made available with a coverage of more than 17 000 journals (Hane, 2004 and Pickering, 2004). Despite its short time on the market, this product has already been the object of several studies addressing its characterization and analysis (Archambault et al., 2009; Leydesdorff et al., 2010; Moya Anegón et al., 2007). In the present work, we use the Scimago Institutions Rankings (SIR), a Scopus-based science evaluation resource to assess universities and research-focused institutions (government agencies, research laboratories, hospitals, etc.; see Scimago Institutions Rankings, 2010 <http://www.scimagoir.com/methodology.php>), to study those countries and institutions with a production (Ndoc) of at least 50 documents and journals in the subject area of Renewable Energy, Sustainability and the Environment.

The SJR (Scimago Journal Rank) index was developed by the Scimago research group¹ to represent the visibility of the journals contained in Scopus since 1996 (Bollen et al., 2009; González Pereira et al., 2010). It is based on the dissemination of prestige or influence from journal to journal through references. It is size-independent, and weights the cites received every year by the journals to the papers published in the previous three years with the prestige of the citing journal.

The normalized impact scores are measures of the scientific impact that institutions have on the scientific community as a whole. In order to obtain a fair measurement of this impact, their calculation removes the influence due to the institutions' sizes and research profiles, making it ideal for comparing research performance. The normalized impact values are averages of the ratios between the citation of the papers of the institution or country and the world average citation of publications with the same time frame, document type, and subject area. A NI of 1 means that the institution or country cited equal to the world average, then a score of 0.8 means the institution or country is cited 20% below the world average and 1.3 means the institution or country is cited 30% above the world average.

The percentage variation of production (PVP) for the period studied (2003–08) is the percentage difference in the number of works in 2008 relative to the total production of 2003.

The percentage variation of the normalized impact (PVNC) for the period studied (2003–08) is the percentage difference of the normalized impact in 2008 relative to the total normalized impact of 2003.

The subject specialization index (SSI) reflects the relative activity (Moya Anegón et al., 2004) in a particular subject area determined through the level of specialization, understood as the relative effort that a community or agent devotes to a discipline or subject area. It is quantified in relative terms as the number of documents produced in a particular discipline by a given group with respect to another group. The SSI of subject area A for group C with respect to group W is calculated as:

$$SSI_{AC/W} = \frac{\frac{Ndoc_{AC}}{Ndoc_C}}{\frac{Ndoc_{AW}}{Ndoc_W}} = \frac{\%Ndoc_{AC}}{\%Ndoc_{AW}}$$

where

- $Ndoc_{AC}$ is the number of documents in the field A in the group C (and analogously for $Ndoc_{AW}$);
- $Ndoc_C$ is the total number of documents of group C (and analogously for $Ndoc_W$);

- $\%Ndoc_{AC}$ is the percentage of documents of group C in the field A relative to the total of that group's primary documents (and analogously for $\%Ndoc_{AW}$).

In this paper, SSI is used to quantify the specialization of individual countries in Renewable Energy, Sustainability and the Environment with respect to the world. That is, A is Renewable Energy, Sustainability and the Environment, W is the world's research output and C is the research output of each country.

Results

We analyzed the principal countries of the world with scientific production in the field of Renewable Energy, Sustainability and the Environment, focusing primarily on those which have a production of at least 50 documents, and on the institutions and journals that are most productive in this category.

Table 1 presents the evolution of the production of countries which have at least 50 documents published in journals covered by Scopus, their total documents, their percentage variation of production, and their subject specialization index for the period 2003–08.

As one observes in the table, the U.S. is the country with the greatest production in the period, reaching a peak in 2006. It is followed by China, the U.K., India, Turkey, and Japan. The production of the U.S. is about 50% higher than the production of China. China experienced major growth between 2003 and 2008, followed by India, whereas the production of the U.S., Germany, and Japan was relatively stable (Fig. 2).

The countries which do not surpass the world average percentage variation are France, Denmark, South Korea, Malaysia, Singapore, New Zealand, Sweden, Belgium, U.S., Germany, Romania, Israel, Jordan, Japan, Mexico, Saudi Arabia, and Sri Lanka (Fig. 2).

The most productive countries that made the greatest relative effort (SSI) in renewable energy, sustainability and the environment are Turkey and Greece.

Table 2 presents the total cites received in the period studied, the cites per document, the percentage of documents cited, the evolution of the normalized impact, the total normalized impact, and the percentage variation in the normalized impact of the countries of the world.

Considering the countries with the greatest production, one observes that the highest values of cites per document correspond to Turkey, The Netherlands, Hong Kong, Taiwan, and Switzerland. With respect to the percentage of documents cited, Hong Kong is the country most often cited in relative terms, followed by Denmark, Sweden, and The Netherlands.

The countries with the highest values of the normalized impact are Denmark, The Netherlands, Switzerland, Belgium, and Germany (Fig. 1), all of which surpass the world average by more than 30%. Tunisia, Jordan, Egypt, Nigeria, Russia, and Uzbekistan are the countries with the lowest values of normalized impact for the period studied, not exceeding 70% of the world average.

Again considering the most productive countries, the greatest increase in normalized impact during the period studied corresponds to Denmark, followed by Hong Kong, Australia, and Germany (Fig. 2), while The Netherlands and Belgium, with a good normalized impact, present slight decreases.

One can establish five groups of countries according to the values of the indicators described above:

- The first group, which we label as *outstanding*, includes countries with high production and which grew in 2003–2008, with a normalized impact stabilized at high levels, and high subject specialization. The countries in this group appear in the upper right quadrant of Fig. 1, and the lower right quadrant of Fig. 2. The prime example of this group would be Turkey, and we would also include Greece, Sweden, India, The Netherlands, Spain, Australia, Italy, Canada, and the U.K.

¹ <http://www.scimagojr.com/ScimagoJournalRank.pdf>.

Table 1
Temporal evolution of number of papers published, percentage variation from 2003 to 2008, and subject specialization index (SSI) by country (period 2003–08).

| Country | Code | Ranking | Ndoc | | | | | Total Ndoc | PV | SSI | |
|--------------------|------|---------|------|------|------|------|------|------------|--------|------|-------|
| | | | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | | | | 2008 |
| United States | USA | 1 | 356 | 329 | 311 | 476 | 404 | 445 | 2321 | 25 | 0.58 |
| China | CHN | 2 | 84 | 96 | 135 | 205 | 295 | 362 | 1177 | 331 | 0.77 |
| United Kingdom | GBR | 3 | 118 | 141 | 142 | 196 | 242 | 249 | 1088 | 111 | 1.00 |
| India | IND | 4 | 85 | 101 | 103 | 152 | 227 | 272 | 940 | 220 | 2.48 |
| Turkey | TUR | 5 | 90 | 95 | 105 | 200 | 186 | 239 | 915 | 166 | 4.86 |
| Japan | JPN | 6 | 179 | 95 | 161 | 149 | 126 | 159 | 869 | – 11 | 0.84 |
| Germany | DEU | 7 | 101 | 116 | 93 | 149 | 127 | 124 | 710 | 23 | 0.73 |
| Canada | CAN | 8 | 82 | 57 | 69 | 127 | 120 | 155 | 610 | 89 | 1.04 |
| Italy | ITA | 9 | 77 | 73 | 72 | 99 | 120 | 143 | 584 | 86 | 1.05 |
| Sweden | SWE | 10 | 64 | 102 | 102 | 121 | 89 | 90 | 568 | 41 | 2.73 |
| Spain | ESP | 11 | 47 | 65 | 97 | 110 | 97 | 131 | 547 | 179 | 1.23 |
| France | FRA | 12 | 60 | 56 | 58 | 97 | 87 | 105 | 463 | 75 | 0.67 |
| Australia | AUS | 13 | 52 | 63 | 50 | 78 | 108 | 109 | 460 | 110 | 1.19 |
| Greece | GRC | 14 | 53 | 46 | 48 | 86 | 97 | 109 | 439 | 106 | 4.00 |
| Netherlands | NLD | 15 | 53 | 48 | 74 | 83 | 76 | 105 | 439 | 98 | 1.44 |
| Denmark | DNK | 16 | 33 | 39 | 36 | 60 | 74 | 54 | 296 | 64 | 2.65 |
| Brazil | BRA | 17 | 31 | 48 | 28 | 37 | 62 | 81 | 287 | 161 | 1.08 |
| Switzerland | CHE | 18 | 27 | 46 | 61 | 41 | 57 | 50 | 282 | 85 | 1.27 |
| South Korea | KOR | 19 | 47 | 19 | 25 | 46 | 58 | 75 | 270 | 60 | 0.78 |
| Taiwan | TWN | 20 | 31 | 27 | 42 | 42 | 55 | 72 | 269 | 132 | 1.14 |
| Mexico | MEX | 21 | 32 | 54 | 26 | 71 | 32 | 27 | 242 | – 16 | 2.45 |
| Hong Kong | HKG | 22 | 31 | 27 | 28 | 48 | 49 | 57 | 240 | 84 | 2.22 |
| Belgium | BEL | 23 | 32 | 24 | 32 | 44 | 55 | 41 | 228 | 28 | 1.32 |
| Thailand | THA | 24 | 25 | 15 | 36 | 32 | 47 | 54 | 209 | 116 | 3.68 |
| Finland | FIN | 25 | 22 | 32 | 22 | 34 | 45 | 40 | 195 | 82 | 1.80 |
| Iran | IRN | 26 | 5 | 7 | 10 | 22 | 45 | 75 | 164 | 1400 | 1.78 |
| Austria | AUT | 27 | 14 | 21 | 15 | 28 | 36 | 30 | 144 | 114 | 1.21 |
| Portugal | PRT | 28 | 10 | 15 | 19 | 33 | 33 | 33 | 143 | 230 | 1.84 |
| Egypt | EGY | 29 | 15 | 19 | 25 | 25 | 26 | 30 | 140 | 100 | 3.16 |
| Norway | NOR | 30 | 13 | 17 | 21 | 16 | 32 | 31 | 130 | 138 | 1.51 |
| Poland | POL | 31 | 14 | 13 | 19 | 22 | 25 | 30 | 123 | 114 | 0.64 |
| Malaysia | MYS | 32 | 14 | 11 | 14 | 14 | 31 | 21 | 105 | 50 | 3.08 |
| South Africa | ZAF | 33 | 9 | 13 | 12 | 21 | 23 | 23 | 101 | 156 | 1.55 |
| Israel | ISR | 34 | 20 | 18 | 9 | 17 | 13 | 21 | 98 | 5 | 0.75 |
| Ireland | IRL | 35 | 4 | 13 | 13 | 24 | 23 | 18 | 95 | 350 | 1.61 |
| New Zealand | NZL | 36 | 9 | 14 | 6 | 17 | 35 | 13 | 94 | 44 | 1.29 |
| Russian Federation | RUS | 37 | 11 | 10 | 14 | 16 | 20 | 21 | 92 | 91 | 0.29 |
| Singapore | SGP | 38 | 11 | 14 | 17 | 13 | 21 | 16 | 92 | 45 | 0.99 |
| Jordan | JOR | 39 | 24 | 15 | 8 | 7 | 9 | 25 | 88 | 4 | 8.08 |
| Algeria | DZA | 40 | 9 | 10 | 10 | 9 | 9 | 26 | 73 | 189 | 5.52 |
| Tunisia | TUN | 41 | 6 | 6 | 16 | 6 | 16 | 23 | 73 | 283 | 3.65 |
| Slovenia | SVN | 42 | 7 | 5 | 10 | 16 | 18 | 15 | 71 | 114 | 2.47 |
| Saudi Arabia | SAU | 43 | 11 | 10 | 13 | 8 | 15 | 9 | 66 | – 18 | 2.86 |
| Argentina | ARG | 44 | 7 | 13 | 7 | 3 | 13 | 22 | 65 | 214 | 1.00 |
| Uzbekistan | UZB | 45 | 1 | 1 | | 12 | 31 | 16 | 61 | 1500 | 17.05 |
| Romania | ROU | 46 | 10 | 3 | 10 | 11 | 10 | 12 | 56 | 20 | 1.31 |
| Czech Republic | CZE | 47 | 6 | 4 | 8 | 9 | 12 | 14 | 53 | 133 | 0.61 |
| Nigeria | NGA | 48 | 8 | 10 | 3 | 6 | 9 | 17 | 53 | 113 | 2.32 |
| Sri Lanka | LKA | 49 | 11 | 8 | 11 | 7 | 9 | 6 | 52 | – 45 | 10.21 |
| Morocco | MAR | 50 | 3 | 12 | 7 | 18 | 2 | 9 | 51 | 200 | 3.85 |
| World | | | 2011 | 2033 | 2252 | 3070 | 3093 | 3637 | 16,096 | 81 | |

Somewhat peripheral in the group would be Sweden, given its low increase in production, and Italy, given the growth in its normalized impact.

- The second group, which we label as *advanced*, are countries characterized, like the previous group, by a high production, but now this production is fairly stable, and by a high and increasingly normalized impact, but without obtaining good values in subject specialization. The countries in this group appear in the upper left quadrants of Figs. 1 and 2. The prime example of this group would be the U.S., and we would also include France, Germany, China, and Japan. Peripheral in the group would be China, which has a very high value of growth in production, and France, with its relatively high value of increase in normalized impact.
- The third group, which we label as *intermediate*, is characterized by low production, low stabilized normalized impact, and low specialization. However, production increased during the period studied. They are not represented in Figs. 1 and 2 because their production

is less than 200 documents, but if they had been, they would have been positioned in the lower left quadrant of Fig. 1. The prime example of this group would be Russia, and we would also include Poland, Israel, and South Korea. Peripheral in the group would be Israel because of its low percentage variation in production.

- The fourth group, which we label as *specialists*, consists of countries which are characterized by a medium-low but growing production, above-average subject specialization, and high and growing normalized impact. The prime example of this group would be Algeria, and we would also include Austria, Switzerland, Denmark, Belgium, Hong Kong, Norway, Taiwan, Malaysia, Singapore, Argentina, the Czech Republic, Mexico, Morocco, Saudi Arabia, and Sri Lanka. The most peripheral are Sri Lanka and Saudi Arabia because of their percentage variation in production, Morocco and Malaysia because of their percentage variation in normalized impact, and the Czech Republic because of its subject specialization index. Some of these countries are represented in the upper right quadrant of Fig. 1

Table 2

Total citation of all the papers, citation per papers, Percentage of cited papers, temporal evolution of the normalized impact, normalized impact, and percentage variation in the normalized impact (period 2003–08) per country, ordered by normalized impact.

| Country | Total citation | Citation per paper | Percent. of cited papers | Normalized impact | | | | | | PV norm. impact | |
|--------------------|----------------|--------------------|--------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|-----------------|------|
| | | | | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | | |
| Denmark | 4422 | 14.94 | 86.49 | 0.85 | 1.68 | 1.76 | 2.21 | 1.66 | 2.9 | 1.92 | 241 |
| Austria | 1974 | 13.71 | 81.25 | 1.67 | 1.21 | 1.19 | 0.7 | 2.91 | 0.94 | 1.52 | -44 |
| Netherlands | 7458 | 16.99 | 83.14 | 2.07 | 1.03 | 1.46 | 1.11 | 1.53 | 1.58 | 1.46 | -24 |
| Switzerland | 4253 | 15.08 | 81.91 | 1.39 | 1.12 | 1.57 | 1.32 | 1.43 | 1.79 | 1.45 | 29 |
| Belgium | 3195 | 14.01 | 80.7 | 1.71 | 1.08 | 1.02 | 1.68 | 1.28 | 1.05 | 1.32 | -39 |
| Germany | 8992 | 12.66 | 80.7 | 1.16 | 1.38 | 1.34 | 1.05 | 1.4 | 1.58 | 1.31 | 36 |
| Sweden | 8195 | 14.43 | 83.63 | 1.63 | 1.21 | 1.49 | 1.12 | 1.03 | 1.3 | 1.27 | -20 |
| Turkey | 19,295 | 21.09 | 77.49 | 1.58 | 1.58 | 1.56 | 0.97 | 0.98 | 1.25 | 1.24 | -21 |
| Hong Kong | 3722 | 15.51 | 86.67 | 0.82 | 1.17 | 1.01 | 1.13 | 1.4 | 1.47 | 1.22 | 79 |
| Norway | 2341 | 18.01 | 80.77 | 0.84 | 1.49 | 1.1 | 0.84 | 1.88 | 0.85 | 1.22 | 1 |
| Greece | 5823 | 13.26 | 82 | 1.45 | 1.16 | 1.19 | 1.05 | 1.05 | 1.38 | 1.21 | -5 |
| Taiwan | 4135 | 15.37 | 81.78 | 1.17 | 1.17 | 0.99 | 1.76 | 1.3 | 0.83 | 1.17 | -29 |
| United Kingdom | 11,012 | 10.12 | 75.28 | 1.33 | 1.02 | 0.98 | 1.5 | 1.06 | 1.11 | 1.16 | -17 |
| India | 10,518 | 11.19 | 71.7 | 1.29 | 1.22 | 1.39 | 1.26 | 0.99 | 1.01 | 1.14 | -22 |
| Malaysia | 1147 | 10.92 | 65.71 | 1.47 | 0.98 | 1.42 | 1.11 | 0.95 | 1.07 | 1.14 | -27 |
| China | 15,849 | 13.47 | 71.79 | 0.99 | 1.39 | 1.11 | 1.31 | 1.15 | 0.99 | 1.13 | 0 |
| Singapore | 1333 | 14.49 | 81.52 | 1.14 | 1.21 | 1.1 | 1.3 | 0.89 | 1.26 | 1.13 | 11 |
| Argentina | 522 | 8.03 | 84.62 | 1.95 | 0.58 | 0.46 | 0.34 | 1.54 | 1.19 | 1.1 | -39 |
| Australia | 4836 | 10.51 | 71.96 | 1.16 | 1.12 | 0.94 | 1.32 | 1.1 | 0.92 | 1.09 | -21 |
| France | 5806 | 12.54 | 79.48 | 0.93 | 1.09 | 0.82 | 1.02 | 1.21 | 1.27 | 1.09 | 37 |
| Algeria | 610 | 8.36 | 76.71 | 0.74 | 0.58 | 1.26 | 2.08 | 1.3 | 0.9 | 1.08 | 22 |
| Czech Republic | 633 | 11.94 | 71.7 | 1.05 | 2.75 | 1.19 | 1.05 | 0.28 | 1.19 | 1.08 | 13 |
| Spain | 6791 | 12.41 | 80.44 | 1.02 | 0.95 | 1.23 | 1.21 | 0.98 | 1.03 | 1.08 | 1 |
| Mexico | 2338 | 9.66 | 76.45 | 1.21 | 1.19 | 0.99 | 1.09 | 1.04 | 0.67 | 1.06 | -45 |
| United States | 27,718 | 11.94 | 65.14 | 0.99 | 0.92 | 0.96 | 1.07 | 1.27 | 1.03 | 1.04 | 4 |
| Morocco | 715 | 14.02 | 80.39 | 1.46 | 0.75 | 1.01 | 1.47 | 0.71 | 0.3 | 1.01 | -79 |
| Saudi Arabia | 1179 | 17.86 | 81.82 | 1.22 | 1.83 | 0.84 | 1.02 | 0.44 | 1.02 | 1.01 | -16 |
| Canada | 8213 | 13.46 | 71.31 | 1.21 | 1.09 | 1.18 | 0.92 | 1.08 | 0.8 | 1 | -34 |
| Italy | 7998 | 13.7 | 75.86 | 0.97 | 1.15 | 1 | 0.89 | 0.94 | 1.07 | 1 | 10 |
| Sri Lanka | 435 | 8.37 | 73.08 | 0.54 | 1.28 | 1.45 | 0.61 | 0.98 | 1.23 | 1 | 128 |
| Ireland | 1037 | 10.92 | 81.05 | 1.32 | 1.4 | 0.84 | 1.05 | 0.92 | 0.67 | 0.98 | -49 |
| South Korea | 2879 | 10.66 | 73.7 | 0.91 | 1.3 | 1.1 | 1.18 | 1.02 | 0.71 | 0.97 | -22 |
| Japan | 10,686 | 12.3 | 73.88 | 0.84 | 1.04 | 0.96 | 1.01 | 1.05 | 0.94 | 0.96 | 12 |
| Thailand | 2141 | 10.24 | 78.95 | 0.89 | 0.64 | 0.84 | 1.11 | 1.05 | 0.97 | 0.95 | 9 |
| New Zealand | 1591 | 16.93 | 70.21 | 0.94 | 1.72 | 1.13 | 0.39 | 0.87 | 0.77 | 0.94 | -18 |
| Brazil | 2905 | 10.12 | 79.09 | 0.94 | 0.69 | 0.6 | 0.92 | 0.94 | 1.17 | 0.92 | 24 |
| South Africa | 621 | 6.15 | 71.29 | 0.37 | 0.58 | 0.88 | 0.71 | 1.49 | 0.99 | 0.92 | 168 |
| Finland | 1390 | 7.13 | 76.92 | 0.68 | 0.79 | 1.02 | 1 | 0.97 | 0.75 | 0.88 | 10 |
| Slovenia | 538 | 7.58 | 80.28 | 0.87 | 0.67 | 0.94 | 0.88 | 1.03 | 0.76 | 0.88 | -13 |
| Poland | 1116 | 9.07 | 71.54 | 1.02 | 0.86 | 0.77 | 0.55 | 0.67 | 1.28 | 0.87 | 25 |
| Portugal | 1364 | 9.54 | 71.33 | 0.83 | 0.95 | 0.45 | 1.04 | 0.72 | 0.95 | 0.84 | 14 |
| Israel | 1031 | 10.52 | 70.41 | 0.87 | 0.65 | 0.36 | 0.69 | 1.35 | 0.9 | 0.82 | 3 |
| Iran | 1348 | 8.22 | 70.73 | 0.86 | 0.89 | 0.83 | 1.01 | 0.65 | 0.74 | 0.77 | -14 |
| Romania | 544 | 9.71 | 82.14 | 0.56 | 1.08 | 0.81 | 0.91 | 0.51 | 0.67 | 0.72 | 20 |
| Tunisia | 416 | 5.7 | 68.49 | 0.73 | 0.45 | 0.81 | 0.44 | 0.48 | 0.85 | 0.68 | 16 |
| Jordan | 1427 | 16.22 | 68.18 | 0.7 | 1.34 | 0.64 | 0.42 | 0.54 | 0.34 | 0.67 | -51 |
| Egypt | 1475 | 10.54 | 69.29 | 0.62 | 0.85 | 0.67 | 0.79 | 0.64 | 0.34 | 0.64 | -45 |
| Nigeria | 535 | 10.09 | 60.38 | 1.13 | 0.91 | 1.12 | 0.31 | 0.66 | 0.26 | 0.64 | -77 |
| Russian Federation | 510 | 5.54 | 51.09 | 0.57 | 0.5 | 0.64 | 0.52 | 0.42 | 0.44 | 0.5 | -23 |
| Uzbekistan | 37 | 0.61 | 14.75 | 0.1 | 0 | | 0.22 | 0.06 | 0 | 0.07 | -100 |
| World | 335,338 | 20.83 | | | | | | | | | |

(both their SSI and their normalized impact exceed the global average).

- Finally, the fifth group, which we label as *initiates*, consists of countries with low but growing production, low stable normalized impact, and high subject specialization. If they had been represented in Figs. 1 and 2, most of them would be found in the lower right quadrants of both figures. The prime example of this group would be Uzbekistan, and we would also include Jordan, Thailand, Tunisia, Egypt, Slovenia, Nigeria, Portugal, Finland, Iran, Ireland, South Africa, Romania, New Zealand, and Brazil. Jordan is peripheral because of its percentage variation in production, as also is South Africa because of its high percentage variation of normalized impact.

We identified a total of 2189 institutions with production in Renewable Energy, Sustainability and the Environment worldwide. Table 3 lists those with a production of at least 50 documents. Of these institutions, 40 are universities and 11 governmental. In

addition to the total production in the period studied, the table lists their cites, cites per document, percentage of cited documents, and normalized impact.

The Technical University of Denmark is the institution with the greatest number of documents obtained in the period 2003–08, and also has the best normalized impact value (Fig. 3); in total cites, it descends to rank fifth, reflecting the major increase in its production during the period. It is followed by the Chinese Academy of Sciences, which is the institution with the greatest number of cites in the period, and Shanghai Jiao Tong University which, however, is several positions down in normalized impact (Fig. 3).

