



TESIS DOCTORAL

**SERIES Y EVENTOS METEOROLÓGICOS DE ESPECIAL INTERÉS: APORTACIONES AL
.....ÁMBITO IBERO - AMERICANO**

ANA MARÍA MARÍN FARRONA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Conformidad del/los Director/res:

Fdo: José M. Vaquero Martínez Fdo: M^a Cruz Gallego Herrezuelo Fdo: Fernando Domínguez- Castro

2016

Agradecimientos

Cuando uno consulta la RAE y busca el significado de la palabra *tesis*, se encuentra con cuatro posibles significados. En concreto, el que tiene matices musicales define este término como “Golpe en el movimiento de la mano con que se marca alternativamente el compás”. Desde una perspectiva personal, si analizo cada uno de los términos que componen esta definición, puedo establecer un estrecho vínculo con el significado que, en el marco de este trabajo, se le debe adherir a esta palabra...

- Golpe y movimiento... Idas y venidas, cambios, nuevas etapas y experiencias que me han acompañado en el desarrollo de este gran proyecto.
- De la mano... Siempre guiada, siempre acompañada lo inicié, desarrollé y acabé.
- Al compás... En sintonía con mi experiencia vital. Sincronizándolo, como bien pude, con las otras muchas iniciativas a las que “mi carácter inquieto” me apremió a embarcarme.

Ahora miro atrás y no puedo más que observar con ilusión, alegría, cariño y también añoranza, todo lo que me ha acompañado en este “plan” llamado tesis. Este “plan” con el que he crecido profesional y personalmente.

- Sumergiéndome en la Climatología Histórica, rama de conocimiento que tiene la virtud de aunar dos grandes áreas del saber que me fascinan: ciencia e historia.
- Rodeándome de algunas personas; separándome, de otras.

Y es a ellas, a estas personas, a las que continúan conmigo, a las que se fueron, y a las que acaban de llegar, a las que les debo este libro. Mi familia: papá, mamá, Santi, Tor: mis pilares, mis ejemplos, mis puntos cardinales, mi fortaleza... mi sustento. José M. Vaquero, M^a Cruz, Fernando, no sólo modelos a seguir desde el punto de vista académico; también personal. Maravillosas personas. Gracias. Por supuesto, mis Amigos¹, mis referencias, de Puebla de la Calzada (Chusa, Amparito, Pacudo), de Badajoz (Ana, Inma, Víctor), de Llerena (Jose I.), de Braga (Nuri, Dani), de Santander (Inés, Rodri, Aida). Me considero una persona realmente afortunada por sentirles cerca, aunque la mayoría estén lejos. No puedo dejar de nombrar a mis compañeros de Badajoz, a los que añoro enormemente, y a los de Santander, por su “progresiva” acogida. A todos, os debo este proyecto, este plan, esta tesis. A todos, GRACIAS.

¹ Aunque los englobo a todos, me voy a permitir la licencia de nombrar a algunos especialmente importantes.

CONTENIDO

TESIS POR COMPENDIO DE PUBLICACIONES.....	9
INTRODUCCIÓN	12
1.1. Objetivos y estructura de la tesis	16
1.2. Un breve repaso historiográfico	17
1.3. Fuentes: Paleoclimatología y Climatología Histórica	19
1.4. ¿Para qué la reconstrucción de clima y la recuperación de eventos especiales y extremos?.....	23
1.5. Sobre el desarrollo de la meteorología y su importancia para la reconstrucción de clima: estado del arte	26
1.6. Eventos poco frecuentes.....	31
ASPECTOS METODOLÓGICOS	33
2.1. Documentación: fuentes	34
2.2. Búsqueda de fuentes	43
2.3. Pautas metodológicas y criterios de trabajo.....	45
2.4. El estudio de las series meteorológicas antiguas	47
2.5. El estudio de eventos geofísicos poco frecuentes	71
RESULTADOS.....	73
3.1. Breve resumen de los artículos aportados	74
3.2. Una descripción científica de un rayo globular visto en Brasil (Farrona y Vaquero, 2011).....	75
3.3. Fuentes documentales españolas testigo del gran evento especial del 1859 (Farrona et al., 2011).....	78
3.4. Observaciones meteorológicas de Bento Sanches Dorta. Brasil: 1781- 1788 (Farrona et al., 2013).....	88
3.5. Las primeras observaciones meteorológicas registradas a gran altitud: Antisana, 1846, D.C. Aguirre (Farrona et al., 2015)	107
CONCLUSIONES	124
ANEXOS	129

ANEXO I. Primeros registros meteorológicos españoles (1780-1850)	130
ANEXO II. Algunas aportaciones a la base de datos EMERLA: Registros meteorológicos de Brasil y Cuba (Farrona 2014; 2015)	143
ANEXO III. Factor de impacto y Área temática de las revistas	155