Karadeniz Technical University is the top-ranked institution in terms of cites per document, and also obtained a good normalized impact value. For this indicator, the institutions with greatest production descend considerably in ranking.

With respect to the percentage of cited documents, Chalmers University of Technology is the foremost institution.

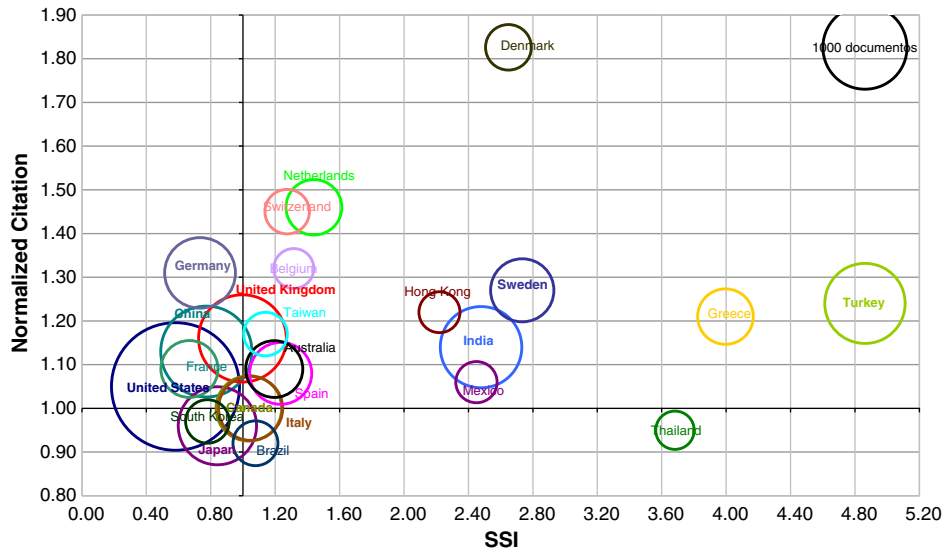


Fig. 1. Subject specialization index and normalized impact of countries with a production of at least 200 documents (period 2003–08). The horizontal and vertical axes represent the global averages, and they are used to define the quadrants mentioned in the text.

For the normalized impact, over 80% of the institutions are above the world average (i.e., with values above 1).

The countries with most institutions in the list are Sweden and Turkey (6 each), followed by China and the U.S. (5 each), and Japan (3).

Fig. 3 shows the production and normalized impact of the institutions with a production of at least 70 documents. The symbols in the figure distinguish the countries to which each institution belongs.

One can establish six groups of institutions according to the values of the indicators of Table 3:

- Group 1 is dominated by Chinese institutions, and includes the most complete in the sense of being characterized by having the most documents, more cites per document, and a greater normalized impact. “Utrecht University” is the prime example of this group. One can also include the following institutions: “Chinese Academy of Sciences”, “Shanghai Jiao Tong University”, “Indian Institute of Technology, Delhi”, “Tsinghua University”, “National

Institute of Advanced Industrial Science and Technology”, “Centre for Energy, Environment and Technology”, and “Ege University”.

- Group 2 is characterized, like the previous group, by institutions with high production and increasing normalized impact, but in this case fewer cites per document. This reflects their major increase in production and normalized impact over the course of the period studied. The prime example of this group is the “Technical University of Denmark”. One can also include: “Swiss Federal Institute of Technology”, “Centre National de la Recherche Scientifique”, “Universidad Nacional Autonoma de Mexico”, “Hong Kong Polytechnic University”, and “Delft University of Technology”.
- Group 3 comprises those institutions that have high levels of scientific production, but low levels of cites per document and normalized impact. The prime example of this group is the “National Renewable Energy Laboratory”. As well as this U.S. institution, there is a Greek university, the “National Technical University of Athens”.

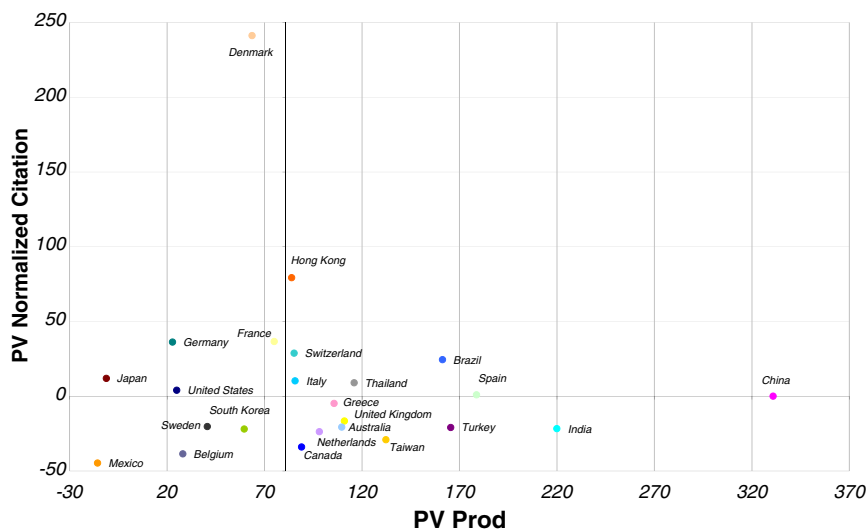


Fig. 2. Percentage variation of production, and percentage variation in normalized impact of the countries producing at least 200 documents (period 2003–08). The horizontal and vertical axes represent the global averages, and they are used to define the quadrants mentioned in the text.

Table 3

Most productive institutions in the subject category Renewable Energy, Sustainability and the Environment (institutions with a production of at least 50 documents; period 2003–08).

| Institution | Country | Ndoc | Cites | Cites per document | % Cited documents | Normalized citation |
|--|---------|------|-------|--------------------|-------------------|---------------------|
| Technical University of Denmark | DNK | 181 | 1966 | 10.86 | 64.64 | 2.22 |
| Chinese Academy of Sciences | CHN | 176 | 2994 | 17.01 | 76.14 | 1.28 |
| Shanghai Jiao Tong University | CHN | 158 | 2621 | 16.59 | 80.38 | 1.09 |
| Centre National de la Recherche Scientifique | FRA | 133 | 1731 | 13.02 | 73.68 | 1.22 |
| Universidad Nacional Autonoma de Mexico | MEX | 125 | 1351 | 10.81 | 77.6 | 1.21 |
| National Renewable Energy Laboratory | USA | 123 | 1189 | 9.67 | 50.41 | 0.81 |
| Hong Kong Polytechnic University | HKG | 108 | 1486 | 13.76 | 88.89 | 1.2 |
| National Technical University of Athens | GRC | 104 | 1408 | 13.54 | 65.38 | 0.88 |
| Indian Institute of Technology, Delhi | IND | 96 | 1819 | 18.95 | 81.25 | 1.55 |
| Swiss Federal Institute of Technology | CHE | 95 | 1269 | 13.36 | 52.63 | 1.41 |
| Tsinghua University | CHN | 91 | 1434 | 15.76 | 80.22 | 1.45 |
| National Institute of Advanced Industrial Science & Technology | JPN | 87 | 1431 | 16.45 | 73.56 | 1.26 |
| Centro de Investigaciones Energeticas, Medioambientales y Tecnologicas | ESP | 86 | 1730 | 20.12 | 81.4 | 1.18 |
| Lund University | SWE | 85 | 1233 | 14.51 | 87.06 | 1.54 |
| Delft University of Technology | NLD | 84 | 954 | 11.36 | 83.33 | 1.09 |
| Ege University | TUR | 83 | 1632 | 19.66 | 83.13 | 1.28 |
| Utrecht University | NLD | 80 | 2784 | 34.8 | 91.25 | 2.13 |
| Lawrence Berkeley National Laboratory | USA | 78 | 1325 | 16.99 | 80.77 | 1.28 |
| Uppsala University | SWE | 78 | 690 | 8.85 | 69.23 | 1.5 |
| Istanbul Technical University | TUR | 78 | 1929 | 24.73 | 70.51 | 1.26 |
| Fraunhofer Gesellschaft | DEU | 78 | 600 | 7.69 | 66.67 | 1.46 |
| Marmara University | TUR | 77 | 39 | 0.51 | 3.9 | 1.39 |
| Selcuk University | TUR | 76 | 1038 | 13.66 | 51.32 | 1.28 |
| Universidad Politecnica de Madrid | ESP | 75 | 732 | 9.76 | 72 | 0.81 |
| University of Colorado, Boulder | USA | 75 | 433 | 5.77 | 41.33 | 0.64 |
| Chalmers University of Technology | SWE | 74 | 1482 | 20.03 | 94.59 | 1.41 |
| Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt | DEU | 69 | 871 | 12.62 | 50.72 | 0.6 |
| Imperial College London | GBR | 68 | 755 | 11.1 | 77.94 | 1.39 |
| University of New South Wales | AUS | 65 | 1088 | 16.74 | 84.62 | 1.33 |
| University of California, Berkeley | USA | 64 | 978 | 15.28 | 78.13 | 1.31 |
| Tokyo Institute of Technology | JPN | 63 | 944 | 14.98 | 66.67 | 0.84 |
| City University of Hong Kong | HKG | 63 | 1127 | 17.89 | 82.54 | 1.26 |
| Tongji University | CHN | 63 | 743 | 11.79 | 73.02 | 0.94 |
| Council of Scientific and Industrial Research | IND | 62 | 584 | 9.42 | 53.23 | 1.38 |
| University of Western Ontario | CAN | 58 | 600 | 10.34 | 79.31 | 0.72 |
| Swedish University of Agricultural Sciences | SWE | 57 | 832 | 14.6 | 70.18 | 1.14 |
| Zhejiang University | CHN | 56 | 897 | 16.02 | 69.64 | 1.04 |
| Gazi University | TUR | 56 | 1239 | 22.13 | 67.86 | 1.22 |
| Aalborg University | DNK | 54 | 830 | 15.37 | 83.33 | 1.92 |
| Aristotle University of Thessaloniki | GRC | 54 | 538 | 9.96 | 83.33 | 1.24 |
| Karadeniz Technical University | TUR | 53 | 2226 | 42 | 73.58 | 1.58 |
| University of Tokyo | JPN | 53 | 708 | 13.36 | 69.81 | 0.93 |
| National University of Singapore | SGP | 53 | 768 | 14.49 | 83.02 | 1.31 |
| University of Waterloo | CAN | 52 | 1277 | 24.56 | 82.69 | 1.07 |
| Norwegian University of Science and Technology | NOR | 52 | 1422 | 27.35 | 76.92 | 1.63 |
| Linköpings Universitet | SWE | 51 | 362 | 7.1 | 70.59 | 1.19 |
| Consiglio Nazionale delle Ricerche | ITA | 50 | 478 | 9.56 | 70 | 1.1 |
| Sandia National Laboratories, New Mexico | USA | 50 | 184 | 3.68 | 18 | 0.19 |
| Catholic University of Leuven | BEL | 50 | 863 | 17.26 | 78 | 1.25 |
| National Taiwan University | TWN | 50 | 481 | 9.62 | 76 | 1.53 |
| Royal Institute of Technology | SWE | 50 | 1180 | 23.6 | 86 | 1.34 |

- Group 4 comprises mostly Swedish institutions, followed by Turkish and U.S. It is characterized, in contrast to the previous group, as being institutions with fewer documents, but more cites per document and greater normalized impact. The prime example of this group would be the “Karadeniz Technical University”. The other institutions that fit in this group are: the “Lawrence Berkeley National Laboratory”, “Istanbul Technical University”, “Chalmers University of Technology”, “University of New South Wales”, “University of California, Berkeley”, “City University of Hong Kong”, “Gazi University”, “Zhejiang University”, “Aalborg University”, “Norwegian University of Science and Technology”, “University of Waterloo”, “Royal Institute of Technology”, “Catholic University of Leuven”, “National University of Singapore”, “Swedish University of Agricultural Sciences”, and “Lund University”. If production had not been considered as a variable in this group, the “Norwegian University of Science and Technology” and “Karadeniz Technical University” would fit better into Group 1 since they have very high values of normalized impact and citations per document.
- Group 5 is almost the inverse of Group 1 because it is characterized by institutions with low values of production, cites per document, and normalized impact. The prime example of this group is “Sandia National Laboratories, New Mexico”. It also includes the “Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt”, “Universidad Politecnica de Madrid”, “University of Colorado, Boulder”, “Tongji University”, “Tokyo Institute of Technology”, “University of Western Ontario”, and “University of Tokyo”, although “Tongji University” and the “University of Tokyo” approach the global averages of some variables.
- Finally, Group 6 is characterized by institutions with low values of production and cites per document, but a high normalized impact. The prime example of this group would be the “National Taiwan University”, and the other institutions that would fit within this group would be: “Uppsala University”, “Fraunhofer Gesellschaft”, “Marmara University”, “Selcuk University”, “Imperial College London”, “Council of Scientific and Industrial Research”, “Aristotle University of Thessaloniki”, “Linköpings Universitet”, and “Consiglio Nazionale delle Ricerche”. It has to be mentioned that “Marmara

University” stands out as being the institution of all the groups with fewest cites per document throughout the period.

Groups 1 and 5 are the groups most clearly differentiated from the rest, one with very high values for all the variables, and the other with very low values.

Listed in Table 4 are the total production of journals in the subject category under study, their percentage variation of production, cites, relative impact (SJR), the evolution of SJR by year, and the percentage variation of SJR.

In terms of scientific production, the journal “Energy Conversion and Management” (ECM) had the greatest number of documents in the period 2003–08, followed by “Solar Energy Materials and Solar Cells” (SEMSC). These were also the journals which received most cites in the period. They were followed by “Renewable Energy” (RENENE) and “Energy” (ENERGY) (Fig. 4).

Considering only the most productive journals, the greatest percentage variation in 2008 over 2003 corresponded to “Earth”, followed by “Renewable and Sustainable Energy Reviews” and “Applied Solar Energy (English translation of *Geliotekhnika*)”. “Solar Energy Materials and Solar Cells”, which was second ranked in production, descended to the last positions in terms of percentage variation, reflecting its maintenance of a constant number of papers throughout the period.

Relating the two most productive journals with their impact, one observes that “Solar Energy Materials and Solar Cells” (SEMSC) drops to third place and “Energy Conversion and Management” (ECM) to seventh (Fig. 4). The journals that are ranked ahead of the latter in impact are “Annual Review of Environment and Resources” (ARERE), “Environmental Research Letters” (ERL), “Renewable and Sustainable Energy Reviews” (RSER), “Biomass and Bioenergy” (BIOMBIOE), and “Solar Energy” (SOLEN). It should be noted that this indicator does not vary greatly among the various journals, with only 25% of them surpassing the global average (0.065).

The journal with the greatest average annual growth in impact is “Annual Review of Environment and Resources” (ARERE), followed by “Biomass and Bioenergy” (BIOMBIOE). “Earth” (EARTH), which ranked fifth in terms of production, descends to the last position.

Fig. 4 shows the number of documents and the relative impact (SJR) of journals with a production of at least 200 documents.

One can establish five groups of journals according to the values of the indicators of Table 4:

- The journals of Group 1 can be considered the most complete since they are characterized by having a high number of documents, more cites in the period, and greater impact. The prime example of this group is the journal “Solar Energy Materials and Solar Cells”. We would also include “Solar Energy”, “Energy Conversion and Management”, and “Biomass and Bioenergy”, although this last journal is distant from the others in having fewer documents.
- The journals of Group 2 have high values of production and cites, but in this case their impact does not surpass the global average. “Renewable Energy” is the prime example of this group of journals. We would also include “Resources, Conservation and Recycling”, “Journal of Cleaner Production”, “Energy and Buildings”, “Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics”, and “Energy”. The first of these, “Resources, Conservation and Recycling”, is distant in the sense that it has less than half the number of documents of “Renewable Energy”.
- Group 3 is characterized by journals with high values of production but low numbers of cites and SJR. The prime example would be “International Solar Energy Conference”.
- Group 4 is very different from the first, being characterized by journals with few documents, few cites, and a low SJR. The prime example of this group would be “International Journal of Sustainable Development and Planning”. We would also include “IET Renewable Power Generation”, “International Journal of Innovation and Sustainable Development”, “International Journal of Sustainable Energy”,

“International Journal of Green Energy”, “Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy”, “Thermal Science”, “Research Journal of Chemistry and Environment”, “Wind and Structures, An International Journal”, “Wind Energy”, “International Journal of Photoenergy”, “Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME”, “Environmental Impact Assessment Review”, “Environmental Progress and Sustainable Energy”, “Energy and Environment”, “Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering”, “Applied Solar Energy (English translation of *Geliotekhnika*)”, and “Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects”, although the journal “Environmental Impact Assessment Review” comes close to the global averages in some of the variables.

- Group 5 is characterized by journals with few documents, a medium-low number of cites, but now a greater SJR. The prime example would be “Environmental Research Letters”. We would also include “Annual Review of Environment and Resources”, “Energy for Sustainable Development”, “Environmental Science and Policy”, and “Renewable and Sustainable Energy Reviews”. “Annual Review of Environment and Resources” is the journal that has the highest impact, not only in this group, but of all the journals in the study.

Conclusions

The analysis has shown that total world production increased over the course of the period studied (2003–08), and that some developing countries stand out in the world as a whole for some of the variables studied.

During this period, the U.S., China, U.K., India, Turkey, and Japan were the countries with the greatest production and most cites, and China was the country with the greatest increase in production. Turkey and Greece, however, showed the greatest relative effort being made in Renewable Energy, Sustainability and the Environment. The countries with the greatest impact were Denmark, The Netherlands, Switzerland, Belgium, and Germany, with the first of these having the greatest increase in this period.

The countries can be classified into 5 groups:

- Outstanding countries – These are highly specialized, and have a high level of internationally recognized scientific production which increased considerably over the period studied.
- Advanced countries – These are international powers with a high, stable, and internationally recognized scientific production, which is the result of volume rather than any particular specialization.
- Intermediate countries – Their scientific production is small in volume and not well recognized, with a concomitant low level of subject specialization despite their having experienced high growth.
- Specialist countries – They have just a low to medium volume of production, but one that is growing and is highly specialized, as a result of which they achieve a high and growing value of normalized impact.
- And finally, initiate countries – These have limited scientific production, and consequently can obtain values of subject specialization which are fairly high, although not statistically significant. Their impact is low, and varied little during the period studied.

The institutions were classified into 6 groups:

- The first consists of institutions with high scientific production and impact throughout the period.
- The second are institutions also with high levels of production and impact, but which are recent as reflected in their rapid growth in the period.
- The third are institutions that have high production but low impact.
- The fourth are institutions with medium production but notable impact.
- The fifth are institutions with little production and low impact.

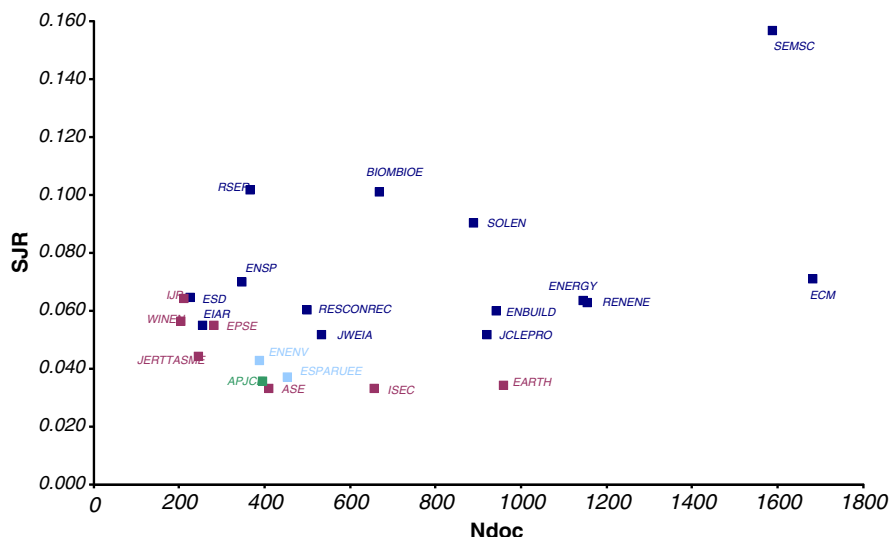


Fig. 4. Ndoc and SJR of journals in the subject category Renewable Energy, Sustainability and the Environment (production of at least 200 documents; period 2003–08).

The other three groups correspond to institutions with little scientific production, and which therefore have little weight in the production of their respective countries.

And finally, 5 groups were established for the journals used in the study:

- The first group consists of journals which, with a high scientific production, achieve a high impact.
- The second group consists of journals of high production but below-average impact.
- The third group consists of journals of high production but very low impact.
- The fourth group consists of journals with a low publication volume and little impact.
- The fifth group consists of journals with a low publication volume but high impact.

As we said at the beginning, although the indicators used are to study the quantity and quality of scientific publications, they may not represent the importance of the issues treated.

Acknowledgements

This work was financed by the Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008–2011 and the Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) as part of research projects TIN2008-06514-C02-01 and TIN2008-06514-C02-02.

References

Archambault É, Campbell D, Gingras Y, Larivière V. Comparing bibliometric statistics obtained from the Web of Science and Scopus. *J Am Soc Inf Sci Technol* 2009;60(7): 1320–6.

- Bollen J, Van de Sompel H, Hagberg A, Chute R. A principal component analysis of 39 scientific impact measures. *PLoS One* 2009;4(6):e6022. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0006022>. [Last visit on 10 June 2007].
- Celiktas MS, Sevgili T, Tocar G. A snapshot of renewable energy research in Turkey. *Renew Energy* 2009;34:1479–86.
- Dalpe R. Bibliometric analysis of biotechnology. *Scientometrics* 2002;55(2):189–213.
- Garfield E. Contract research services at ISI. Citation analysis for governmental, industrial and academic clients. *Curr Contents* 1992;23:5–13.
- González Pereira B, Guerrero Bote VP, Moya Anegón F. A new approach to the metric of journals' scientific prestige: the SJR indicator. *J Informetrics* 2010;4:379–91.
- Hane P. 2004. Elsevier announces Scopus service. Information today, <http://newsbreaks.infotoday.com/nbreader.asp?ArticleID=16494>. [Last visit on 9 July 2009]
- Hassan E. The evolution of the knowledge structure of fuel cells. *Scientometrics* 2005;62(2):223–38.
- Kajikawa Y, Takeda Y. Structure of research on biomass and bio-fuels: a citation-based approach. *Technol Forecast Soc Chang* 2008;75(9):1349–59.
- Kajikawa Y, Yoshikawa J, Takeda Y, Matsushima K. Tracking emerging technologies in energy research: toward a roadmap for sustainable energy. *Technol Forecast Soc Chang* 2008;75:771–82.
- Leydesdorff L, Moya Anegón F, Guerrero Bote VP. Journal maps on the basis of Scopus data: a comparison with the Journal Citation Reports of the ISI. *J Am Soc Inf Sci Technol* 2010;61(2):352–69.
- Moya Anegón F, Chinchilla Rodríguez Z, Corera Álvarez E, Muñoz Fernández F, Vargas Quesada B, Herrero Solana V. Indicadores Bibliométricos de la Actividad Científica Española: ISI, Web of Science, 1998–2002. Madrid: FECYT; 2004.
- Moya Anegón F, Chinchilla Rodríguez Z, Vargas Quesada B, Corera Álvarez E, Muñoz Fernández FJ, González Molina A, Herrero Solana V. Coverage analysis of Scopus: a journal metric approach. *Scientometrics* 2007;73(1):53–78.
- Pickering B. Elsevier prepares Scopus to rival ISI Web of science. *Information World Review*; 2004.
- Romo Fernández LM, López Pujalte C, Guerrero Bote VP. Analysis of Europe's scientific production on renewable energies. *Renew Energy* 2011;36(9):2529–37.
- Scimago Institutions Rankings. available online at <http://www.scimagoir.com/methodology.php> 2010. accessed 5 June.
- Strehl L, Dos Santos CA. Quality indication of scientific activity [Indicadores de qualidade da atividade científica]. *Ciencia Hoje* 2002;31(186):34–9.
- Thomas SM. The evaluation of plant biomass research: a case study of the problems inherent in bibliometric indicators. *Scientometrics* 1992;23(1):149–67.
- Tsay M. A bibliometric analysis of hydrogen energy literature, 1965–2005. *Scientometrics* 2008;75(3):421–38.
- Uzun A. National patterns of research output and priorities in renewable energy. *Energy Policy* 2002;30:131–6.



ARTÍCULO 3:

9.3. Co-word based thematic analysis of renewable energy (1990-2010).

Romo-Fernández, L.M, Guerrero-Bote, V.P. and Moya-Anegón, F.

Accepted in:

Scientometrics

Co-word based thematic analysis of renewable energy (1990–2010)

Luz M. Romo-Fernández · Vicente P. Guerrero-Bote · Félix Moya-Anegón

Received: 12 November 2012
© Akadémiai Kiadó, Budapest, Hungary 2013

Abstract This article describes an analysis of keywords which was aimed at revealing publication patterns in the field of renewable energy, including the temporal evolution of its different research lines over the last two decades. To this end, we first retrieved the records of the sample, then we processed the keywords to resolve their obvious problems of synonymy and to limit the study to those most used. The final results showed a clear increase in scientific production related to alternative energies, and a structure corresponding to five major clusters which, at a finer level of resolution, were decomposed into 22. We analyzed the structure of the clusters and their temporal evolution, paying particular attention to uncovering the bursty periods of the different lines of research.

Keywords Bibliometrics · Co-word analysis · Renewable energy · Clustering

Introduction

The science and technology of sustainable and renewable energies are very important for the future of our economy and society. There has been a major growth in research effort to advance the development of these energy sources (Kajikawa et al. 2008). However, the trends in renewable energy systems have received attention in only a few, but nevertheless interesting, scientometric studies (Romo-Fernández et al. 2011, 2012).

Retrieval of published scientific information is facilitated by databases that harvest and organize the references contained in these papers, and thus allow one to retrieve works published in all disciplines. By studying the works collected in these databases, one can deduce what have been the trends in a given discipline in any period, and obtain information

L. M. Romo-Fernández · V. P. Guerrero-Bote (✉)
Department of Information and Communication, SCImago Group, University of Extremadura,
Badajoz, Spain
e-mail: guerrero@unex.es

F. Moya-Anegón
CSIC, CCHS, IPP, SCImago Group, Madrid, Spain

about the principal lines of research in different disciplines (Romo-Fernández et al. 2011; Guerrero-Bote et al. 2009; Miguel et al. 2011; López et al. 2008; Leydesdorff et al. 2010).

To aid in this task, the databases include keywords associated with the references to describe their content. Some databases include keywords that are assigned by professional indexers belonging to the database managers, and they may also include keywords that are assigned by the authors themselves. Analysis of the keywords used in a scientific paper aids in determining which topic it deals with without the need to consult the full text, and the keywords which are most commonly assigned in a discipline can reveal its thematic structure.

Many researchers have analyzed the keywords of scientific works as a way to study the ideas and lines of research in different fields. Examples have been information retrieval (Ding et al. 2001), ecology (Neff and Corley 2009), technology forecasting and visualization (Woon et al. 2009), hydrogen energy and fuel cells (Chen et al. 2010), solid waste (Fu et al. 2010), the thematic evolution of journals (Viedma del Jesus et al. 2011), desalination (Tanakaa and Ho 2011), *Helicobacter pylori* (Suk et al. 2011), and biodiversity and conservation (Liu et al. 2011).

Algorithmic procedures have been designed and applied to detect bursty periods in the output of different areas (Kleinberg 2002). The published literature can be regarded as document streams that arrive continuously over time. Each stream is characterized by topics that appear, grow in intensity for a period of time, and then fade away. The intuitive premise is that the appearance of a topic in a document stream is signaled by a burst of activity, with certain features rising sharply in frequency as the topic emerges.

Using keywords, researchers have developed the technique of co-word analysis in which a network is generated with the different keywords connected by links weighted by the number of papers in which the keywords at each end of the link co-occur (Callon et al. 1991). The traditional method in this analysis is then to apply a clustering procedure based on the two features of cohesion and centrality. These are used to represent the clusters on a strategic diagram with the aim of bringing out the contribution of the different clusters to the overall network structure (Callon et al. 1995).

The first of these features, cohesion, is a measure of the intensity of the relationships linking the keywords that make up a particular cluster. The stronger these relationships are, the more coherent and integrated will be the set of keywords of that particular cluster. This measure provides a good representation of the cluster's capacity to maintain itself and grow over time in a particular field (Callon et al. 1995). The second feature, centrality, is a measure of the intensity of the relationships of a cluster with other clusters. Greater centrality indicates that the scientific community considers the research topics represented by the cluster to be crucial (Callon et al. 1995).

Our objective with the present work was to reveal the thematic structure of Renewable Energy research, in this sense our research questions are: Which are the main topics that structure research in renewable energy? How they relate to each other? Which are the more central themes and which more specialized? What internal cohesion of each topic is? But we are also interested in a temporal and burst analysis of this research topics: can you consider they have had periods of bursting? Which are the most important keywords bursty periods?. We have carried out this studio by analyzing the cooccurrence of the keywords associated with the research papers of a very representative sample of that discipline.

Materials and methods

The data used for the study were taken from Elsevier's Scopus database (Hane 2004; Pickering 2004), one of the bibliographic databases covering the greatest number of

journals. Despite its short time on the market, this product has already been the subject of several studies attempting to characterize it (Archambault et al. 2009; Leydesdorff et al., 2010; Moya Anegón et al. 2007), and has been used in many scientometric studies (Gorraiz et al. 2011; Jacso 2011; Corera Álvarez and Moya-Anegón 2009; Romo-Fernández et al. 2011, 2012). It includes two types of keywords for each record: “Author Keywords” which are assigned by the authors of the document, and “Index Keywords” which are added by professional indexers. We here used the “Author Keywords” since they are more numerous, thus providing a more detailed description and avoiding bias in the indexing process.

Given the difficulty of retrieving all the papers on Renewable Energy because of the large number of journals in which they are published, the wide variety of topics covered in their scope, and the potential for biasing the results due to whatever specific choice of search equations we were to use, we decided to restrict the study to the papers published in one of the most prestigious journals in the field, whose title and scope coincides with our area of study— “*Renewable Energy*” from 1990 to 2010. We are aware that extrapolating the results for one journal to an entire field may introduce a bias as well, we are trusting that this journal is a reflection of the whole field, and this is one of the limitations of our study.

For this task we have considered only the articles, because they are the scientific contributions of higher rank. Although the reviews receive a greater number of citations, their scientific contribution is less, and may introduce considerable noise dealing with often vast topics.

Once the records and their keywords (15,429) had been retrieved, we carried out a process in which all the data recovered was entered into an ad-hoc database designed to allow the pertinent queries to be made so as to obtain quantitative data. To resolve the various problems represented by synonyms, singular/plural, hyphenated or unhyphenated descriptors, etc., the various forms of any given keyword were merged into a single version.

For the clustering analysis, we used a procedure based on the community detection technique of Girvan and Newman (2002) modified recently by Van Eck and Waltman (2010a). It is based on revealing the communities in networks by progressively eliminating links that have the greatest betweenness, and on applying modularity as a measure of the strength of participation in those communities. Various approaches have been described to make this (NP-complete) problem solvable. The work of Van Eck and Waltman (2010a) presents an optimization algorithm with weighable and parameterizable modularity, and allows one to modulate the size of the communities by setting a parameter for the resolution.

The cohesion defined by Callon, Courtial and Penan (1995) has been used as a measure of the coherence of the different clusters:

$$Cohesion_G = \frac{\sum_{i,j \in G} \frac{C_{ij}^2}{C_i \cdot C_j}}{n}$$

where:

- G Is a cluster
- n Is the number of elements of the cluster G
- C_i Is the number of occurrences of the term i
- C_{ij} Is the number of concurrences of the term i and the term j

Van Eck and Waltman (2010b) also provide a new method denominated VOS to find the layout that solves some of the known shortcomings of multi-dimensional scaling (MDS).

The aim of both these methods is to place the elements in a low-dimensional space, so that the distance between two points reflects the similarity between those elements as accurately as possible in the sense that the stronger the relationship between two elements, the shorter the distance between them. In this type of layout, the elements located in the centre of the map are usually the most extensively recognized by the other elements or at least are the best connected, while those on the periphery are less so. The difference between the two methods is that, unlike MDS, VOS does not give equal weight to all pairs of elements, but gives less weight to pairs with less similarity under certain conditions, equivalent to Sammon (1969) mapping. As a result, while MDS has a strong tendency to place the documents on a circular structure, VOS does not appear to impose any such artificial structure.

In the maps that we shall present, the size of the font used for the labels and the size of the disc will depend on the number of documents associated with each keyword. The maps will only display the most prominent labels so as to avoid overlap, and similarly only the most important links will be shown. Colour will be used to distinguish the different clusters. These maps were constructed using VOSviewer (Van Eck and Waltman 2010a).

For the burst analysis of the information stream represented by the temporal evolution of the keywords, we used Kleinberg's burst algorithm (Kleinberg, 2002) which formalizes the modeling of a bursty stream of information in such a way that the bursts can be robustly and efficiently identified, and can provide an organizational framework for analyzing the underlying content. The approach is based on modeling the stream of information using an infinite-state automaton in which bursts appear naturally as state transitions. It can be viewed as drawing an analogy with models from queueing theory for bursty network traffic.

In our case, a two-state automaton has been associated with each keyword (or cluster) (a slower base state corresponds to the average rate of appearance of the keyword (or cluster), while a burst state has twice the rate of the base state). At any given point in time, the automaton can be in one of the states, and transitions between states are determined probabilistically. Thus, as state transitions are modeled as relatively low-probability events, the bursts that are computed by the algorithm tend to persist through periods of noise. In each burst interval, the automaton is more likely to be in the burst state than the base state; the weight of the interval is the factor by which the probability of the burst state exceeds the probability of the base state over the course of the interval. Essentially, the weight thus represents our "confidence" that the automaton is indeed in the burst state (Kleinberg 2004), although Mane and Börner (2004) also interpret them as strengths.

Thus, the algorithm outputs the start and end time of a burst as well as its weights for each keyword. The Network Workbench has been used to calculate burst intervals (<http://nwb.cns.iu.edu/>) of every keyword or cluster.

Results and discussion

We analyzed a total of 4,127 articles published in the journal *Renewable Energy* extracted from the Scopus database corresponding to the period 1990–2010. After processing, we were left with 15,429 keywords. Most appeared on just a single occasion, and only 146 had a frequency greater than 50.

As one observes in Table 1, the most frequently used keyword was wind power, belonging to Clusters A (R1) and 3 (R2), and with a frequency of 1,137. This was followed by: solar-energy, in Clusters D (R1) and 8 (R2), with a frequency of 982; solar-radiation,

Table 1 Temporal evolution of the most frequent keywords (frequency of at least 200), with identification of the clusters (for Resolutions 1 and 2) to which they belong (period 1991–2010)

| Keyword | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------------|------------|------|
| Wind power | 11 | 16 | 11 | 66 | 25 | 63 | 16 | 25 | 76 | 35 | 24 | 34 |
| Solar-energy | 9 | 18 | 36 | 92 | 22 | 80 | 18 | 78 | 69 | 52 | 31 | 29 |
| Solar-radiation | 29 | 39 | 44 | 82 | 32 | 48 | 10 | 51 | 49 | 48 | 20 | 39 |
| Renewable energy-resources | | 17 | 34 | 44 | 16 | 60 | 3 | 37 | 30 | 24 | 30 | 51 |
| Mathematical models | 10 | 17 | 32 | 51 | 11 | 41 | 8 | 26 | 24 | 39 | 17 | 14 |
| Solar power | 1 | 6 | 7 | 34 | 13 | 8 | 8 | 23 | 22 | 18 | 21 | 44 |
| Wind-turbine | 1 | 7 | 8 | 36 | 8 | 23 | 4 | 7 | 35 | 11 | 3 | 16 |
| Computer simulation | 1 | 2 | 7 | 15 | 5 | 34 | 4 | 18 | 16 | 19 | 11 | 15 |
| Optimization | | 3 | 2 | 17 | 5 | 9 | 1 | 13 | 11 | 11 | 6 | 1 |
| Renewable resources | | | | | 1 | | | | 1 | 3 | 7 | 4 |
| Energy-utilization | | 2 | 7 | 93 | 12 | 58 | 3 | 29 | 25 | 11 | 16 | 1 |
| Photovoltaic systems | 2 | 3 | 3 | 9 | 4 | 9 | 2 | 9 | 2 | 4 | 19 | 16 |
| Power-generation | 1 | 4 | 1 | 16 | 5 | 8 | 2 | 3 | 5 | 4 | 2 | 8 |
| Bio-mass | | | 4 | 31 | 6 | 23 | | 5 | 32 | 17 | 10 | 12 |
| Alternative energies | | 2 | 6 | 2 | 24 | 3 | 10 | 20 | 42 | 30 | 17 | 14 |
| Eurasia | | | | | | | | | | | | |
| Heat-transfer | 3 | 4 | 5 | 11 | 8 | 19 | 2 | 9 | 22 | 12 | 7 | 20 |
| Energy-efficiency | | 2 | 2 | 4 | 6 | 40 | 1 | 14 | 8 | 16 | 14 | 3 |
| Solar collectors | | 7 | 8 | 43 | 12 | 30 | 7 | 17 | 29 | 13 | 10 | 14 |
| Electric-power generation | | 4 | 12 | 51 | 3 | 35 | 1 | 11 | 31 | 12 | 4 | 4 |
| Photovoltaic cells | 3 | 8 | 5 | 18 | 8 | 33 | | 30 | 4 | 14 | 17 | 9 |
| Energy policies | | | 10 | 49 | 3 | 21 | | 10 | 26 | 14 | 6 | 3 |
| Performance assessments | | | | | | | | | 4 | 6 | | 17 |
| Electricity-generation | | 2 | 5 | | 8 | 6 | 4 | 7 | 6 | 7 | 7 | 7 |
| Energy-conservation | 1 | 1 | 4 | 43 | 11 | 39 | | 17 | 5 | 11 | 6 | 7 |
| Solar-cells | 4 | 5 | 4 | 23 | 16 | 24 | | 23 | 6 | 9 | 9 | 5 |
| Energy resources | 8 | 3 | 4 | 8 | 6 | 7 | 1 | 10 | 24 | 15 | 10 | 8 |
| Buildings | 3 | 2 | 2 | 26 | 4 | 33 | 1 | 14 | 1 | 4 | 7 | 5 |
| Cooling | | | | 12 | 5 | 9 | 3 | 16 | 2 | 8 | 3 | 4 |
| Heating | 5 | 1 | | 6 | 2 | 11 | 1 | 3 | 1 | 4 | 4 | 5 |
| Photovoltaic effects | 2 | | 2 | 8 | 5 | 20 | 2 | 36 | 3 | 8 | 6 | 3 |
| Keyword | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | Total | Cluster R1 | Cluster R2 | |
| Wind power | 81 | 60 | 41 | 59 | 89 | 147 | 108 | 150 | 1,137 | A | 3 | |
| Solar-energy | 22 | 41 | 22 | 62 | 60 | 84 | 87 | 70 | 982 | D | 8 | |
| Solar-radiation | 27 | 48 | 27 | 33 | 53 | 75 | 54 | 75 | 883 | E | 2 | |
| Renewable energy-resources | 35 | 60 | 31 | 47 | 50 | 57 | 82 | 35 | 743 | C | 4 | |
| Mathematical models | 15 | 22 | 38 | 82 | 116 | 81 | 10 | 19 | 673 | E | 2 | |
| Solar power | 61 | 40 | 36 | 33 | 37 | 59 | 81 | 72 | 624 | D | 8 | |
| Wind-turbine | 27 | 15 | 31 | 36 | 72 | 86 | 61 | 82 | 569 | A | 7 | |
| Computer simulation | 30 | 11 | 20 | 56 | 89 | 107 | 4 | 27 | 491 | D | 12 | |

Table 1 continued

| Keyword | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | Total | Cluster R1 | Cluster R2 |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------------|------------|
| Optimization | 13 | 10 | 15 | 28 | 27 | 89 | 59 | 73 | 393 | A | 15 |
| Renewable resources | 18 | 21 | 18 | 35 | 36 | 64 | 85 | 95 | 388 | C | 20 |
| Energy-utilization | 3 | 15 | 8 | 24 | 34 | 31 | 4 | 5 | 381 | C | 11 |
| Photovoltaic systems | 32 | 21 | 12 | 29 | 24 | 50 | 52 | 67 | 369 | C | 10 |
| Power-generation | 17 | 16 | 24 | 21 | 23 | 83 | 67 | 52 | 362 | A | 22 |
| Bio-mass | 10 | 9 | 12 | 9 | 22 | 39 | 62 | 32 | 335 | B | 6 |
| Alternative energies | 52 | 33 | 19 | 10 | 8 | 5 | 7 | 27 | 331 | C | 4 |
| Eurasia | | 26 | 33 | 46 | 52 | 74 | 82 | 8 | 321 | C | 13 |
| Heat-transfer | 16 | 19 | 20 | 19 | 27 | 43 | 31 | 22 | 319 | D | 5 |
| Energy-efficiency | 4 | 5 | 16 | 20 | 24 | 50 | 45 | 40 | 314 | D | 11 |
| Solar collectors | 10 | 11 | 19 | 13 | 28 | 19 | 12 | 7 | 309 | D | 8 |
| Electric-power generation | 6 | 9 | 6 | 27 | 38 | 27 | 8 | 15 | 304 | A | 18 |
| Photovoltaic cells | 9 | 10 | 4 | 27 | 26 | 42 | 14 | 4 | 285 | C | 10 |
| Energy policies | 7 | 4 | 4 | 9 | 10 | 36 | 33 | 25 | 270 | C | 4 |
| Performance assessments | 5 | 8 | 4 | 11 | 25 | 54 | 64 | 61 | 259 | D | 1 |
| Electricity-generation | 18 | 26 | 13 | 20 | 20 | 29 | 26 | 45 | 256 | A | 16 |
| Energy-conservation | 2 | 6 | 6 | 7 | 13 | 22 | 23 | 20 | 244 | C | 11 |
| Solar-cells | 9 | 5 | 5 | 12 | 10 | 27 | 13 | 12 | 221 | C | 10 |
| Energy resources | 5 | 11 | 14 | 15 | 14 | 19 | 18 | 20 | 220 | C | 4 |
| Buildings | 8 | 11 | 6 | 14 | 8 | 22 | 34 | 8 | 213 | D | 11 |
| Cooling | 11 | 10 | 12 | 8 | 21 | 28 | 34 | 23 | 209 | D | 5 |
| Heating | 9 | 16 | 10 | 13 | 22 | 25 | 32 | 37 | 207 | D | 5 |
| Photovoltaic effects | 9 | 7 | 7 | 8 | 2 | 18 | 27 | 29 | 202 | C | 10 |

in Clusters E (R1) and 2 (R2), with a frequency of 883; and renewable energy-resources, in Clusters C (R1) and 4 (R2), with a frequency of 743.

The keywords were classified into 5 clusters using Resolution 1 (R1), and into 22 clusters using Resolution 2 (R2). Although the clustering algorithm is not hierarchical, most of the R2 clusters are included in, and therefore may be considered as belonging to, other R1 clusters.

With respect to the five R1 clusters, Cluster A corresponds to wind and tides, Cluster B to fuel, diesel, biomass, etc., Cluster C to policies and socioeconomic effects, etc., Cluster D to solar energy, efficiency and transfer, etc., and Cluster E to the climate and the methods used for its analysis.

Considering the correspondence between the two resolutions studied, we found that: R2 Clusters 3, 7, 9, 16, 17, 18, and 22 fell within Cluster A of Resolution 1; Clusters 1, 6, and 21 within Cluster B; Clusters 4, 10, 11, 13, 14, 19, and 20 within Cluster C; Clusters 5, 8, 12, and 15 within Cluster D; and Cluster 2 within Cluster E. The details of these results are presented in Table 2.

The following figures show the co-occurrence maps of the keywords analyzed. As mentioned in [Materials and methods](#), the font size of the label and the size of the disc reflect the number of documents associated with each keyword, and the colour of the disc of each keyword will indicate the cluster to which it belongs (each descriptor belongs to a

Table 2 Structure of the clusters of Resolutions 1 and 2, with the thematic description of the R1 clusters, and the main keywords of the R2 clusters

| R1 | | R2 | |
|-------------------|---------------------------------------|-----------|---|
| CLUSTER A 43 % | Wind and tides, generation | 3 (20 %) | Wind power, electric utility, wind velocities, wind effects, wind, wind speed |
| | | 7 (18 %) | Wind turbine, turbines, tidal power, rotors, turbomachine blades, aerodynamics |
| | | 9 (13 %) | Asynchronous generators, control systems, energy storage, fuel-cells |
| | | 16 (9 %) | Electricity-generation |
| | | 17 (8 %) | Computation theory |
| | | 18 (8 %) | Electric-power generation |
| | | 22 (9 %) | Power generation |
| CLUSTER B | Combustion, diesel and biomass | 1 (14 %) | Combustion, ethanol, biofuel, leakage, alternative fuel, fuel consumption, diesel-engines, diesel fuel, ... |
| | | 6 (12 %) | Biomass, solid wastes, biogas, methane, gasification, fermentation, pyrolysis, wood |
| | | 21 (3 %) | Comparative studies |
| CLUSTER C | Political and socio-economic effects | 4 (33 %) | Renewable energy-resource, resources development, developing-countries, alternative energies, ... |
| | | 10 (16 %) | Photovoltaic effects, photovoltaic systems, photovoltaic cells, solar power generation, ... |
| | | 11 (9 %) | Energy-conservation, energy-utilization |
| | | 13 (15 %) | Asia, Eurasia, Far East |
| | | 14 (6 %) | Costs, cost-benefit analysis, investments |
| | | 19 (3 %) | Europe, Southern Europe |
| | | 20 (10 %) | Renewable resources |
| CLUSTER D | Solar energy, efficiency and transfer | 5 (20 %) | Heat-transfer, adsorption, activated carbons, refrigerants, cooling systems, air-conditioning, ... |
| | | 8 (34 %) | Solar-energy, solar absorbers, solar dryers, solar collectors, performance, solar power, solar heating |
| | | 12 (17 %) | Computer simulation, simulations, modeling |
| | | 15 (7 %) | Desalination, distillation, water supply, solar equipment |
| CLUSTER E | Climate and methods used for analysis | 2 (33 %) | Climatology, irradiation, solar-radiation, climate-change, sun, mathematical models, meteorology, ... |

cluster). The maps show the most important relationships between keywords, in Figs. 1 and 7 only one thousand links have been shown, whilst in Figs. 2, 3, 4, 5, 6 two thousand have been shown (in all the network).

Figure 1 shows the Resolution-1 map of the co-occurrences between the different keywords in the period studied. As one observes, Cluster C (blue) is the most central, reflecting the strength of its associations with the other clusters of the network—a topic with high centrality is close to the centre of the network. Cluster D (yellow) is that with the greatest closeness between its different keywords. Cluster B (green) is the most specialized, as one observes on the map, it stretches out away from the other clusters, with two parts distinguishable, one for biomass and the other (highly cohesive in itself) for diesel-engines.

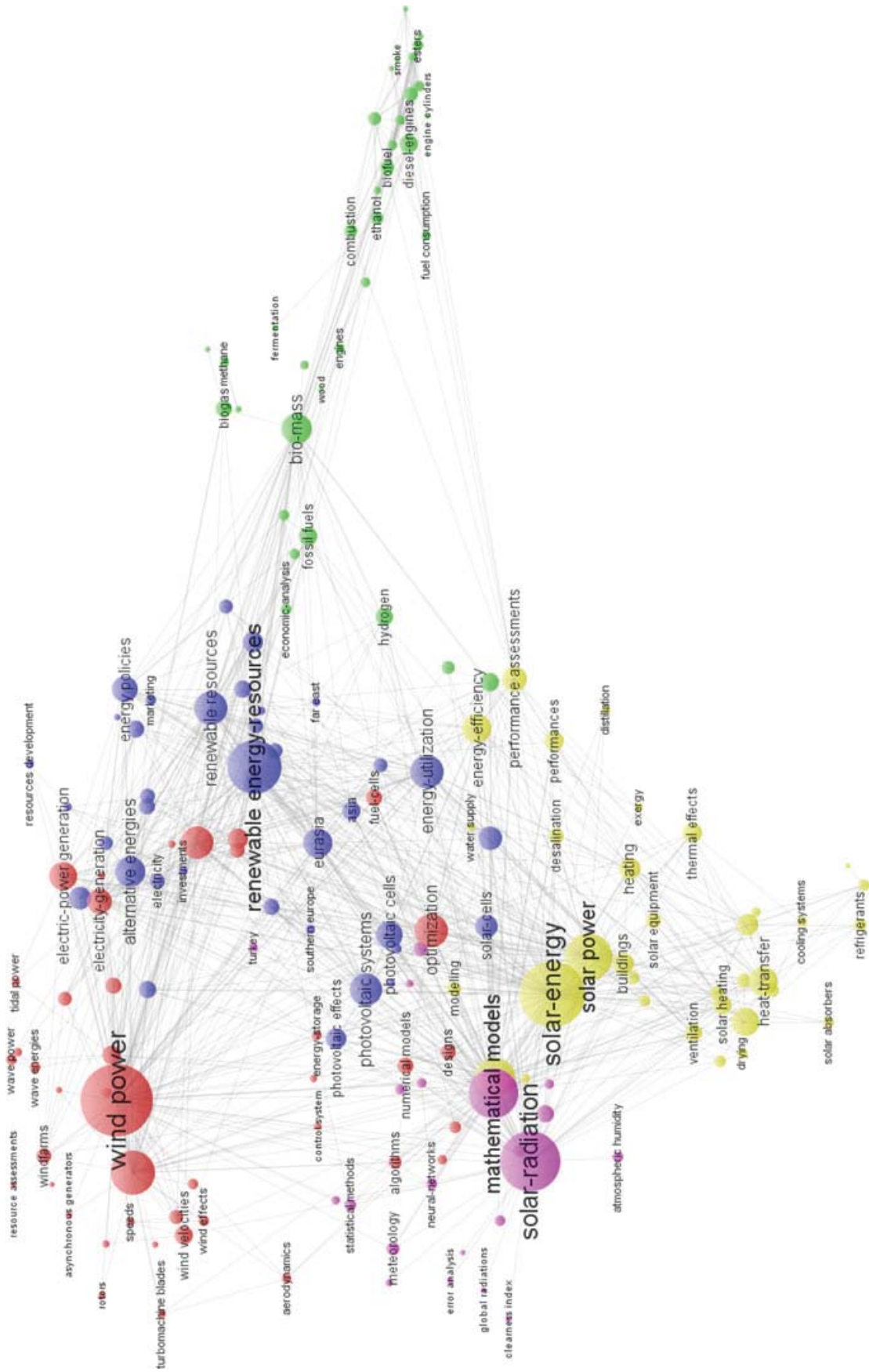


Fig. 1 Cooccurrence keyword map showing the R1 clusters (one thousand links)

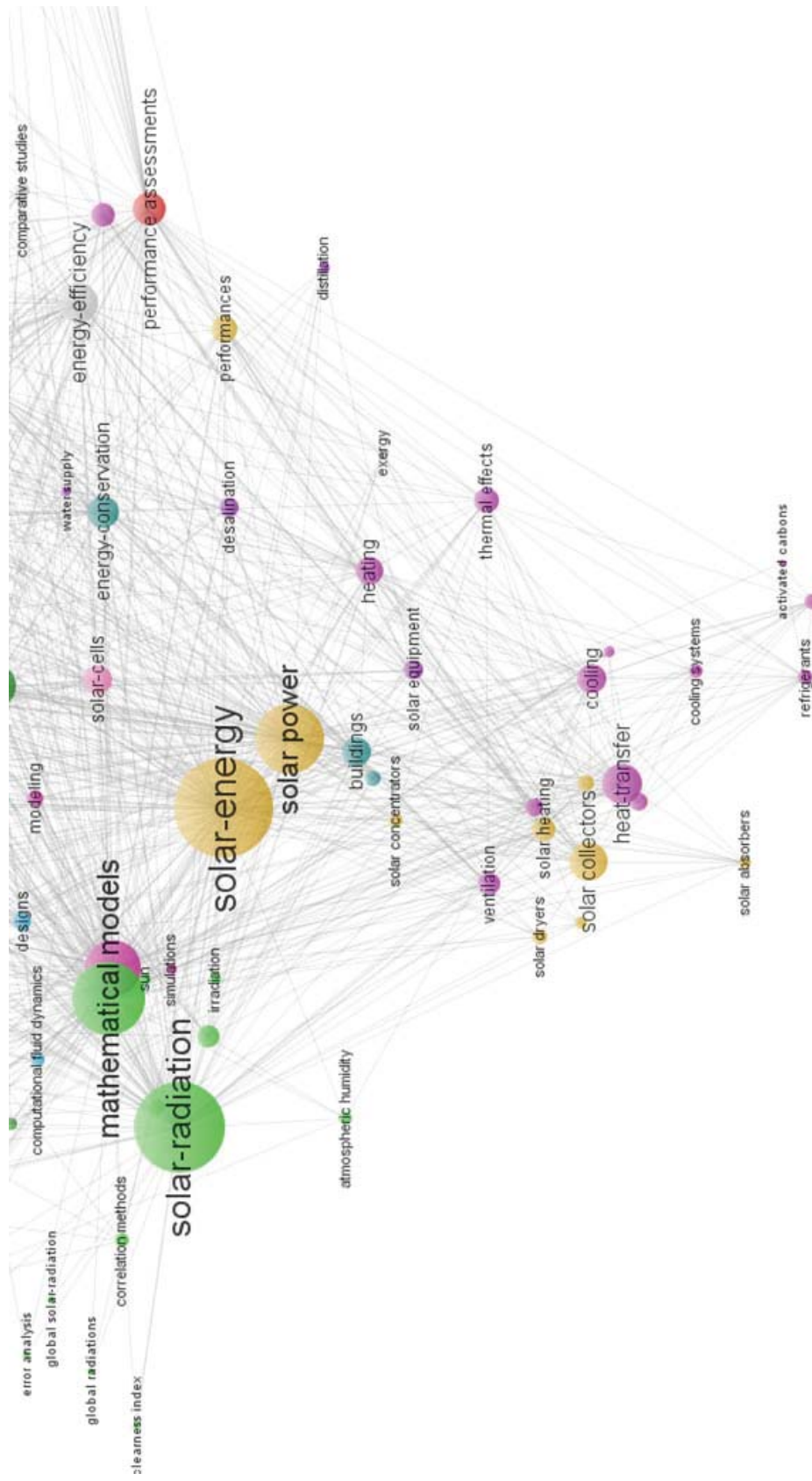


Fig. 5 Expansion of the area of the cluster D (R1) showing R2 clusters (two thousand links in all the networks)

Figure 2 shows R2 clusters in Cluster A zone corresponding to wind and tides. Since the size of the disc indicates the frequency of occurrence of each keyword, one observes that wind power is the keyword in this cluster with the greatest number of occurrences, followed by wind-turbine and power generation. As one observes in the map, this cluster presents high cohesion (0.41), and overlaps with other clusters. In particular, many of its keywords are mixed with those of Clusters C and E, indicating that there are relationships between keywords of these different clusters.

Figure 3 shows R2 clusters in Cluster B zone corresponding to combustion, diesel, biomass, biogas, fossil fuels, greenhouse effect, global warming, etc. Biomass is the most frequently occurring keyword, followed by diesel engines, experimental studies, and fossil fuels, but this cluster also has the greatest cohesion (1.01), although its keywords being widely scattered. Also there are two clearly separated regions, one for biomass and the other for biofuels, etc. In itself, this latter region shows considerable closeness between its keywords and the greatest cohesion (1.40), and appears quite distant from the rest of the elements on the map (see Fig. 1). The keywords closest to the most frequently occurring keyword (biomass) are gasification and wood.

Figure 4 shows R2 clusters in Cluster C zone. This is the most central of those that emerged in the study, and has the greatest closeness to the other clusters. It corresponds to policies, socioeconomic effects, photovoltaic cells, Asia, etc. The greatest number of keyword occurrences in this cluster is renewable energy-resources, followed by renewable resources, energy-utilization, and photovoltaic systems. The keywords of this overlap with those of Clusters A, D, and E, and its cohesion is 0.29. The keywords closest to the commonest keyword (renewable energy-resources) are costs, economic and social effects, and cost-benefit analysis.

Figure 5 shows R2 clusters in Cluster D zone which corresponds to solar energy, efficiency, heat transfer and air conditioning, computer simulation, desalination, etc. Solar-energy is the most frequently occurring keyword in this cluster, followed by solar power and computer simulation. This cluster has all of its keywords very close together. Nevertheless, some of its keywords overlap with Clusters A and C. Its cohesion is 0.30.

Figure 6 shows R2 clusters in Cluster E zone. This corresponds to climate change and the methods used for its analysis. The most frequently occurring keyword is solar-radiation followed by mathematical models. Some keywords of this cluster overlap with Clusters A and D. In particular, there is an overlap between two of the most frequent keywords of Clusters E and D—mathematical models and computer simulation, respectively. This cluster has the lowest cohesion (0.19).

Finally, Fig. 7 shows the Resolution-2 map of the co-occurrences between the different keywords in the period studied. One observes that the most central cluster is Cluster 10 (pink) whose keyword with the greatest frequency is photovoltaic systems, followed by photovoltaic cells and photovoltaic effects. Clusters 1 (red), 2 (green), 5 (fuchsia), and 6 (light blue) are those with the greatest closeness between their keywords. The first has the greatest cohesion (1.40) at a long distance of the rest. There is overlap between Clusters 7 and 3: for example, wind power (Cluster 3) lies between wind-turbine and turbines (both Cluster 7). Other clear cases of overlap are between Clusters 1 and 6, with pyrolysis (Cluster 6) being close to engine, combustion, ethanol, etc. (Cluster 1), between Clusters 8 and 11, with buildings and architectural design (Cluster 11) being close to solar power and solar concentrators (Cluster 8), and between Clusters 2 and 12, with computer simulation and simulations (Cluster 12) being close to mathematical models and the sun (Cluster 2).

One observes in Fig. 8 and Table 3 that, at the beginning of the study period, Cluster A is in an unremarkable position in terms of relative production, but by the end of the study accounts for the highest percentage of output. It is the third in terms of total production

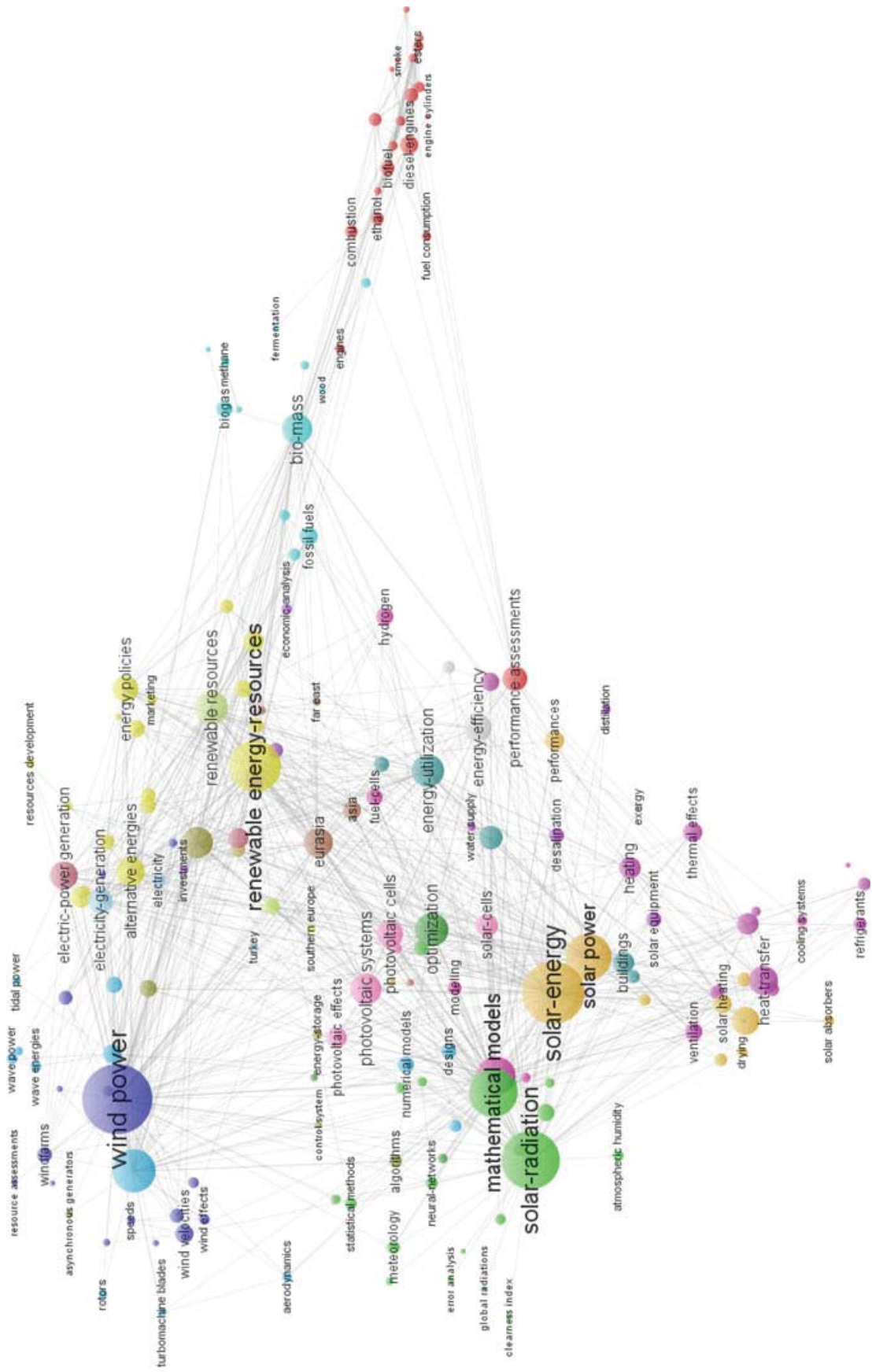


Fig. 7 Co-occurrence keyword map showing the R2 clusters (one thousand links)

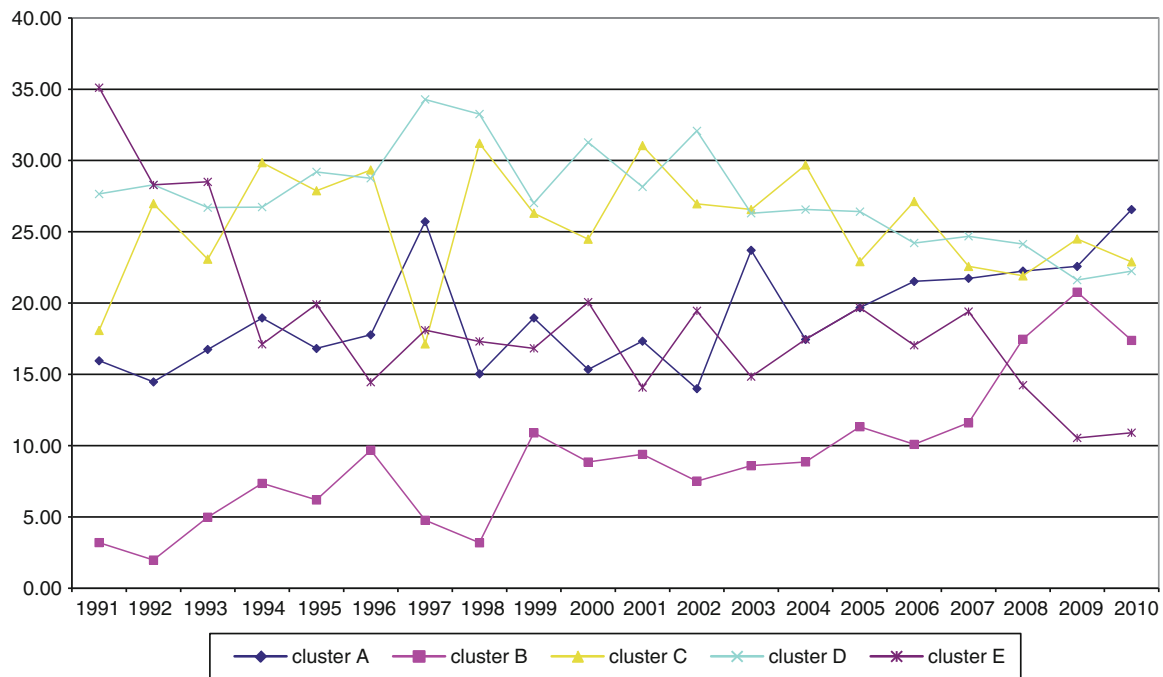


Fig. 8 Temporal evolution of the production percentages corresponding to the R1 clusters

(43 %). Although Cluster B has the lowest overall production for the period as a whole (25 %), it undergoes major growth relative to the others from the clearly lowest value at the beginning of the period to values much closer to the top-ranked percentages at the end, in fact, a burst interval beginning at 2008, with a weight 40 has been identified. Cluster C presents ups and downs, but for the whole of the period is second in terms of production (55 %). Cluster D has the greatest output for the period as a whole (56 %), but begins to decline from 2002 onwards. And finally, Cluster E, fourth in terms of total production (35 %) has been steadily losing ground over the course of the period, in fact, a burst interval between 1991 and 1993 with a weight of 40 has been identified.

Table 4 shows the burst periods with more strength of the keywords. In addition to the number of documents associated with each keyword (Prod) and its clusters, Table 4 shows the length of the burst period, the starting year and year-end, and its weight (strength). Although only burst periods with more strength of the keywords are shown. The burst periods of the clusters have also been calculated. The table shows that alternative energies (Cluster 4) is the keyword that presented the burst with more strength during the study period, followed by mathematical models (Cluster 2), solar-radiation (Cluster 2) with several bursting periods, energy-utilization (Cluster 11), computer simulation (Cluster 12), Eurasia (Cluster 13), and solar-energy (Cluster 8).

Cluster A as a whole does not present a clearly defined period of burstiness, even though it advanced from not particularly outstanding production values at the beginning of the period to very good values at the end (see Fig. 8). Some of its R2 clusters do, however, present bursts. In particular, Cluster 16 beginning and ending in 2008, Cluster 7 beginning in 2010 and overall Cluster 22 beginning in 2006 with a weight of 42.01. Within Cluster A, there are two keywords that have several burst periods, wind power with one of its burst periods of 44.98 of weight and electric-power generation, with one of its burst periods of 47.29 of weight.

The bursty period of Cluster B is from 2008 to the present, Clusters 1 from 2009 until today (with a weight of 53,80). There are keywords (engines and experimental studies) that coincide with the bursty period of Cluster B, and a keyword (engines) within Cluster 1 with

Table 3 Temporal evolution of the R1 and R2 clusters

| Cluster | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | Total |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| A (R1) | 15 | 22 | 37 | 134 | 38 | 123 | 27 | 66 | 80 | 52 | 48 | 41 | 91 | 67 | 73 | 96 | 103 | 200 | 212 | 246 | 1,771 |
| R2 | 3 | 13 | 15 | 57 | 19 | 62 | 19 | 25 | 51 | 25 | 26 | 23 | 52 | 34 | 30 | 36 | 44 | 85 | 89 | 112 | 832 |
| | 7 | 2 | 8 | 31 | 11 | 43 | 8 | 15 | 28 | 16 | 9 | 17 | 32 | 22 | 33 | 51 | 50 | 101 | 109 | 142 | 738 |
| | 9 | 1 | 9 | 38 | 11 | 34 | 2 | 9 | 11 | 14 | 12 | 12 | 26 | 21 | 25 | 29 | 35 | 77 | 87 | 85 | 544 |
| | 16 | 3 | 3 | 4 | 6 | 40 | 1 | 15 | 8 | 18 | 14 | 3 | 6 | 6 | 15 | 17 | 18 | 81 | 58 | 52 | 368 |
| | 17 | 3 | 2 | 17 | 4 | 9 | 1 | 13 | 8 | 10 | 6 | 2 | 9 | 10 | 17 | 19 | 33 | 55 | 45 | 54 | 317 |
| | 18 | 2 | 5 | 2 | 11 | 32 | 4 | 19 | 8 | 7 | 8 | 14 | 27 | 24 | 15 | 23 | 26 | 36 | 38 | 42 | 343 |
| | 22 | | | | 1 | | | | 1 | 3 | 7 | 4 | 14 | 20 | 16 | 34 | 35 | 62 | 83 | 91 | 371 |
| B (R1) | 3 | 3 | 11 | 52 | 14 | 67 | 5 | 14 | 46 | 30 | 26 | 22 | 33 | 34 | 42 | 45 | 55 | 157 | 195 | 161 | 1,015 |
| R2 | 1 | 1 | 1 | 17 | 4 | 20 | 1 | 2 | 13 | 13 | 9 | 23 | 18 | 20 | 22 | 26 | 38 | 92 | 150 | 128 | 598 |
| | 6 | 1 | 1 | 45 | 11 | 52 | 1 | 12 | 41 | 19 | 13 | 16 | 20 | 21 | 22 | 17 | 28 | 41 | 83 | 57 | 510 |
| | 21 | 1 | 1 | 6 | | 12 | | 7 | 3 | 6 | 2 | 2 | 12 | 1 | 5 | 7 | 7 | 18 | 31 | 23 | 144 |
| C (R1) | 17 | 41 | 51 | 211 | 63 | 203 | 18 | 137 | 111 | 83 | 86 | 79 | 102 | 114 | 85 | 121 | 107 | 197 | 230 | 212 | 2,268 |
| R2 | 4 | 12 | 28 | 137 | 41 | 119 | 14 | 73 | 89 | 56 | 53 | 65 | 73 | 87 | 54 | 56 | 49 | 77 | 134 | 112 | 1,374 |
| | 10 | 8 | 12 | 42 | 25 | 64 | 4 | 67 | 13 | 26 | 36 | 21 | 33 | 23 | 16 | 35 | 25 | 57 | 62 | 77 | 655 |
| | 11 | 1 | 1 | | 2 | 5 | 2 | 5 | 5 | 1 | 1 | 2 | 4 | 26 | 33 | 46 | 52 | 74 | 82 | 15 | 356 |
| | 13 | 3 | 3 | 8 | 8 | 43 | 7 | 22 | 18 | 23 | 15 | 21 | 36 | 17 | 28 | 47 | 58 | 104 | 78 | 60 | 617 |
| | 14 | 3 | 3 | 8 | 11 | 23 | 5 | 20 | 12 | 9 | 4 | 7 | 9 | 9 | 9 | 8 | 5 | 13 | 38 | 19 | 235 |
| | 19 | 1 | 1 | 1 | | 2 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 12 | 15 | 14 | 21 | 35 | 29 | 8 | 143 |
| | 20 | 6 | 15 | 83 | 8 | 48 | 2 | 21 | 36 | 13 | 5 | 4 | 8 | 13 | 10 | 21 | 20 | 27 | 32 | 36 | 408 |
| D (R1) | 26 | 43 | 59 | 189 | 66 | 199 | 36 | 146 | 114 | 106 | 78 | 94 | 101 | 102 | 98 | 108 | 117 | 217 | 203 | 206 | 2,308 |

Table 3 continued

| Cluster | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | Total |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| R2 | 5 | 11 | 13 | 60 | 15 | 53 | 8 | 41 | 35 | 26 | 22 | 36 | 38 | 44 | 47 | 42 | 49 | 110 | 91 | 87 | 841 |
| | 8 | 11 | 35 | 134 | 50 | 131 | 29 | 101 | 96 | 71 | 50 | 64 | 63 | 70 | 57 | 60 | 57 | 85 | 109 | 97 | 1,417 |
| | 12 | 4 | 4 | 121 | 20 | 113 | 4 | 52 | 28 | 24 | 28 | 12 | 11 | 28 | 21 | 33 | 30 | 62 | 76 | 31 | 713 |
| | 15 | | 2 | 4 | 7 | 25 | 5 | 7 | 7 | 2 | 6 | 4 | 12 | 13 | 12 | 9 | 19 | 51 | 62 | 55 | 305 |
| E (R1) | 33 | 43 | 63 | 121 | 45 | 100 | 19 | 76 | 71 | 68 | 39 | 57 | 57 | 67 | 73 | 76 | 92 | 128 | 99 | 101 | 1,428 |
| R2 | 2 | 33 | 43 | 120 | 44 | 99 | 18 | 73 | 70 | 68 | 38 | 53 | 54 | 65 | 69 | 72 | 82 | 115 | 89 | 95 | 1,363 |

Table 4 Burst periods with more strength of the keywords ordered by cluster

| Word | Prod | Length | Weight | Start | End | R1 | R2 |
|-----------------------------|-------|--------|--------|-------|------|----|----|
| Wind power | 1,137 | 2 | 44.98 | 2003 | 2004 | A | 3 |
| Wind-turbine | 569 | 1 | 22.19 | 2007 | 2007 | A | 7 |
| Numerical methods | 96 | 2 | 18.02 | 2007 | 2008 | A | 7 |
| Numerical models | 136 | 4 | 19.49 | 2008 | | A | 7 |
| Energy-conversion | 191 | 1 | 24.15 | 1994 | 1994 | A | 9 |
| Electricity | 135 | 3 | 23.94 | 2002 | 2004 | A | 16 |
| Computation theory | 74 | 3 | 31.36 | 2006 | 2008 | A | 17 |
| Electric-power generation | 304 | 2 | 19.02 | 1993 | 1994 | A | 18 |
| Electric-power generation | 304 | 1 | 24.20 | 1996 | 1996 | A | 18 |
| Electric-power generation | 304 | 1 | 35.86 | 1999 | 1999 | A | 18 |
| Electric-power generation | 304 | 2 | 47.29 | 2006 | 2007 | A | 18 |
| Power-generation | 362 | 1 | 17.89 | 2008 | 2008 | A | 22 |
| Engines | 68 | 3 | 21.05 | 2009 | | B | 1 |
| Experimental studies | 166 | 4 | 19.61 | 2008 | | B | 5 |
| Greenhouse effect | 70 | 7 | 19.56 | 2000 | 2006 | B | 6 |
| Comparative studies | 103 | 1 | 19.39 | 2008 | 2008 | B | 21 |
| Developing-countries | 123 | 9 | 41.10 | 1991 | 1999 | C | 4 |
| Economics | 137 | 12 | 21.99 | 1992 | 2003 | C | 4 |
| Energy policies | 270 | 2 | 19.00 | 1993 | 1994 | C | 4 |
| Environmental-impact | 193 | 7 | 30.96 | 1993 | 1999 | C | 4 |
| Environmental protection | 122 | 1 | 24.29 | 1994 | 1994 | C | 4 |
| Economic and social effects | 135 | 1 | 25.56 | 1994 | 1994 | C | 4 |
| Marketing | 86 | 6 | 20.05 | 1995 | 2000 | C | 4 |
| Alternative energies | 331 | 9 | 93.18 | 1997 | 2005 | C | 4 |
| Resources development | 57 | 4 | 23.17 | 1998 | 2001 | C | 4 |
| Energy policies | 270 | 2 | 30.18 | 1999 | 2000 | C | 4 |
| Economic and social effects | 135 | 3 | 32.79 | 1999 | 2001 | C | 4 |
| Environmental protection | 122 | 3 | 36.79 | 1999 | 2001 | C | 4 |
| Energy resources | 220 | 4 | 19.99 | 1999 | 2002 | C | 4 |
| Renewable energy-resources | 57 | 4 | 55.16 | 2001 | 2004 | C | 4 |
| Renewables energies | 150 | 3 | 18.55 | 2009 | | C | 4 |
| Solar-cells | 221 | 8 | 18.79 | 1991 | 1998 | C | 10 |
| Photovoltaic effects | 202 | 3 | 19.54 | 1996 | 1998 | C | 10 |
| Photovoltaic cells | 285 | 2 | 20.99 | 2000 | 2001 | C | 10 |
| Photovoltaic systems | 369 | 4 | 21.63 | 2001 | 2004 | C | 10 |
| Photovoltaic cells | 285 | 2 | 26.17 | 2006 | 2007 | C | 10 |
| Energy-conservation | 244 | 5 | 30.62 | 1994 | 1998 | C | 11 |
| Energy-utilization | 381 | 6 | 69.13 | 1994 | 1999 | C | 11 |
| Asia | 165 | 8 | 31.31 | 2004 | | C | 13 |
| Eurasia | 321 | 8 | 66.36 | 2004 | | C | 13 |
| Eastern hemisphere | 35 | 1 | 21.62 | 2005 | 2005 | C | 13 |
| World | 43 | 1 | 25.49 | 2005 | 2005 | C | 13 |
| Strategic planning | 78 | 1 | 17.31 | 1994 | 1994 | C | 14 |

Table 4 continued

| Word | Prod | Length | Weight | Start | End | R1 | R2 |
|-----------------------|------|--------|--------|-------|------|----|----|
| Cost effectiveness | 95 | 6 | 21.00 | 1996 | 2001 | C | 14 |
| Cost-benefit analysis | 125 | 5 | 18.51 | 2007 | | C | 14 |
| Europe | 145 | 5 | 25.12 | 2004 | 2008 | C | 19 |
| Heat-transfer | 319 | 4 | 18.79 | 2002 | 2005 | D | 5 |
| Thermal effects | 182 | 6 | 24.63 | 2003 | 2008 | D | 5 |
| Efficiency | 78 | 7 | 18.29 | 1992 | 1998 | D | 8 |
| Performances | 189 | 7 | 44.71 | 1992 | 1998 | D | 8 |
| Solar absorbers | 80 | 11 | 18.26 | 1992 | 2002 | D | 8 |
| Solar collectors | 309 | 11 | 30.93 | 1992 | 2002 | D | 8 |
| Solar-energy | 982 | 4 | 60.70 | 1997 | 2000 | D | 8 |
| Solar buildings | 58 | 1 | 17.59 | 1998 | 1998 | D | 8 |
| Performances | 189 | 3 | 47.80 | 2001 | 2003 | D | 8 |
| Solar power | 624 | 4 | 51.41 | 2002 | 2005 | D | 8 |
| Architectural design | 103 | 5 | 18.14 | 1994 | 1998 | D | 11 |
| Computer simulation | 491 | 3 | 67.57 | 2006 | 2008 | D | 12 |
| Solar-radiation | 883 | 5 | 48.71 | 1991 | 1995 | E | 2 |
| Calculations | 49 | 4 | 17.47 | 1995 | 1998 | E | 2 |
| Temperatures | 90 | 8 | 22.10 | 1995 | 2002 | E | 2 |
| Solar-radiation | 883 | 3 | 69.35 | 1998 | 2000 | E | 2 |
| Mathematical models | 673 | 1 | 22.99 | 2000 | 2000 | E | 2 |
| Solar-radiation | 883 | 1 | 76.78 | 2002 | 2002 | E | 2 |
| Solar-radiation | 883 | 1 | 82.12 | 2004 | 2004 | E | 2 |
| Mathematical models | 673 | 3 | 88.42 | 2005 | 2007 | E | 2 |
| Parameter estimation | 97 | 2 | 24.21 | 2007 | 2008 | E | 2 |

bursty periods identical to that of the cluster. Within Cluster 6, the keyword greenhouse effect has a bursty period (2000–2006) later and longer than that of the cluster (1999).

Overall, Cluster C has no well-defined burst period (although, as was seen in Fig. 8, it oscillates sharply throughout most of the period), but some of its finer resolution clusters do. The most important of them are Cluster 10, with two bursty periods (1998–1998 and 2001–2001), Cluster 11 (2004-) of 63.95, Cluster 19 (2004-) of 25.33, and Cluster 20 (1993–1994) of 31.05 and (1999) of 38.29. Within this cluster there are three keywords bursty periods which stand out for their strength, the one of Eurasia, the one of energy-utilization and especially that of alternative energies which is the one with the most strength of all.

Similarly, while Cluster D presents no well-defined burst overall, some of its finer resolution clusters do. This is the case of Cluster 8 with two periods of bursts (1992–1993 and 1997–2000), Cluster 12 (1994–1994 of 34.51, 1996–1996 of 58.84, and 1998–1998 of 62.75), and Cluster 15 (2008-present). Within this cluster the three keywords bursty periods which stand out for their strength, is the one of solar power, the one of solar-energy and especially that of computer simulation which is the one with the most strength of the cluster.

Finally, the period of the burst of Cluster E (1991–1993) coincides with that of its finer resolution Cluster 2, as also with one of the keywords of that cluster, mathematical models. Within this cluster there are four keywords bursty periods which stand out for their strength, three of solar-radiation and one of mathematical models which is the one with the most strength of the cluster.

Conclusion

This co-word analysis of the keywords of the papers published in the journal *Renewable Energy* has shown them to be structured in the form of 5 major clusters (later broken down into 22 clusters at a finer level of resolution). These clusters were clearly identified on the keyword co-occurrence map, although there was some mixing in the central part of the map, especially around solar energy (which accounts for a large part of the total production), computer simulation (which is applied in many areas), and conservation and energy efficiency.

The cluster corresponding to general issues, and political and socioeconomic effects, which also includes a part on photovoltaic cells (Cluster C), is the second ranked in terms of production (55 %), and is that which covers the most central topics of the field. Although it presented ups and downs in terms of relative production during the study period, none of them were recognized as bursts. There were periods of bursts, however, in some of its R2 clusters. Two of them—that dealing with photovoltaic cells (Cluster 10) which was the cluster of Resolution 2 that was most central to the discipline, and that dealing with costs and investments (Cluster 14)—presented brief bursts midway through the study period (the former with the most strength of the two), while the clusters dealing with Asia and Eurasia (Cluster 13) and Europe (Cluster 19) showed bursts in the latter part of the study period. The renewable resources Cluster (20) showed two burst periods of medium strength in the first part of the study period. The energy conservation and energy utilization Cluster (11), which accounts for only 9 % of the output, showed the burst period with the most strength from 2004 to the present.

Cluster D, which covers solar, heat, computer simulations, and water supply, was that with the greatest total production (56 %), but began to decline from 2002 onwards, and overall presented no bursts. Its constituent R2 cluster corresponding to solar energy (Cluster 8) had the greatest production in the period studied, and presented two bursts, one of medium strength at the beginning of the period and another with more strength and more or less in the middle of the period. Computer simulation (Cluster 12) had a burst with high strength in 1998 and others two of less strength before. Desalination, distillation, etc., (Cluster 15) had a medium strength burst in the latter part of the period. As was noted in the Results and Discussion section, some of the solar energy keywords were mixed with those of the two large clusters A and C. Curiously, in this latter most central and general cluster there appears the R2 cluster corresponding to photovoltaics clearly separated from the rest of solar energy. Putting the two together, one observed a main burst of production in solar energy at the beginning of the period studied, and another midway through.

The wind-and-tide and generation cluster (Cluster A) was the third in terms of total production (43 %). Although its topics are quite specialized, its boundaries with the two foregoing R1 clusters are not at all clear. One could say that it is a cluster that emerged during the study period, without presenting any overall burst period. There was, however, a mid-period burst with little strength in the production corresponding to wind power

(Cluster 3), and a burst with some strength in keywords related to wind turbines (Cluster 7) at the end of the period.

The cluster covering climatology (Cluster E) was the next to smallest with 35 % of production, and was losing ground over the course of the period studied. Its burst occurred at the beginning of the period with much strength. Some keywords of this cluster are mixed with those of other clusters. It contains the keyword mathematical models which is the keyword corresponding to simulation that corresponded to the greatest production.

The cluster dealing with combustion, diesel, biomass, etc., (Cluster B) had the lowest value of total production (25 %). This cluster of topics emerged during the period studied, with a burst at the end with some strength. The topic of biofuel (Cluster 1) also has a very strong burst in the last part of the period, and that of biomass and biogas (Cluster 6) had a burst midway through the period with little strength. Cluster B is the most specialized of the R1 set, and also the two main areas it addresses are clearly distinguished on the map.

The most clearly defined Resolution-2 clusters were those covering such topics as combustion and biofuel (Cluster 1) which showed a burst in the latter part of the period studied with some strength, climatology (Cluster 2) with a burst at the beginning of the period with much strength, heat-transfer and air conditioning (Cluster 5), and biomass (Cluster 6) which had a brief burst in mid-period.

Acknowledgments Funding This work was financed by the Junta de Extremadura—Consejería de Educación Ciencia & Tecnología and the Fondo Social Europeo as part of predoctoral studentship PRE07051 and the research group grant GR10019, and by the Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011 and the Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) as part of research projects TIN2008-06514-C02-01 and TIN2008-06514-C02-02.

References

- Archambault, É., Campbell, D., Gingras, Y., & Larivière, V. (2009). Comparing bibliometric statistics obtained from the web of science and scopus. *Journal of the American Society for Information Science and Technology (JASIST)*, *60*(7), 1320–1326.
- Callon, M., Courtial, J. P., & Laville, F. (1991). Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: the case of polymer chemistry. *Scientometrics*, *22*(1), 153–203.
- Callon, M., Courtial, J. P., & Penan, H. (1995). *Cienciometría. El estudio cuantitativo de la actividad científica: de la bibliometría a la vigencia tecnológica*. Gijón: Ediciones TREA.
- Chen, Y. H., Chen, C. Y., & Lee, S. C. (2010). Technology forecasting of new clean energy: the example of hydrogen energy and fuel cell. *African Journal of Business Management*, *4*(7), 1372–1380.
- Corera Álvarez, E., & Moya-Anegón, F. (2009). Chemistry in Spain: bibliometric analysis through Scopus. *Chemistry Today*, *27*(6), 61–64.
- Ding, Y., Chowdhury, G. G., & Foo, S. (2001). Bibliometric cartography of information retrieval research by using co-word analysis. *Information Processing and Management*, *37*(6), 817–842.
- Fu, H. Z., Ho, Y. S., Sui, Y. M., & Li, Z. S. (2010). A bibliometric analysis of solid waste research during the period 1993–2008. *Waste Management*, *30*(12), 2410–2417.
- Girvan, M., & Newman, M. E. J. (2002). Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *99*(12), 7821–7826.
- Gorraiz, J., Gumpenberger, C., & Wieland, M. (2011). Galton 2011 revisited: a bibliometric journey in the footprints of a universal genius. *Scientometrics*, *88*(2), 627–652.
- Guerrero-Bote, V. P., Gómez-Crisostomo, R., Romo-Fernández, L. M., & Moya-Anegón, F. (2009). Visibility and responsibility of women in research papers through the order of signatures: the case of the University of Extremadura (1990–2005). *Scientometrics*, *81*, 225–238.
- Hane, P. (2004). Elsevier announces Scopus service. Information today, <http://newsbreaks.infotoday.com/nbreader.asp?ArticleID=16494>. Accessed 9 June 2011.

- Jacso, P. (2011). The h-index, h-core citation rate and the bibliometric profile of the Scopus database. *Online Information Review*, 35(3), 492–501.
- Kajikawa, Y., Yoshikawa, J., Takeda, Y., & Matsushima, K. (2008). Tracking emerging technologies in energy research: toward a roadmap for sustainable energy. *Technological Forecasting and Social Change*, 75, 771–782.
- Kleinberg, J. (2002). *Bursty and hierarchical structure in streams*, *Proceedings of the 8th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining* (pp. 91–101). New York: ACM.
- Kleinberg, J. (2004). Temporal dynamics of on-line information streams. In M. Garofalakis, J. Gehrke, & R. Rastogi (Eds.), *Data stream management: processing high-speed data streams*. Berlin: Springer.
- Leydesdorff, L., Moya Anegón, F., & Guerrero Bote, V. P. (2010). Journal maps on the basis of Scopus data: a comparison with the journal citation reports of the ISI. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(2), 352–369.
- Liu, X. J., Zhang, L. A., & Hong, S. (2011). Global biodiversity research during 1900–2009: a bibliometric analysis. *Biodiversity and Conservation*, 20(4), 807–826.
- López, Illescas C., de Moya Anegón, F., & Moed, H. F. (2008). The actual citation impact of European oncological research. *European Journal of Cancer*, 44, 228–236.
- Mane, K., & Börner, K. (2004). Mapping topics and topic bursts in PNAS. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(Suppl.1), 5287–5290.
- Miguel, S., Chinchilla-Rodríguez, Z., & Moya-Anegón, F. (2011). Open access and Scopus: a new approach to scientific visibility from the standpoint of access. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 62(6), 1130–1145.
- Moya Anegón, F., Chinchilla Rodríguez, Z., Vargas Quesada, B., Corera Álvarez, E., Muñoz Fernández, F. J., González Molina, A., et al. (2007). Coverage analysis of Scopus: a journal metric approach. *Scientometrics*, 73(1), 53–78.
- Neff, M. W., & Corley, E. A. (2009). 35 years and 160,000 articles: a bibliometric exploration of the evolution of ecology. *Scientometrics*, 80(3), 657–682.
- Pickering, B. (2004). *Elsevier prepares Scopus to rival ISI Web of science*, *Information world review*. Amsterdam: Elsevier.
- Romo-Fernández, L. M., López-Pujalte, C., Guerrero-Bote, V. P., & Moya-Anegón, F. (2011). Analysis of Europe's scientific production on renewable energies. *Renewable Energy*, 36(9), 2529–2537.
- Romo-Fernández, L. M., Guerrero-Bote, V. P., Moya-Anegón, F. (2012). World scientific production on renewable energy, sustainability and the environment. *Energy for Sustainable Development*, 16, 500–508.
- Sammon, J. (1969). A nonlinear mapping for data structure analysis. *IEEE Transactions on Computers*, 18(5), 401–409.
- Suk, F. M., Lien, G. S., Yu, T. C., & Ho, Y. S. (2011). Global trends in Helicobacter pylori research from 1991 to 2008 analyzed with the Science Citation Index Expanded. *European Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 23(4), 295–301.
- Tanaka, H., & Ho, Y. S. (2011). Global trends and performances of desalination research. *Desalination and Water Treatment*, 25(1–3), 1–12.
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010a). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538.
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010b). A comparison of two techniques for bibliometric mapping: multi-dimensional scaling and VOS. *Journal of the American Society for Information Science*, 61(12), 2405–2416.
- Viedma del Jesus, M. I., Perakakis, P., Muñoz, M. A., López-Herrera, A. G., & Vila, J. (2011). Sketching the first 45 years of the journal Psychophysiology (1964–2008): a co-word-based analysis. *Psychophysiology*, 48(8), 1029–1036.
- Woon, W. L., Henschel, A. & Madnick, S. (2009). A framework for technology forecasting and visualization. 2009 International conference on innovations in information technology, IIT '09, pp 155–159.



ARTÍCULO 4

9.4. Análisis de la producción científica española en energías renovables, sostenibilidad y medio ambiente (Scopus, 2003-2009) en el contexto mundial.

Romo-Fernández, L.M, Guerrero-Bote, V.P. and Moya-Anegón, F.

Accepted in:

Investigación Bibliotecológica

Análisis de la producción científica española en energías renovables, sostenibilidad y medio ambiente (*Scopus*, 2003-2009) en el contexto mundial

Luz María Romo Fernández
Vicente P. Guerrero Bote *
Félix Moya Anegón **

Artículo recibido:
7 de noviembre de 2012.
Artículo aceptado:
18 de febrero de 2013.

RESUMEN

Este trabajo analiza la producción científica de España para el periodo 2003-2009 en el área de las Energías Renovables, Sostenibilidad (otros dicen sustentabilidad) y Medio Ambiente utilizando la base de datos *Scopus*. En primer lugar se muestra un estudio de contexto comparando la producción e impacto con los países más desarrollados. Y en segundo lugar se hace un estudio interno de las contribuciones de las instituciones españolas así como de las revistas utilizadas por los científicos para la publicación de los trabajos. El estudio muestra que España incrementa notablemente la producción científica, al pasar de la posición

* Los dos autores pertenecen a la Universidad de Extremadura, Scimago Group, España. (Luz: lmromfer@alcazaba.unex.es); (Vicente: guerrero@unex.es)

** CSIC, CCHS, IPP, Scimago Group, España. felix@ugr.es

decimoquinta a nivel mundial a la sexta posición, y que eso no se consigue a costa de reducir el impacto sino incrementándolo. Como instituciones destacan el CIEMAT y la UPM por su producción y la U. Zaragoza y el CSIC, tanto por la producción como por el impacto.

Palabras clave: Energías Renovables; Sostenibilidad y Medio Ambiente; España; Producción Científica; Instituciones de Investigación.

ABSTRACT

Analysis of the Spanish scientific production in Renewable Energy, Sustainability and the Environment (Scopus, 2003-2009) in the global context

Luz-María Romo-Fernández, Vicente-P. Guerrero-Bote and Félix Moya-Anegón

Using the *Scopus* database for the period 2003-2009, this paper analyzes the scientific production in the area of Renewable Energy, Sustainability and Environment in Spain. Initially, researchers compare Spain's scientific production and impact against that of the leading developed countries. This comparison is followed by an examination of the contributions of Spanish researchers and the journals in which they publish, showing that Spain's scientific output rank advanced significantly from fifteenth to the sixth in the world. Moreover, the impact of Spain's research increased during this period. The study found CIEMAT and UPM are among Spain's leading producers of scientific research, while the University of Zaragoza and CSIC are highly ranked in both production and impact.

Keywords: Renewable Energy; Sustainability and the Environment; Spain; Scientific Production; Research Institutions.

INTRODUCCIÓN

Por medio ambiente podemos entender todo lo que rodea a las personas. En los años 70 la Comisión de la ONU para el Medio Ambiente y el Desarrollo determinó que el camino que había tomado la sociedad deterioraba

el medio ambiente, a la vez que sumía en la pobreza a una mayor parte de la misma. La necesidad de energía para el desarrollo económico y social ha sido siempre una de las mayores preocupaciones; gran parte de las fuentes de energía actuales son finitas y producen un gran impacto en el medio ambiente, el cual está produciendo cambio climático. La sostenibilidad se definió por primera vez en el informe Brundtland (1987) como la satisfacción de las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Esta definición ha dado lugar a lo que Komiyama y Takeuchi (2006) han llamado Ciencia de la Sostenibilidad, que incluye una dimensión social. Las energías renovables han despertado un creciente interés porque se obtienen de la naturaleza, porque son prácticamente inagotables, bien por el volumen de la fuente o por su renovación por procesos naturales y porque son seguras y limpias (Simon *et al.*, 2010).

El traslado a los gobiernos de este interés social se ha materializado en una legislación más exigente, que ha supuesto que las empresas privadas están asumiendo este interés, y apoyando tanto la explotación de las mismas, mediante ayudas que iguallen su rentabilidad frente a las convencionales, como otras ayudas y programas que fomenten la investigación y el desarrollo tecnológico del sector.

Dentro del departamento de Energía de EE.UU. está la EERE (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy) que fomenta la investigación y el desarrollo tanto en eficiencia energética como en energías renovables. En la Unión Europea (UE), el séptimo programa marco incluye un campo temático sobre Energía (dedicado a la financiación de energías renovables en su mayor parte) y otro sobre Medio Ambiente (incluye el cambio climático y financia, entre otras cosas, estudios de sostenibilidad del medio ambiente tanto natural como urbano). A nivel español, dentro del VI Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica, tenemos una acción estratégica de Energía y Cambio Climático.

A pesar del auge de los estudios bibliométricos y del creciente interés en Energías Renovables, Sostenibilidad y Medio Ambiente, nos encontramos con un gran vacío en cuanto a análisis de dominio científico en dicha disciplina, seguramente por ser un campo tan reciente.

Existen algunos estudios cuantitativos que analizan este tema utilizando técnicas bibliométricas (Thomas, 1992; Uzun, 2002; Hassan, 2005; Tsay, 2008; Kajikawa *et al.* 2008; Kajikawa y Takeda, 2008; Celiktas *et al.*, 2009; Romo Fernández, *et al.*, 2011 y 2012; Sanz-Casado *et al.*, 2012; Dong *et al.*, 2012) y que han permitido observar el progreso de la ciencia y la tecnología, y han sido utilizados para satisfacer la necesidad de tener una visión global sobre las actividades de investigación.

Thomas (1992) evalúa el trabajo de los grupos de investigación que trabajan en el campo de la biomasa en las áreas externas a EE.UU. y la UE. El autor consideró dos elementos claves: la medida de la productividad científica y el estudio de los factores que afectan al funcionamiento de la investigación.

Seguidamente, con un importante salto en el tiempo, Uzun (2002) comparó los resultados de la investigación y las prioridades de 25 países en energías renovables para los periodos 1996-1997 y 1998-1999, tomando como medidas el número de publicaciones, su incremento y el índice de prioridades de investigación.

Hassan (2005), reconociendo el papel que juega la ciencia y la tecnología en el desarrollo de las pilas de combustible, trata de caracterizar la evolución de la estructura de estas pilas en la década de 1990, utilizando datos sobre patentes y publicaciones científicas.

Tsay (2008) explora las características de la literatura de la energía del hidrógeno desde 1965 a 2005 utilizando *Science Citation Index Expanded*. Los resultados de este trabajo revelan que la literatura sobre la energía del hidrógeno ha crecido de forma exponencial con una tasa de crecimiento anual de alrededor del 18 % en la última década.

Kajikawa *et al.* (2008) hicieron un análisis de la red de citas de las publicaciones científicas sobre energías renovables para conocer la estructura actual de la investigación en este dominio. Los resultados confirman que dentro de las investigaciones relacionadas con este campo, aquellas correspondientes a las células de combustible (*fuel*) y a las células solares son las que están experimentando un crecimiento más rápido.

Kajikawa y Takeda (2008) analizaron las subáreas de biomasa y biocarburantes, que han ganado un creciente interés como energía sostenible. En su artículo también realizan un análisis de la red de citas de las publicaciones científicas utilizando técnicas de arracimamiento (*clustering*). Según los resultados, dentro de la investigación en biomasa y biocarburantes, las correspondientes a la producción de biocombustible (*biofuel*) e hidrógeno se desarrollan más rápidamente.

Celiktas *et al.* (2009) intentaron descubrir las tendencias de la investigación en energías renovables durante un amplio periodo (1980-2008) pero se centraron únicamente en Turquía. Los autores concluyen que las publicaciones sobre biomasa y sistemas de conversión, así como sobre sistemas de energía solar, fueron las predominantes. También señalan que tanto el número de publicaciones como el de citas se incrementaron en la última década, y más de la mitad del total de documentos fueron publicados en los últimos cuatro años.

Romo Fernández *et al.* (2011) proporcionan una visión general de la investigación de los principales países europeos en el área de Energía Renovable

durante el periodo 2002-2007, utilizando la base datos de literatura científica *Scopus* (Elsevier). Los resultados muestran que la producción mundial y europea se duplicó en el periodo estudiado y que Europa, que llegó a tener 40 % de la producción mundial, creció a menor ritmo que el resto del mundo.

Y por último, en un trabajo posterior Romo Fernández *et al.* (2012) muestran la producción científica del mundo tanto por países e instituciones de investigación como por revistas científicas para el periodo 2003-2008. Los resultados indican que la producción total del mundo aumenta a lo largo del periodo estudiado y que con el paso de los años este tema está adquiriendo un gran interés en el ámbito científico.

Nuestro estudio pretende analizar la producción científica del área temática específica “Renewable Energy, Sustainability and the Environment” incluida en la base de datos *Scopus*, utilizando indicadores cuantitativos para el periodo 2003-2009, con el fin de conocer la evolución de la investigación en dicha área en el caso de España.

MATERIAL Y MÉTODOS

En este trabajo nos hemos basado en los *outputs*, es decir, los resultados producidos, centrándonos exclusivamente en los trabajos científicos publicados, ya que constituyen el principal producto de la labor científica. Dentro de dicha producción científica nos hemos centrado en la producción primaria, es decir, los tipos documentales correspondientes a Artículos, Revisiones y Contribuciones a Congresos, que son los que suponen realmente aportaciones científicas y los que reciben la mayor parte de las citas.

Como es ampliamente conocido no todas las publicaciones tienen el mismo valor para los científicos. Si bien es difícil establecer una clara diferencia entre las publicaciones de un cierto nivel y las que no lo tienen, está ampliamente aceptado considerar las que se encuentran en las grandes bases de datos bibliográficas (*Web of Science* y *Scopus* principalmente) como las más importantes en cada área temática.

Desde noviembre de 2004 (Hane, 2004) está disponible la base de datos bibliográfica multidisciplinaria *Scopus*, creada por Elsevier. Con casi una década de este producto en el mercado, ya existen varios trabajos que intentan caracterizar y analizar dicha base de datos (Jacso, 2004; Laguardia, 2005; Codina, 2005; Archambault *et al.*, 2009; Moya-Anegón *et al.*, 2007; Leydesdorff, Moya-Anegón, Guerrero-Bote, 2010).

En *Scopus*, los documentos están clasificados por Áreas Temáticas (*Subject Area*) y por Áreas Temáticas Específicas (*Specific Subject Areas*). Hay 295

Áreas Temáticas Específicas que están agrupadas en 26 Áreas Temáticas. Además, está el Área Temática general que contiene revistas multidisciplinarias como *Nature* o *Science*. Las Áreas Temáticas están agrupadas en cuatro Categorías en la página “Basic Search” (www.scopus.com visitado el 8 de octubre de 2011).

Las cuatro Categorías son (mantenemos los títulos de las Categorías y Áreas Temáticas en inglés):

- Life Sciences (3 950 revistas): Agricultural & Biological Sciences; Biochemistry, Genetics & Molecular Biology; Immunology & Microbiology; Neuroscience; Pharmacology, Toxicology & Pharmaceutics.
- Physical Sciences (6 350 revistas): Chemical Engineering; Chemistry; Computer Science; Earth & Planetary Science; Energy; Engineering; Environmental Science; Materials Science; Mathematics; Physics & Astronomy.
- Social Sciences (5 900 revistas): Arts & Humanities; Business, Management & Accounting; Decision Sciences; Economics, Econometrics and Finance; Psychology; Social Sciences.
- Health Sciences (6 200 revistas): Medicine; Nursing; Veterinary; Dentistry; Health Professions.

Dentro de la categoría correspondiente a las Ciencias Físicas (*Physical Sciences*) está el Área Temática correspondiente a Energía (*Energy*), que se compone de cinco Áreas Temáticas Específicas, una de las cuales es la correspondiente a Energías Renovables, Sostenibilidad y Medio Ambiente (*Renewable Energy, Sustainability and the Environment*). Dicha Área Temática Específica, como su nombre lo indica, incluye trabajos dedicados a las energías renovables, a sostenibilidad y a su relación con el medio ambiente.

En nuestro trabajo hemos utilizado *Scimago Institutions Rankings (SIR)* (<http://www.scimagoir.com/>), una herramienta para la evaluación de las universidades e instituciones de todo el mundo que priorizan la investigación. La jerarquía (*ranking*) muestra las actividades de investigación de instituciones de todo el mundo que destacan en producción científica, incluidas las universidades, agencias gubernamentales, laboratorios de investigación, hospitales y muchos más. Con ese fin se han normalizado los nombres de las instituciones que aparecen en los campos de filiación.

Para este trabajo se han utilizado los artículos, revisiones y contribuciones a congresos clasificados en el área temática especializada correspondiente a Energías Renovables, Sostenibilidad y Medio Ambiente publicados en el periodo 2003-2009. Los datos fueron descargados en diciembre de 2011.

El *SJR* (*Scimago Journal Rank*) es un indicador desarrollado por el grupo de investigación SCImago¹ que muestra la visibilidad de las revistas contenidas en *Scopus* desde 1996 (González-Pereira, Guerrero-Bote, Moya-Anegón *et al.*, 2010; Bollen *et al.*, 2009; Guerrero-Bote y Moya-Anegón, 2012). Está basado en la transferencia de prestigio o influencia desde una revista a otra a través de las referencias. Es un indicador de las revistas independiente de su tamaño, que pondera las citas recibidas por las revistas en una ventana de tres años con el prestigio de la revista citante.

La *Citación Normalizada* de cada trabajo se ha calculado dividiendo su citación por el promedio de citas mundial de los documentos de la misma Área Temática Específica, año y tipo documental. Para calcular la citación normalizada de la producción de un dominio se calcula el promedio para todos los documentos del dominio. La citación normalizada mundial será siempre 1, una citación normalizada de 1.3 significará que se supera en un 30 % el promedio mundial, mientras que un valor de 0.85 significará que es un 15 % menor que el promedio mundial.

La *Tasa de Variación* (*TV*) utilizada es la diferencia porcentual del número de trabajos en el año 2009 en relación con el total de la producción del año 2003.

El indicador IET (Índice de Especialización Temática) (Moya-Anegón *et al.*, 2004) refleja el nivel de especialización, entendido como el esfuerzo relativo que una comunidad o agente le dedica a una disciplina o área temática. Cuantifica de forma relativa el número de documentos producidos en una disciplina concreta por un determinado colectivo con respecto a otro colectivo:

$$IET_{CE/M} = \frac{\frac{Ndocc_{CE}}{Ndocc_E}}{\frac{Ndocc_{CM}}{Ndocc_M}} = \frac{\%Ndocc_{CE}}{\%Ndocc_{CM}}$$

Donde:

- $Ndocc_{CE}$ es el número de documentos del colectivo E en el campo C (análogamente $Ndocc_{CM}$ para el colectivo de referencia, en nuestro caso la producción mundial)
- $Ndocc_E$ es el número total de documentos del colectivo E (análogamente $Ndocc_M$)

1 <http://www.scimagojr.com/SCImagoJournalRank.pdf>

- $\%Ndocc_{CE}$ es el porcentaje que suponen, dentro del total de documentos primarios del colectivo E , los del campo temático C (de manera análoga se define $\%Ndocc_{CM}$).

Por último, el indicador *Tasa de Colaboración Internacional* representa el porcentaje de documentos firmados en colaboración con autores de otros países respecto del total de documentos del dominio o agregado.

RESULTADOS

Comenzamos nuestro análisis con un pequeño estudio de contexto comparado con la producción mundial así como con los países más destacados en el área de estudio.

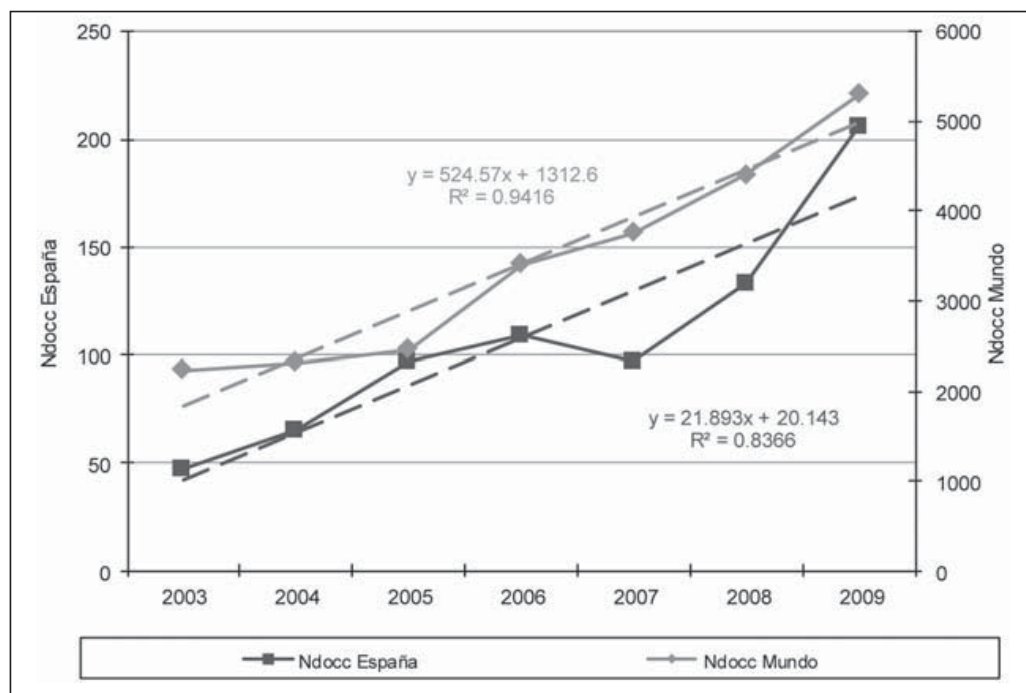


Figura 1. Evolución temporal de la producción primaria de España y el mundo (periodo 2003-2009)

Como se puede observar en la *Figura 1*, la producción primaria de España aumentó notablemente a lo largo del periodo estudiado, llegando a cuadruplicarse en estos seis años. También creció mucho la producción primaria mundial, sin embargo, mientras que la tasa de variación de la producción primaria española fue de 338 %, la mundial fue de 137 %. La correlación lineal de ambas producciones con los años es significativa estadísticamente (al nivel de significación $\alpha = 0.0039$ en el caso de la producción española y al nivel de

$\alpha = 0.00029$ en el caso de la producción mundial) y por tanto son aceptables los ajustes lineales. Los datos mostrados aquí son similares a los mostrados en otros trabajos (Romo-Fernández *et al.*, 2011 y 2012).

España contó con una producción alta y creciente en el periodo excepto en el año 2007 que sufrió un pequeño descenso.

Como podemos observar en la *Tabla I* (página siguiente), los países que contaron con una producción superior a 1 000 documentos fueron Estados Unidos, China, Reino Unido, India, Turquía y Japón.

En cuanto a Tasa de Variación se refiere podemos decir que China fue el país que mayor crecimiento experimentó en el año 2009 con respecto a 2003, con un 507.14 %, seguido de España. Sin embargo, mientras en China esta tasa de variación de la producción científica en el área de estudio no llegó a duplicar la tasa de variación de la producción científica total, en España casi la quintuplicó (fuente: <http://www.scimagojr.com/> [consultado el 12 de octubre de 2012]). Esto sitúa a España en la novena posición por producción igual que el estudio de Dong *et al.* (2012), aunque el mismo se refiere exclusivamente a Energía Solar y a un periodo ligeramente diferente. Sin embargo, la posición de España no fue estática sino que ascendió durante el periodo de la posición décimo quinta a la sexta posición, como también se muestra en el reciente trabajo de Sanz-Casado *et al.* (2012).

Los países que registraron mayor esfuerzo/especialización en esta área del Índice de Especialización Temática (IET) respecto al mundo en cuanto a energía renovable, sostenibilidad y medio ambiente fueron Turquía y Grecia. En este sentido, España ha hecho un esfuerzo/especialización en este área superior al promedio mundial, aunque hay seis países por delante, de los cuales sólo dos tuvieron una mayor producción.

España se posicionó en séptimo lugar en citación normalizada superando el promedio de citación mundial en un 15 % en todo el periodo. Llegó a estar en 2004 un 3 % por debajo del promedio mundial, pero en 2009 superó en 23 % dicho promedio. Se situó en cuarta posición en cuanto a países que presentaban un mayor crecimiento anual medio en este indicador, junto con Dinamarca, Japón, Francia y Estados Unidos. De hecho si analizamos la serie temporal se observa que España pasó de la undécima posición en 2003 a la séptima en 2009. Esto supone que el gran incremento de producción durante el periodo no supuso una merma del impacto, sino que también aumentó.

Si analizamos manualmente los valores medios de las variables utilizadas para los países, podríamos establecer los siguientes grupos:

- *Grupo 1* (sobresaliente): formado por países con altos valores en producción, y valores medios/altos tanto en índice de especialización temática

Tabla I. Evolución temporal de la producción primaria, TV, citas, citas por documento, % documentos citados, citación normalizada e IET de los países con mayor producción (período 2003-2009)

| País | Ndocc | | | | | TV (%) | Citas | Cit/doc | Citación Normalizada | | | | | IET | | | | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------|----------------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | | | | 2008 | 2009 | 2003 | 2004 | 2005 | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | Periodo |
| Estados Unidos | 357 | 334 | 313 | 485 | 422 | 504 | 665 | 3080 | 86.27 | 20672 | 6.71 | 0.92 | 0.95 | 1.06 | 1.18 | 1.15 | 1.2 | 1.09 | 0.70 |
| China | 84 | 97 | 135 | 205 | 297 | 371 | 510 | 1699 | 507.1 | 10262 | 6.04 | 1.39 | 1.13 | 1.26 | 1.15 | 1.02 | 0.93 | 1.07 | 0.81 |
| Reino Unido | 118 | 140 | 143 | 197 | 248 | 271 | 265 | 1382 | 124.6 | 9935 | 7.19 | 1.06 | 0.99 | 1.53 | 1.16 | 1.01 | 0.93 | 1.13 | 1.02 |
| India | 85 | 101 | 103 | 153 | 231 | 288 | 330 | 1291 | 288.2 | 9435 | 7.31 | 1.27 | 1.51 | 1.21 | 1 | 0.96 | 0.9 | 1.07 | 2.53 |
| Turquía | 87 | 93 | 101 | 200 | 187 | 238 | 263 | 1169 | 202.3 | 9619 | 8.23 | 1.63 | 1.58 | 0.96 | 0.99 | 1.23 | 1.16 | 1.22 | 4.70 |
| Japón | 181 | 96 | 162 | 150 | 127 | 165 | 193 | 1074 | 6.63 | 7395 | 6.89 | 1 | 0.98 | 1.03 | 1.17 | 1.05 | 1.3 | 1.05 | 0.86 |
| Alemania | 101 | 116 | 95 | 151 | 127 | 134 | 174 | 898 | 72.28 | 7755 | 8.64 | 1.39 | 1.31 | 1.06 | 1.35 | 1.54 | 1.31 | 1.31 | 0.74 |
| Canadá | 81 | 57 | 71 | 127 | 121 | 164 | 175 | 796 | 116.1 | 5432 | 6.82 | 1.13 | 1.16 | 0.92 | 1.04 | 0.9 | 1.11 | 1.05 | 1.08 |
| España | 47 | 65 | 97 | 109 | 97 | 133 | 206 | 754 | 338.3 | 5199 | 6.9 | 0.97 | 1.17 | 1.24 | 1 | 1.17 | 1.23 | 1.15 | 1.35 |
| Italia | 77 | 73 | 73 | 99 | 120 | 141 | 162 | 745 | 110.4 | 4814 | 6.46 | 1.18 | 1.01 | 0.95 | 0.93 | 1.12 | 1.01 | 1.02 | 1.06 |
| Francia | 78 | 76 | 72 | 109 | 109 | 126 | 135 | 705 | 73.08 | 4050 | 5.74 | 0.85 | 0.7 | 0.91 | 0.94 | 1.15 | 1.09 | 0.95 | 0.79 |
| Suecia | 64 | 102 | 104 | 121 | 91 | 95 | 102 | 679 | 59.38 | 6353 | 9.36 | 1.18 | 1.48 | 1.19 | 1.06 | 1.16 | 1.31 | 1.28 | 2.55 |
| Australia | 52 | 63 | 49 | 77 | 109 | 112 | 148 | 610 | 184.6 | 3763 | 6.17 | 1.14 | 1.23 | 0.99 | 1.4 | 1.08 | 0.86 | 1.05 | 1.24 |
| Grecia | 53 | 46 | 48 | 86 | 97 | 111 | 113 | 554 | 113.2 | 4155 | 7.5 | 1.52 | 1.14 | 1.11 | 1.05 | 1.32 | 1.3 | 1.22 | 4.40 |
| Países Bajos | 54 | 48 | 74 | 84 | 79 | 111 | 98 | 548 | 81.48 | 5319 | 9.71 | 2.09 | 1.07 | 1.5 | 1.13 | 1.52 | 1.41 | 1.46 | 1.38 |
| Dinamarca | 34 | 39 | 36 | 60 | 75 | 57 | 89 | 390 | 161.8 | 4901 | 12.57 | 0.83 | 1.65 | 1.69 | 2.24 | 1.7 | 2.44 | 2.2 | 2.69 |
| Taiwán | 31 | 27 | 42 | 42 | 55 | 75 | 118 | 390 | 280.7 | 2608 | 6.69 | 1.13 | 1.17 | 1.02 | 1.68 | 1.24 | 0.86 | 1.12 | 1.24 |

como en citación normalizada. Podemos decir que el prototipo de este grupo es Turquía; además, incluimos a Reino Unido, India, Canadá, Italia y España.

- *Grupo 2* (países avanzados): caracterizado por contar con países con altos valores en producción y citación normalizada, pero en este caso con baja especialización. Estados Unidos podría ser el prototipo. Además, otros países encuadrados aquí serían: China, Japón, Alemania y Francia.
- *Grupo 3* (especializado): formado por aquellos países que contaban con una producción media y valores medios/altos en citación normalizada e índice de especialización. El prototipo sería Grecia. Además incluimos en este grupo a Suecia, Australia, Países Bajos, Dinamarca y Taiwán.

En la *Figura 2* (página siguiente) podemos observar el IET (eje horizontal) y la citación normalizada (eje vertical) de los países que tuvieron mayor producción en el campo de las Energías Renovables en el periodo estudiado. El volumen del círculo es proporcional a la producción primaria en el área en cada país. Si dividimos la gráfica en cuatro cuadrantes, tomando como centro la posición de España, podemos ver que en el cuadrante superior derecho, mayor impacto (citación normalizada) y especialización (IET) que España, están Dinamarca, Suecia, Grecia, Países Bajos (con una especialización muy similar a la de España) y Turquía, de los cuales solamente el último tuvo una mayor producción primaria que España. En el cuadrante superior izquierdo, es decir, con mayor impacto y menor especialización que España, solamente está Alemania. En el cuadrante inferior derecho, que indica mayor especialización pero menor impacto que España solamente está India. El resto de países tienen tanto menor esfuerzo como impacto que España. Estos resultados son similares a los mostrados en estudios previos (Romo-Fernández *et al.*, 2011 y 2012).

En la *Tabla II* (p. 137) se muestra la colaboración internacional de España con el resto de países del mundo en el periodo 2003-2009. Además de los documentos en colaboración y la citación que éstos reciben podemos ver los porcentajes que supusieron, tanto el número de documentos como la citación, respecto a la producción española. Si nos fijamos, salvo el caso de los tres países finales, el porcentaje de citación fue mayor que el porcentaje de documentos, lo que indica una mayor citación de los documentos en colaboración, como se ha mostrado en los estudios sobre la colaboración internacional (Lancho-Barrantes *et al.*, 2012; Guerrero-Bote *et al.*, 2013).

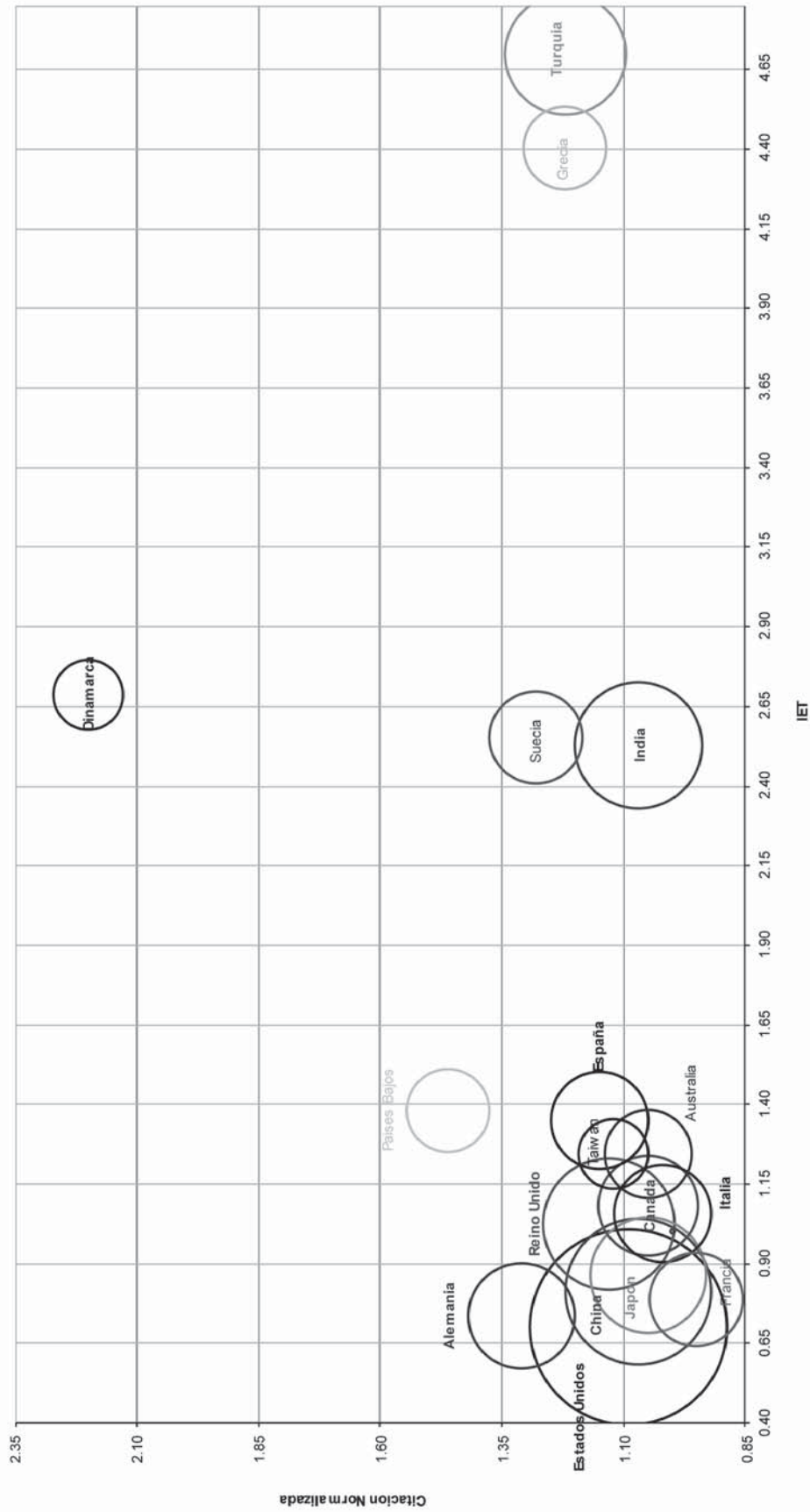
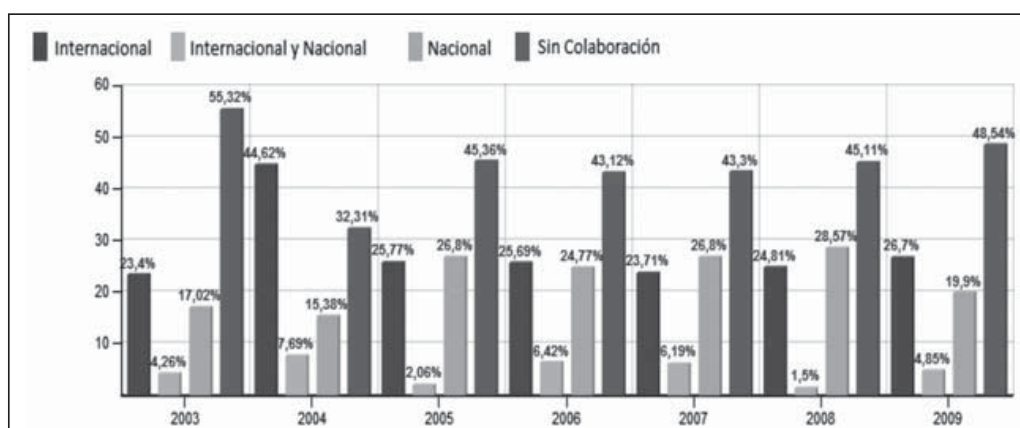


Figura 2. Índice de Especialización Temática y Citación Normalizada de los países con mayor producción en Energías Renovables a nivel mundial (periodo 2003-2009)

Tabla II. Colaboración internacional de España con el mundo (periodo 2003-2009). Ordenado por el número de documentos

| País | Abrev. | Doc | Citas | % Doc | % Cit |
|----------------|--------|-----|-------|-------|-------|
| Alemania | DEU | 44 | 421 | 5.84 | 8.10 |
| Reino Unido | GBR | 31 | 330 | 4.11 | 6.35 |
| Estados Unidos | USA | 23 | 168 | 3.05 | 3.23 |
| Italia | ITA | 22 | 234 | 2.92 | 4.50 |
| Francia | FRA | 20 | 188 | 2.65 | 3.62 |
| Países Bajos | NLD | 19 | 198 | 2.52 | 3.81 |
| Dinamarca | DNK | 14 | 189 | 1.86 | 3.64 |
| Grecia | GRC | 11 | 123 | 1.46 | 2.37 |
| Suecia | SWE | 10 | 203 | 1.33 | 3.90 |
| Canadá | CAN | 5 | 68 | 0.66 | 1.31 |
| Japón | JPN | 4 | 53 | 0.53 | 1.02 |
| Australia | AUS | 3 | 31 | 0.40 | 0.60 |
| Turquía | TUR | 3 | 6 | 0.40 | 0.12 |
| China | CHN | 2 | 9 | 0.27 | 0.17 |
| India | IND | 1 | 0 | 0.13 | 0 |

**Figura 3.** Evolución temporal de la Tasa de Colaboración de España (periodo 2003-2009)

En la *Figura 3* podemos ver cómo la tasa de trabajos sin colaboración está cercana al 50 % (se aleja más en 2004), siendo superior en la mayor parte de los casos a las otras tasas. La tasa de colaboración nacional fue superior a la internacional en tres años, aunque en promedio ganó la internacional. Lógicamente la tasa menor fue la de documentos con colaboración tanto nacional como internacional. En la evolución, las tasas del año 2004 fueron bastante diferentes al resto, con una alta colaboración internacional, y se intuye un ligero incremento de las tasas de colaboración, pero sin una tendencia clara.

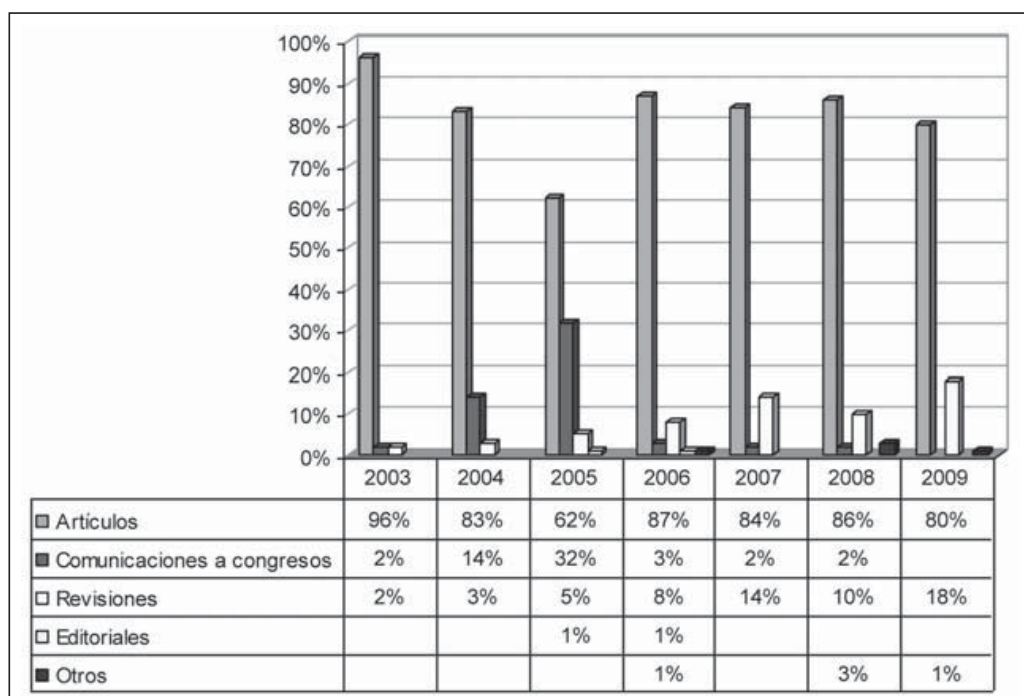


Figura 4. Porcentajes de producción según la tipología documental de la categoría Renewable Energy, Sustainability and the Environment (periodo 2003-2009)

Como podemos observar en la *Figura 4*, el artículo científico es la tipología documental más utilizada con diferencia del resto. Seguidamente encontramos las revisiones y las contribuciones a congresos. En el año 2005 se observa un mayor porcentaje de contribuciones a congresos, esto se debió principalmente al “3rd European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications (SPEA-3)”, celebrado en Barcelona en 2004 y al “International Conference on the Physics, Chemistry and Engineering of Solar Cells”, celebrado en Badajoz, Spain en 2004, que publicaron una selección de contribuciones en las revistas *Solar Energy* y *Solar Energy Material and Solar Cells*.

Tabla III. Producción primaria, citas, citas/documento, citación normalizada e IET de las instituciones españolas (producción igual o superior a 8 documentos) (periodo 2003-2009).

| Institución | ABREV | Ndocc | % TV | Citación Normalizada | % TV CN | IET |
|--|--------|-------|-------|----------------------|---------|------|
| Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas | CIEMAT | 107 | 171.4 | 1.07 | -73.7 | 26.2 |
| Universidad Politécnica de Madrid | UPM | 92 | 116.7 | 0.88 | 70.2 | 6.56 |
| Universidad de Zaragoza | UNIZAR | 52 | | 1.53 | | 3.61 |
| Consejo Superior de Investigaciones Científicas | CSIC | 46 | 600 | 1.67 | 130.4 | 0.5 |
| Universidad de Jaén | UJAEN | 40 | 350 | 1.13 | 25.7 | 9.55 |
| Universitat Autònoma de Barcelona | UAB | 34 | 1200 | 1.22 | -15.9 | 1.35 |

| | | | | | | |
|---|----------|----|-------|------|--------|--------|
| ► Universidad Carlos III de Madrid | UC3M | 30 | 1000 | 1.07 | -77.4 | 4.08 |
| Universitat Politècnica de Catalunya | UPC | 29 | 200 | 0.81 | -78.6 | 1.34 |
| Universidad de Sevilla | US | 26 | 100 | 1.11 | 2162.5 | 1.69 |
| Universidad de Valladolid | UVA | 26 | 50 | 1.01 | 30.9 | 3.25 |
| Universidad Politécnica de Valencia | UPV | 26 | 150 | 1.23 | 119.7 | 1.7 |
| Universidad del País Vasco | UPV/EHU | 25 | 400 | 1.23 | 181.4 | 1.7 |
| Universidad de Almería | UAL | 19 | | 0.87 | | 5.38 |
| Universidad de Granada | UGR | 18 | | 0.5 | | 1.02 |
| Universidad de Vigo | UVIGO | 18 | | 0.61 | | 2.04 |
| Universidad de las Palmas de Gran Canaria | ULPGC | 16 | 0 | 1.42 | 66.7 | 3.93 |
| Universidad Complutense de Madrid | UCM | 15 | 133.3 | 0.74 | 80.9 | 0.56 |
| Universidad de Castilla-La Mancha | UCLM | 15 | | 1.15 | | 1.78 |
| Universidad de Oviedo | UNIOVI | 15 | 600 | 0.89 | 112.8 | 1.36 |
| Universidad de Santiago de Compostela | USC | 15 | 800 | 1.42 | | 0.99 |
| Universidad Politécnica de Cartagena | UPCT | 14 | 150 | 0.62 | 38.5 | 4.74 |
| Universidad de Cádiz | UCA | 13 | | 1.71 | | 3.26 |
| Universidad Nacional de Educación a Distancia | UNED | 13 | | 0.86 | | 3.5 |
| Universitat de Barcelona | UB | 13 | | 1.31 | | 0.4 |
| Universidad de La Rioja | UNIRIOJA | 12 | | 1.31 | | 8.6 |
| Universitat de Lleida | UDL | 11 | 100 | 1.73 | 53.7 | 3.13 |
| Instituto de Prospectiva Tecnológica | IPTS | 10 | 50 | 1.15 | 57.0 | 46.47 |
| Instituto Tecnológico de Canarias | ITC | 10 | -50 | 1.41 | 234.4 | 163.93 |
| Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentaries Barcelona | IRTA | 9 | | 1.7 | | 3.95 |
| Universidad de Córdoba | UCO | 9 | -50 | 1.59 | -19.4 | 1.46 |
| Universidad de Extremadura | UEX | 9 | | 0.71 | | 1.47 |
| Universidad de Huelva | UHU | 9 | | 1.57 | | 4.17 |
| Universidad de Málaga | UMA | 8 | 0 | 0.69 | 134.8 | 1 |
| Universitat Jaume I | UJI | 8 | | 3.09 | | 1.7 |

Contamos con un total de 109 instituciones españolas con producción en Energía Renovable, Sostenibilidad y Medio Ambiente. En la *Tabla III* nos hemos centrado en aquellas 34 que contaban con una producción igual o superior a 8 documentos y, de este grupo, encontramos que 29 de ellas pertenecían al sector universitario y 5 al sector público. Las tasas de variación no se calcularon si la institución no dispuso de producción en 2003. Hay centros de investigación especializados que se dedican a campos específicos, aunque la mayoría son generalistas, e incluso muchos de ellos tienen también otras misiones como la docencia.

En cuanto a producción científica encontramos en primer lugar el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas que es la institución con mayor número de documentos en el periodo de estudio, si

bien en crecimiento anual promedio esta institución está en la posición 9. Seguidamente encontramos la Universidad Politécnica de Madrid que en cuanto a crecimiento anual medio se situó en la posición 13. En la tercera posición en cuanto a producción científica quedó la Universidad de Zaragoza, que no tuvo producción en 2003.

La Universitat Autònoma de Barcelona, la Universidad Carlos III de Madrid, la Universidad de Santiago de Compostela y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas fueron las instituciones que mayor crecimiento anual medio en producción experimentaron en el periodo estudiado.

Volviendo a la citación normalizada de las instituciones objeto de estudio, podemos ver que más del 60 % de ellas superaron el promedio mundial ya que alcanzaron valores superiores a 1. De las instituciones con 30 trabajos o más (las siete más productivas), llama la atención el alto impacto del CSIC (1.67) y el de la Universidad de Zaragoza (1.53).

Si hablamos del crecimiento anual medio, las primeras posiciones las ocuparon la Universidad de Sevilla, la Universidad del País Vasco y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (de entre las que tuvieron producción tanto en 2003 como en 2009).

Entre las instituciones más productivas que mayor esfuerzo realizan respecto al mundo en Energías Renovables, Sostenibilidad y Medio Ambiente está el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Se puede observar que la mayoría de las universidades son generalistas, ya que cuentan con poca especialización. Entre las universidades más productivas llama la atención el gran esfuerzo realizado por la U. de Jaén, la U. Politécnica de Madrid, la U. Carlos III y la U. de Zaragoza.

En la *Figura 5* se ha representado el tamaño (número de trabajos publicados) y el impacto (citación normalizada) de la producción científica primaria de las mismas instituciones de la *Tabla III*.

De acuerdo con los indicadores manejados para las instituciones mencionadas se pueden establecer cuatro grupos:

- *Grupo 1.* Formado por las instituciones públicas de investigación distintas a las Universidades. Éstas se caracterizan por una citación normalizada superior a la unidad y una especialización alta, a excepción del CSIC. El CSIC y el CIEMAT tienen una mayor producción que el resto, conformado por el Instituto de Prospectiva Tecnológica, el Instituto Tecnológico de Canarias y el Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentaries Barcelona.
- *Grupo 2.* Compuesto por Universidades que obtuvieron una citación normalizada, más de un 30 % superior al promedio mundial. A excepción

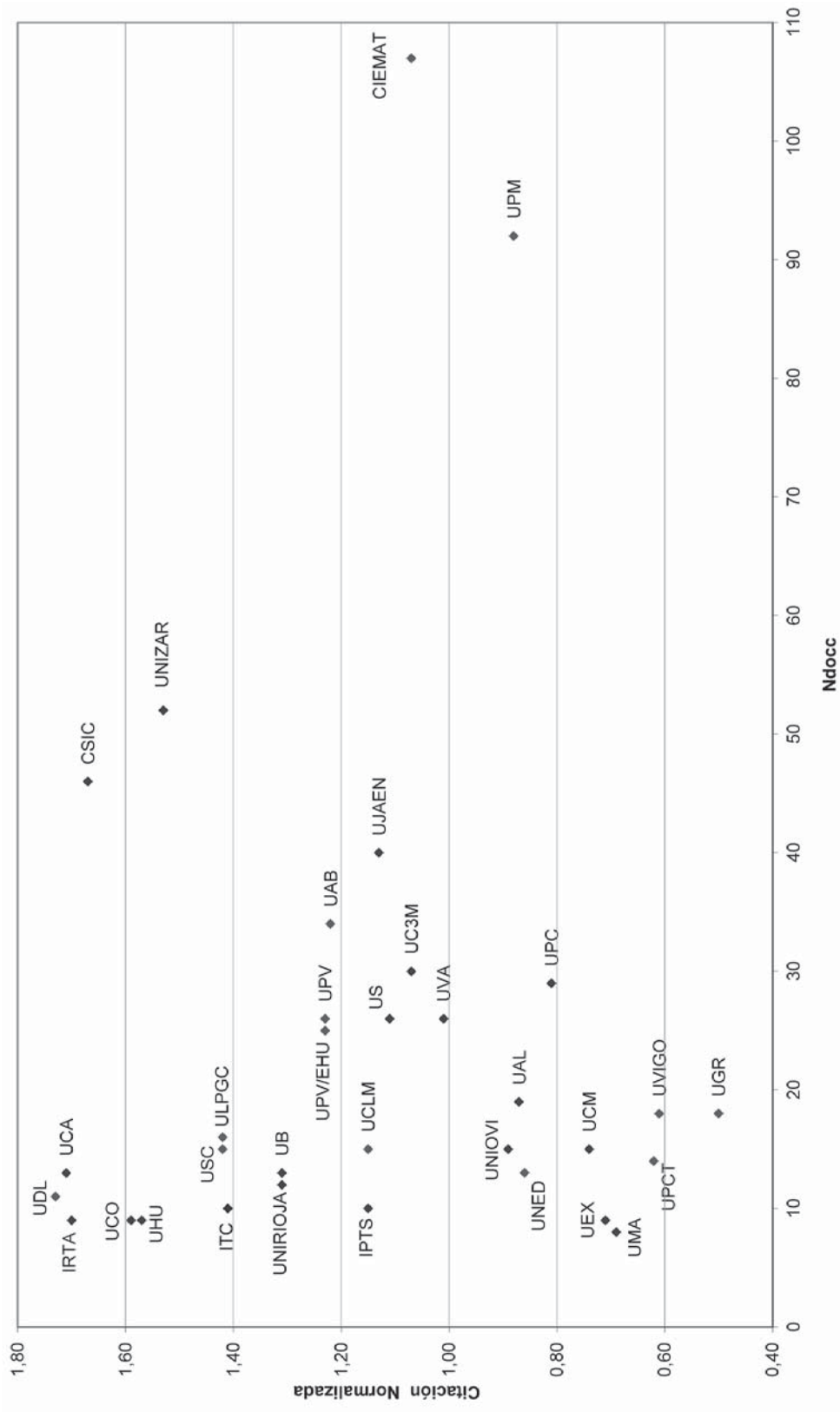


Figura 5. Número de documentos y Citación Normalizada de las Instituciones (producción igual o superior a 8) (periodo 2003-2009). Las instituciones correspondientes a las abreviaturas de pueden ver en la *Tabla III*.

de la Universidad de Barcelona y de la Universidad de Santiago de Compostela, todas tuvieron una especialización superior al promedio mundial. El resto son la Universidad de La Rioja, la Universidad de las Palmas de Gran Canaria, la Universidad de Zaragoza, la Universidad de Huelva, la Universidad de Córdoba, la Universidad de Cádiz, la Universitat de Lleida y la Universitat Jaume I. Destacó la alta citación normalizada que obtuvo esta última con sus 8 trabajos.

- *Grupo 3.* Constituido por aquellas Universidades que obtuvieron una citación normalizada entre 1 y 1.3. Todas ellas tienen una especialización superior al promedio mundial y producciones medias; destaca la Universidad de Jaén con 9.55 y sus 40 trabajos. Además de la mencionada se encuentran la Universidad de Valladolid, la Universidad Carlos III de Madrid, la Universidad de Sevilla, la Universidad de Castilla-La Mancha, la Universitat Autònoma de Barcelona, la Universidad Politécnica de Valencia y la Universidad del País Vasco.
- *Grupo 4.* Caracterizado por incluir Universidades que obtuvieron una citación normalizada inferior al promedio mundial. La Universidad Complutense de Madrid fue la única con especialización inferior al promedio mundial. Destacó la producción y la especialización de la Universidad Politécnica de Madrid. El resto de universidades que integraban el grupo eran la Universidad de Málaga, la Universidad de Granada, la Universitat Politècnica de Catalunya, la Universidad de Oviedo, la Universidad de Extremadura, la Universidad de Vigo, la Universidad Nacional de Educación a Distancia, la Universidad Politécnica de Cartagena y la Universidad de Almería, y todas ellas tuvieron una producción media o baja.

La *Tabla IV* muestra cómo la revista *Renewable Energy* fue la que contó con mayor número de documentos citables españoles publicados, si bien en cuanto a citas descendió a la posición tercera. Seguida de ésta encontramos a *Solar Energy*, que en cuanto a citas descendió a la posición quinta.

Las revistas que mayor incremento en el número de documentos citables españoles experimentaron en el periodo estudiado fueron *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *Energy Conversion and Management* y *Renewable Energy*.

Las revistas que mayor número de citas obtienen en el periodo estudiado fueron *Solar Energy Materials and Solar Cells* y *Energy Conversion and Management*.

Annual Review of Environment and Resources y *Solar Energy Materials and Solar Cells* son las revistas que mayor impacto alcanzaron en el periodo,

Tabla IV. Número de trabajos citables españoles publicados, TV del núm. de trabajos citables españoles publicados, Cites, SJR y TV del SJR de las revistas de la categoría Renewable Energy, Sustainability and the Environment donde más publican las instituciones españolas (periodo 2003-2009).

| Título de la fuente | Q | Country | Ndocc | | | | | | TV | Cites | SJR | TVSJR | |
|--|----|---------|-------|------|------|------|------|------|----|---------|-------|-------|--------|
| | | | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | | | | | 2009 |
| <i>Renewable Energy</i> | Q1 | nld | 8 | 7 | 9 | 16 | 11 | 21 | 35 | 337.50 | 5687 | 0.065 | 64.15 |
| <i>Solar Energy</i> | Q1 | nld | 14 | 14 | 20 | 16 | 9 | 11 | 22 | 57.14 | 5251 | 0.090 | 8.24 |
| <i>Solar Energy Materials and Solar Cells</i> | Q1 | nld | 4 | 3 | 24 | 14 | 10 | 13 | 11 | 175.00 | 13217 | 0.168 | 79.86 |
| <i>Energy Conversion and Management</i> | Q1 | nld | 3 | 6 | 9 | 12 | 12 | 17 | 18 | 500.00 | 9299 | 0.073 | 50.00 |
| <i>Energy</i> | Q1 | nld | 3 | 12 | 9 | 10 | 7 | 9 | 13 | 333.33 | 5669 | 0.067 | 76.79 |
| <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> | Q1 | nld | 1 | 1 | 1 | 5 | 14 | 8 | 26 | 2500.00 | 3375 | 0.109 | 78.41 |
| <i>Energy and Buildings</i> | Q2 | nld | 3 | 5 | 2 | 4 | 5 | 12 | 10 | 233.33 | 3890 | 0.061 | 30.36 |
| <i>Journal of Cleaner Production</i> | Q2 | nld | 4 | 2 | 2 | 4 | 5 | 8 | 14 | 250.00 | 3821 | 0.054 | 23.08 |
| <i>Biomass and Bioenergy</i> | Q1 | nld | 1 | 4 | | 4 | 3 | 4 | 13 | 1200.00 | 5126 | 0.103 | 69.12 |
| <i>Resources, Conservation and Recycling</i> | Q2 | nld | 2 | 1 | 1 | 5 | 2 | 5 | 5 | 150.00 | 2385 | 0.061 | 22.81 |
| <i>Environmental Science and Policy</i> | Q1 | nld | | 1 | 4 | 1 | 4 | 3 | 6 | | 1878 | 0.073 | 1.05 |
| <i>Radioprotection</i> | Q3 | fra | | | | | | | 14 | | 133 | 0.040 | -25.58 |
| <i>Energy and Environmental Science</i> | Q1 | gbr | | | | | | 2 | 11 | | 250 | 0.045 | |
| <i>Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics</i> | Q2 | nld | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | -50.00 | 1723 | 0.051 | 0.00 |
| <i>Wind Energy</i> | Q2 | usa | | 2 | | | | 3 | 3 | | 813 | 0.045 | |
| <i>International Solar Energy Conference</i> | | usa | | 2 | 4 | 2 | 2 | | | | | | |
| <i>Environmental Impact Assessment Review</i> | Q2 | nld | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 100.00 | 1418 | 0.055 | 23.53 |
| <i>Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects</i> | Q2 | gbr | | | | 5 | 1 | 1 | | | 739 | 0.017 | |
| <i>Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME</i> | Q3 | usa | | | 2 | 4 | | | | | 539 | 0.042 | -19.15 |
| <i>Environmental Research Letters</i> | Q1 | gbr | | | | | 1 | 2 | 2 | | 531 | 0.089 | |
| <i>International Journal of Photoenergy</i> | Q3 | usa | | | | | 2 | 2 | 1 | | 418 | 0.060 | -34.55 |



| | | | | | | | | | | | | |
|---|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---------|-------|--------|
| <i>Energy and Environment</i> | Q3 | gbr | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 250 | 0.045 | |
| <i>World Review of Entrepreneurship, Management and Sustainable Development</i> | Q3 | gbr | | | 1 | 2 | 1 | 4 | 4 | 12 | 0.008 | |
| <i>Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering</i> | Q3 | aus | | | | | 3 | 3 | 3 | 223 | 0.035 | -17.07 |
| <i>International Journal of Sustainable Development and Planning</i> | Q3 | gbr | | | 2 | | 1 | 3 | 3 | 26 | 0.012 | |
| <i>International Journal of Sustainable Energy</i> | Q3 | gbr | | 2 | | | 1 | 3 | 3 | 61 | 0.036 | -30.00 |
| <i>Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy</i> | Q2 | gbr | | | 1 | | 1 | 2 | 2 | 215 | 0.017 | |
| <i>IET Renewable Power Generation</i> | Q2 | gbr | | | | 2 | | 2 | 2 | 188 | 0.016 | |
| <i>International Journal of Green Energy</i> | Q2 | usa | | | | 2 | | 2 | 2 | 106 | 0.016 | |
| <i>International Journal of Innovation and Sustainable Development</i> | Q3 | gbr | | | 1 | | 1 | 2 | 2 | 84 | 0.018 | |
| <i>Research Journal of Chemistry and Environment</i> | Q3 | ind | | | 2 | | | 2 | 2 | 41 | 0.009 | |
| <i>Annual Review of Environment and Resources</i> | Q1 | usa | | | | 1 | | 1 | 1 | 994 | 0.241 | 69.52 |
| <i>Biofuels, Bioproducts and Biorefining</i> | Q1 | gbr | | | | 1 | | 1 | 1 | 344 | 0.049 | |
| <i>Energy for Sustainable Development</i> | Q2 | nld | | | 1 | | | 1 | 1 | 345 | 0.062 | 18.60 |
| <i>Energy Materials: Materials Science and Engineering for Energy Systems</i> | Q4 | gbr | | | | 1 | | 1 | 1 | | 0.003 | |
| <i>Journal of Biobased Materials and Bioenergy</i> | Q1 | usa | | | | | 1 | 1 | 1 | 57 | 0.015 | |
| <i>Photovoltaics Bulletin</i> | | nld | 1 | | | | | 1 | 1 | -100.00 | | |
| <i>Problemy Ekorozwoju</i> | Q4 | pol | | | | 1 | | 1 | 1 | 6 | 0.004 | |
| <i>Refocus</i> | | nld | | 1 | | | | 1 | 1 | | | |

siendo esta última la que mayor crecimiento anual medio presentó para este indicador.

Tabla V. Evolución temporal del número de trabajos citables españoles en cada cuartil de las revistas de la categoría Renewable Energy, Sustainability and the Environment (periodo 2003-2009)

| | ASSJR | Q4 (Lowest values) | Q3 | Q2 | Q1 (highest values) |
|------|-------|-----------------------|----|----|------------------------|
| 2003 | 1.06 | 1 | | 15 | 31 |
| 2004 | 1.08 | 2 | | 19 | 44 |
| 2005 | 1.08 | 5 | | 21 | 71 |
| 2006 | 1.05 | 2 | 9 | 16 | 82 |
| 2007 | 1.06 | 2 | 5 | 19 | 71 |
| 2008 | 1.03 | 6 | 3 | 34 | 90 |
| 2009 | 1.04 | 2 | 7 | 94 | 103 |

Como se puede ver en la *Tabla V* el mayor número de trabajos de las revistas de la categoría Renewable Energy, Sustainability and the Environment se encuentran entre las revistas de mayor impacto, ya que se sitúan en el cuartil 1. A medida que pasaron los años se fueron incluyendo un mayor número de trabajos en las revistas del primer cuartil, excepto en el año 2007.

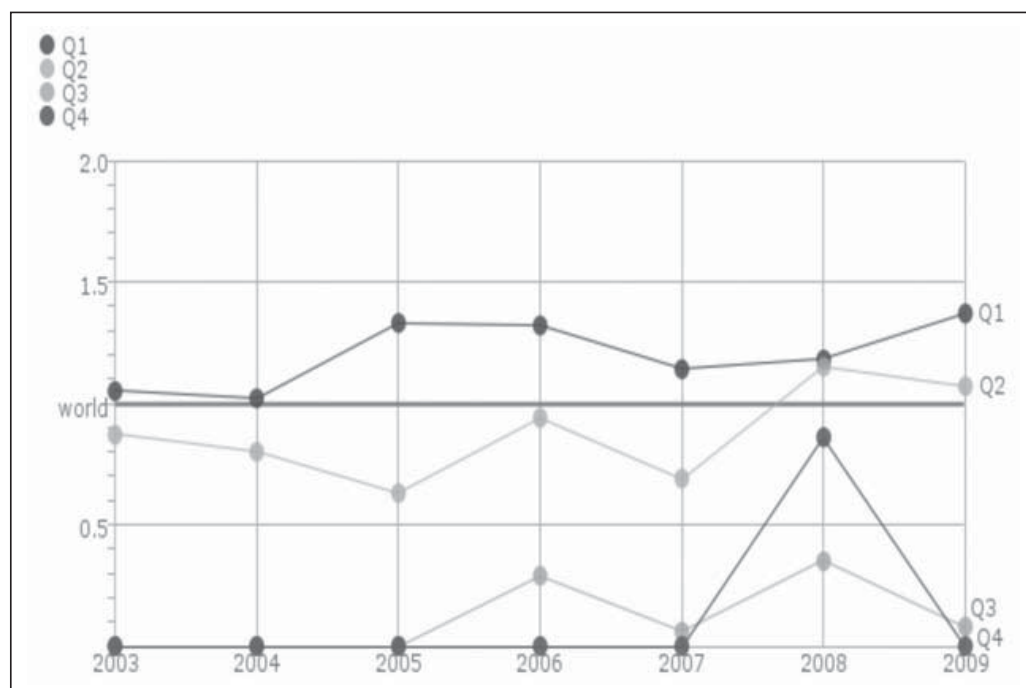


Figura 6. Evolución de la Citación Normalizada de los documentos citables españoles en el área de Renewable Energy, Sustainability and the Environment por cuartiles de las revistas de publicación

Si analizamos los cuartiles de las revistas donde se publicaron los trabajos científicos citables españoles en el área de estudio y la citación normalizada, vemos cómo las del primer cuartil, que es donde más revistas encontramos, superaron al mundo.

Analizando los valores medios para algunas de las variables utilizadas, se puede llevar a cabo un estudio descriptivo de los grupos resultantes para las Revistas:

- *Grupo 1.* Caracterizado por tener un número alto de documentos, mayor número de citas en el periodo y mayor impacto. Todas las revistas de este grupo son holandesas y podemos decir que el prototipo de este grupo es *Solar Energy Materials and Solar Cells*. Otras revistas que incluimos en este grupo son: *Energy Conversion and Management*, *Solar Energy* y *Biomass and Bioenergy*. A nivel particular, *Biomass and Bioenergy* se aleja de los valores más altos en este estudio en cuanto a número de documentos a pesar de que el resto de indicadores la colocarían en este grupo.
- *Grupo 2.* Caracterizado por contar con un número de documentos medio por revista, altos valores en citas, pero el impacto alcanzado por las revistas fue bajo. Al igual que el conjunto anterior, todas las revistas eran holandesas y podemos decir que el prototipo de este grupo es *Renewable Energy*. Además, otras revistas incluidas en esta agrupación fueron: *Energy*, *Energy and Buildings*, *Journal of Cleaner Production*, *Resources, Conservation and Recycling*, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*.
- *Grupo 3.* Caracterizado por incluir revistas con un número de documentos medio por revista pequeño, bajos valores en citas y escaso impacto. En este grupo predominan las revistas británicas y estadounidenses y es muy diferente al primer grupo. Podemos decir que el prototipo es *Problemy Ekorozwoju*, y además, incluimos las siguientes revistas en esta agrupación: *Radioprotection*, *Energy and Environmental Science*, *Wind Energy*, *Environmental Impact Assessment Review*, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*; *Journal of Energy Resources Technology*, *Transactions of the ASME*, *International Journal of Photoenergy*, *Energy and Environment*, *World Review of Entrepreneurship, Management and Sustainable Development*, *International Journal of Sustainable Energy*, *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, *International Journal of Sustainable Development and Planning*, *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning*

and Policy; IET Renewable Power Generation, International Journal of Green Energy, Research Journal of Chemistry and Environment, Biofuels, Bioproducts and Biorefining y Journal of Biobased Materials and Bioenergy. A nivel individual *Environmental Impact Assessment Review* se aproxima a los promedios mundiales en cuanto a citas.

- Y por último, el *grupo 4* se caracteriza por tener revistas con un número pequeño de documentos por revista, un número medio de citas, pero en este caso, con un mayor SJR. Podríamos decir que el prototipo sería *Environmental Research Letters*, además de la cual se incluyeron las siguientes revistas: *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Environmental Science and Policy, Annual Review of Environment and Resources y Energy for Sustainable Development.* Tres de las revistas de este grupo son holandesas, una estadounidense y una británica. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* obtuvo valores altos en cuanto a número de documentos y *Annual Review of Environment and Resources* fue la revista que obtuvo un impacto más alto no sólo en este grupo sino en el total de revistas analizadas.

CONCLUSIONES

La producción científica en el área de estudio creció linealmente en el periodo 2003-2009 a nivel mundial, en España también creció linealmente pero más deprisa, y se cuadruplicó en el periodo. Durante el mismo la producción española ascendió desde la decimoquinta posición a la sexta. Esto significa que se incrementó mucho el esfuerzo investigador durante el periodo, a principios del cual, podríamos decir, estaba por debajo de su lugar natural. Este incremento de la producción no ha supuesto una merma de la calidad en la citación normalizada, sino que también se ha incrementado.

La tasa de colaboración en España en el área de estudio no es muy alta, de hecho los trabajos sin colaboración vienen a suponer cerca del 50 %. Se atisba una tendencia a decrecer. Igualmente se atisba una tendencia al crecimiento de la tasa de colaboración internacional, que viene a estar por encima del 25 %. Se comprueba que la colaboración internacional viene a suponer un incremento de la citación por regla general.

Con todo ello España viene a estar dentro del grupo de países sobresalientes, que tienen una gran producción científica con alta especialización temática reconocida internacionalmente.

Hay 109 instituciones españolas que publicaron trabajos en el área y periodo de estudio. De ellas solamente 34 tuvieron una producción promedio

anual superior a un trabajo. Entre las mismas hubo 29 universidades y otras cinco instituciones del sector público que fueron clasificadas en cuatro grupos.

Las instituciones del sector público (grupo 1) son de las que mayor especialización tuvieron, salvo el CSIC que es más generalista. Destacaron el CIEMAT por su alta producción que supuso cerca del 15 % de la producción nacional y el CSIC con una citación normalizada que superó en un 67 % el promedio mundial.

Existen 10 universidades con una citación normalizada superior en un 30 % al promedio mundial (grupo 2), entre las que destacó la Universidad de Zaragoza que sin producción en 2003 se colocó en primera posición en 2009 junto con el CIEMAT. Por debajo del promedio mundial hay 11 universidades (grupo 4), entre las que destacó la UPM por su producción y especialización. De las restantes 8 universidades (grupo 3) que se encontraban en una situación intermedia destacó la U. de Jaén por su producción y especialización.

Y por último, la mayoría de las revistas utilizadas para publicar por los científicos españoles del área de estudio fueron del primer cuartil, seguidas de las del segundo a gran distancia de las revistas del tercer y cuarto cuartil. Esto explica los buenos resultados de impacto obtenidos. Gran parte de ellas figuraron como holandesas por pertenecer al grupo Elsevier, el mayor grupo editorial de revistas científicas. En concreto, las dos revistas más utilizadas a gran distancia del resto fueron *Renewable Energy* y *Solar Energy*.

Esto también da una idea de la fortaleza del impulso de las energías renovables y en concreto de la solar dentro del área de estudio.

De todo ello se puede inferir que ha habido un incremento del esfuerzo científico dedicado al área de estudio durante el periodo estudiado, sin que dicho esfuerzo pueda atribuirse exclusivamente a nuevas instituciones o científicos, sino más bien a un cambio de orientación de las mismas. Esto hizo posible no sólo el aumento de la producción sino también del impacto, lo que mejoró las posiciones de España en el *ranking* mundial. Esto puso de manifiesto que el esfuerzo inversor llevado a cabo a nivel europeo, con el VII programa marco, apoyado a nivel nacional con el VI Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica, obtuvo un gran resultado en España. No así en el resto de Europa que pese a haber incrementado su producción perdió porcentaje en la producción mundial porque en otras partes del mundo el incremento fue mayor.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011 y el Fondo Europeo de

Desarrollo Regional (FEDER) como parte de los proyectos de investigación TIN2008-06514-C02-01 y TIN2008-06514-C02-02.

BIBLIOGRAFÍA

- Archambault, É.; Campbell, D.; Gingras, Y.; Larivière, V. (2009), “Comparing Bibliometric Statistics Obtained from the *Web of Science and Scopus*”, en *Journal of the American Society for Information Science and Technology (JASIST)*, 60 (7), 1320-1326.
- Bollen, J.; Van de Sompel, H.; Hagberg, A.; Chute, R. (2009), “A principal component analysis of 39 scientific impact measures”, en *PLoS ONE*, 4(6), e6022 DOI:10.1371/journal.pone.0006022.
- Brundtland, G. *et al.* (1987), *Our Common Future: Brundtland Report*, disponible en: <http://worldinbalance.net/intagreements/1987-brundtland.php> [consultado el 9 de octubre de 2012].
- Celiktas, M. S.; Sevgili, T.; Kocar, G. (2009), “A snapshot of renewable energy research in Turkey”, en *Renewable Energy*, 34, 1479-1486.
- Codina, L. (2005), “*Scopus*: el mayor navegador científico de la web”, en *El Profesional de la Información*, 4, 44-49.
- Dong, B.; Xu, G.; Luo, X.; Cai, Y.; Gao, W. (2012), “A bibliometric analysis of solar power research from 1991 to 2010”, en *Scientometrics*, 93, 1101-1117.
- González-Pereira, B.; Guerrero-Bote, V. P.; Moya-Anegón, F. (2010), “A new approach to the metric of journals’ scientific prestige: The SJR indicator”, en *Journal of Informetrics*, 4, 379-391.
- Guerrero-Bote, V. P.; Moya-Anegón, F. (2012), “A further step forward in measuring journals’ scientific prestige: The SJR2 indicator”, en *Journal of Informetrics*, 6, 674-688.
- Guerrero-Bote, V. P.; Olmeda-Gómez, C.; Moya-Anegón, F. (2013), “Quantifying the Benefits of International Scientific Collaboration”, en *Journal of the American Society for Information Science and Technology* (en prensa), DOI: 10.1002/asi.22754.
- Hane, P. (2004), “Elsevier announces Scopus service”, en *Information today*, disponible en: <http://newsbreaks.infotoday.com/nbreader.asp?ArticleID=16494> [consulta: 11 diciembre 2011]
- Hassan, E. (2005), “The evolution of the knowledge structure of fuel cells”, en *Scientometrics*, 62 (2), 223-238.
- Jacso, P. (2004), “*Scopus*, Péter’s Digital Reference Shelf”, en *Gale Cengage Learning*, disponible en: <http://www.gale.cengage.com/servlet/HTMLFileServlet?imprint=9999®ion=7&fileName=/reference/archive/200409/scopus.html> [consulta: 15 diciembre 2011].
- Kajikawa, Y.; Takeda, Y. (2008), “Structure of research on biomass and bio-fuels: A citation-based approach”, en *Technological Forecasting and Social Change*, 75 (9), 1349-1359.

- Kajikawa, Y.; Yoshikawa, J.; Takeda, Y.; Matsushima, K. (2008), "Tracking emerging technologies in energy research: Toward a roadmap for sustainable energy", en *Technological Forecasting and Social Change*, 75, 771-782.
- Komiyama, H.; Takeuchi, K. (2006), "Sustainability science: building a new discipline", en *Sustainability Science*, 1, 1-6.
- Laguardia, C. (2005), "E-views and reviews: *Scopus* vs. *Web of Science*", en *Library Journal*, 15, disponible en: <http://www.libraryjournal.com/article/CA491154.html> [consulta: 3 enero 2012].
- Lancho-Barrantes, B.; Guerrero-Bote, V. P.; Chinchilla-Rodríguez, Z.; Moya-Anegón, F. (2012), "Citation flows in the zones of influence of scientific collaborations", en *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(3), 481-489.
- Leydesdorff, L.; Moya Anegón, F.; Guerrero Bote, V. P. (2010), "Journal maps on the basis of *Scopus* data: A comparison with the Journal Citation Reports of the ISI", en *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(2), 352-369.
- Moya-Anegón, F.; Chinchilla Rodríguez, Z.; Vargas Quesada, B.; Corera Álvarez, E.; Muñoz Fernández, F. J.; González Molina, A.; Herrero Solana, V. (2007), "Coverage analysis of *Scopus*: A journal metric approach", en *Scientometrics*, 73(1), 53-78.
- Moya-Anegón, F.; Chinchilla Rodríguez, Z.; Corera Álvarez, E.; Muñoz Fernández, F.; Vargas Quesada, B.; Herrero Solana, V. (2004), *Indicadores Bibliométricos de la Actividad Científica Española: ISI, Web of Science, 1998-2002*, Madrid: FECYT.
- Romo-Fernández, L. M.; Guerrero-Bote, V. P.; Moya-Anegón, F. (2012), "World scientific production on renewable energy, sustainability and the environment", en *Energy for Sustainable Development*, 16, 500-508, DOI:10.1016/j.esd.2012.06.005
- Romo-Fernández, L. M.; López-Pujalte, C.; Guerrero-Bote, V. P.; Moya-Anegón, F. (2011), "Analysis of Europe's scientific production on renewable energies", en *Renewable Energy*, 36(9), 2529-2537.
- Sanz-Casado, E.; García-Zorita, J. C.; Serrano-López, A. E.; Larsen, B.; Ingwersen, P. (2012), "Renewable energy research 1995-2009: a case study of wind power research in EU, Spain, Germany and Denmark", en *Scientometrics* (in press), *Scimago Institutions Rankings*, disponible en <http://www.scimagoir.com/methodology.php> [consulta: 20 diciembre 2012].
- Schubert, A.; Lang, I. (2005), "The Literature Aftermath Of The Brundtland Report 'Our Common Future'. A Scientometric Study Based On Citations In Science And Social Science Journals", en *Environment, Development and Sustainability*, 7, 1-8, DOI: 10.1007/s10668-003-0177-5
- Simon, C.; Batchman, T.; Taylor, C. (2010), "Introduction to renewable energy: An interdisciplinary approach", en *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, 16 pp.

- Thomas, S. M. (1992), "The evaluation of plant biomass research: a case study of the problems inherent in bibliometric indicators", en *Scientometrics*, 23(1), 149-167.
- Tsay, M. (2008), "A bibliometric analysis of hydrogen energy literature, 1965-2005", en *Scientometrics*, 75(3), 421-438.
- Uzun, A. (2002), "National patterns of research output and priorities in renewable energy", en *Energy Policy*, 30, 131-136.





10. Resúmenes de los artículos.

10.1. Análisis de la producción científica de Europa en energías renovables.

Luz M. Romo-Fernández, Cristina López-Pujalte, Vicente P. Guerrero Bote, Félix Moya-Anegón

Aceptado en:

Renewable Energy

El presente trabajo proporciona una visión general de la investigación de los principales países europeos en el área de Energía Renovable. Para el análisis se ha utilizado la base de datos de literatura científica Scopus (Elsevier) y se han calculado indicadores bibliométricos (producción primaria, promedio de citas por documentos, tasa de variación, SJR, etc.) en el dominio geográfico europeo, durante el periodo 2002-2007. Este estudio pretende completar trabajos anteriores sobre el tema que en su mayoría se limitan a un tipo concreto de energía y no abordan el área en su globalidad, así como para ampliar sus enfoques metodológicos. Los resultados del estudio muestran que Europa está muy bien posicionada respecto al mundo en este campo científico, tanto en producción, como en citación e impacto.



10.2. Producción científica mundial en energías renovables, sostenibilidad y medio ambiente.

Luz M. Romo-Fernández, Vicente P. Guerrero-Bote, Félix Moya-Anegón

Aceptado en:

Energy for Sustainable Development

Este estudio analiza la producción científica mundial en Energías Renovables, sostenibilidad y el medio ambiente manejando indicadores bibliométricos (producción científica, tasa de variación de la producción, promedio de citas por documento, citación normalizada, impacto, etc) para el periodo 2003-2008. Se hace un análisis por países, instituciones de investigación y revistas científicas utilizando la base de datos de literatura científica Scopus (Elsevier). Los resultados del trabajo nos muestran que la producción total del mundo aumenta a lo largo del periodo estudiado y que con el paso de los años este tema está adquiriendo un gran interés en el ámbito científico. Se distinguen dos grupos de países con alta producción, uno de los cuales con gran especialización temática. Igualmente se distinguen tres grupos de instituciones con una gran producción, dos de las cuales también tienen un alto impacto.



10.3. Análisis temático de energía renovable basado en cowords (1990-2010).

Luz M. Romo-Fernández, Vicente P. Guerrero-Bote, Félix Moya-Anegón

Aceptado en:

Scientometrics

En este artículo se describe un análisis de las palabras clave, las cuales van dirigidas a revelar los patrones de publicación en el campo de las energías renovables, incluyendo la evolución temporal de las diferentes líneas de investigación en las últimas dos décadas. Para ello, en primer lugar se revisan las palabras clave para resolver los claros problemas de sinonimia existentes entre ellas, limitándonos en este estudio a aquéllas más utilizadas. Los resultados obtenidos reflejan una clara tendencia a tratar temas relacionados con las energías alternativas y muestran una estructuración en cinco grandes clústeres, y a un nivel más fino de resolución se descomponen en 22. Se analiza la estructura de los clusters y su evolución temporal, prestando especial atención a los distintos periodos de bursting.



10.4. Análisis de la producción científica española en energías renovables, sostenibilidad y medio ambiente (Scopus, 2003- 2009) en el contexto mundial.

Luz María Romo-Fernández, Vicente P. Guerrero-Bote, Félix Moya-Anegón

Aceptado en:

Investigación Bibliotecológica

Este trabajo analiza la producción científica de España para el periodo 2003-2009 en el área de las Energías Renovables, Sostenibilidad y Medio Ambiente en España utilizando la base de datos Scopus. En primer lugar se muestra un estudio de contexto comparando la producción e impacto con los países más desarrollados. Y en segundo lugar se hace un estudio interno de las contribuciones de las instituciones españolas así como de las revistas utilizadas por los científicos para la publicación de los trabajos. El estudio muestra que España incrementa notablemente la producción científica, al pasar de la posición decimoquinta a nivel mundial a la sexta posición, y que eso no se consigue a costa de reducir el impacto sino incrementándolo. Como instituciones destacan el CIEMAT y la UPM por su producción y la U. Zaragoza y el CSIC, tanto por la producción como por el impacto.