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Resumen de los registros termométricos anotados por Carlos Aguirre de Montúfar en el volcán Antisana durante el año 1846 (Aguirre, 1851, p. 744)	366
Figura 2 – Portada y descripción del rayo globular, escrito por Bento Sanches Dorta, publicado en el primer tomo de las Memorias de la Real Academia de Ciencias de Lisboa, (Sanches Dorta, 1797, p. 362).....	377
Figura 3 - Portada del Diario de Valencia (09/03/1806) y del Diario Mercantil de Valencia (26/06/1838), con efemérides meteorológicas diarias	38
Figura 4 - Fragmento del periódico “La Iberia” del 31 de agosto de 1859.....	39
Figura 5 - Registros meteorológicos publicados en la Revista Médica Fluminense, de los tres primeros meses del año 1836, por el Doctor Francisco Freire Alemão (Alemão, 1836, p. 79)	39
Figura 6 – Barómetro utilizado por Bento Sanches Dorta (Rozier, 1782)	60
Figura 7 - Resumen del procedimiento seguido para la búsqueda y análisis de series preinstrumentales	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Resumen de Fuentes para la reconstrucción del pasado climático (modificado a partir de Pfister, 1999).....	21
Tabla 2 - Información contenida en fuentes documentales de acuerdo a la etapa temporal (Pfister, 2001)	22
Tabla 3 - Ventajas y desventajas de las fuentes documentales para las reconstrucciones climáticas (Pfister, 2001; Brázdil, 2005; Nash and Adamson, 2014).....	23
Tabla 4 - Resumen de los tipos de fuentes.....	43
Tabla 5 - Resumen - Características de la información de las series climáticas analizadas.....	48
Tabla 6 - Posibles errores que podemos encontrar inicialmente en las series	51
Tabla 7 - Metadatos disponible	56
Tabla 8 – Correcciones aplicadas a las lectura barométricas en Farrona et al. (2012; 2015).....	64
Tabla 9 - Información sobre el factor de impacto y el área temática de las revistas en las que se han publicado los resultados.....	155

TESIS POR COMPENDIO DE PUBLICACIONES

La presente tesis doctoral se presenta como un compendio de tres trabajos previamente publicados y uno en proceso de publicación. Las referencias completas de los artículos que constituyen el cuerpo de la tesis son los siguientes:

- Farrona A.M.M., Vaquero J.M., Gallego M.C., Domínguez-Castro F. (2011). Spanish eyewitness accounts of the great space weather event of 1859. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 46, 6,370-377.
- Farrona A.M.M., Trigo R.M., Vaquero J.M., Gallego M.C. (2012). The meteorological observations of Bento Sanches Dorta. Brazil: 1781- 1788. *Climatic change*, 115, 579-595.
- Farrona A.M.M., Vaquero J.M. (2012). An early scientific report of ball lightning from Brazil. *Weather*, 67, 4, 96–97.
- Farrona A.M.M., Domínguez-Castro F., Vaquero J.M, Gallego M.C. (2015). The first meteorological observations at high elevation site: Antisana, 1846, D.C. Aguirre. *Climatic change*, (enviado).

Así mismo, se considera oportuno incluir en el anexo I de la Tesis el siguiente artículo que ha constituido parte de la base formativa de la doctoranda y en el cual participa como coautora:

- Domínguez-Castro F., Vaquero J.M., Rodrigo F.S., Farrona A.M.M., Gallego M.C., García-Herrera R., Barriendos M., Sánchez-Lorenzo A. (2014). Early Spanish meteorological records (1780-1850), *International Journal of Climatology*, 34, 593-603.

Por último, en el anexo II se hace referencia a dos trabajos presentados por la doctoranda en la primera y segunda edición del *Workshop on Solar-Terrestrial Physics* (Farrona, 2014; 2015a), celebrado en Extremadura, y que forman parte de la base de datos generada bajo el proyecto EMERLA, en desarrollo en la actualidad.

- Farrona A.M.M. (2014). *A better understanding of the climate at Brazil during the 19th century based on instrumental observations*. Trabajo presentado en el I Workshop on Solar-Terrestrial Physics (Mérida, Julio 2014).
- Farrona A.M.M. (2015). *Two important meteorological dataset from Latin and South American: Cuba – Havana: 1864 – 1905 & Antisana 1846*. Trabajo presentado en el II Workshop on Solar-Terrestrial Physics (Mérida, Julio 2015).

INTRODUCCIÓN

La curiosidad por la previsión meteorológica, por eventos extremos y/o poco frecuentes y por entender el clima del pasado, ha sido, desde su origen, innata al ser humano (Albentosa, 1984; Peterson and Vose, 1997). Ya los antiguos egipcios, en su admiración por el río Nilo, asociaban sus ciclos de crecida con los flujos de las estrellas y estos, a su vez, lo vinculaban con la propia actividad de los dioses. También los babilonios se guiaban por el aspecto del cielo para lanzar sus previsiones. Y en la antigua Grecia, los “physiologi” versaban sobre fenómenos atmosféricos, proponiendo posibles teorías meteorológicas que los explicaran (García Hourcade, 2002).

A pesar del interés del hombre por el tiempo y el clima, la climatología como ciencia organizada tiene unos orígenes tardíos. El ser humano tarda en percatarse de la necesidad de sistematizar y estudiar con cierta frecuencia la ocurrencia de distintos episodios atmosféricos (Kington, 1988). Así, los instrumentos que nos permitirían medir de manera precisa las variables meteorológicas se desarrollaron a principios del siglo XVII. En concreto, en el año 1613 se construyó el primer termómetro (Camuffo, 2002; 2002b). Fue a partir de entonces cuando, el creciente interés de los filósofos naturales, dio lugar al desarrollo de nuevos instrumentos meteorológicos, que les permitió realizar las primeras observaciones (Camuffo and Bertolin, 2010; 2012).

Tal y como recogen Camuffo y Bertolin (2012), los registros sistemáticos más antiguos que se conocen de la temperatura del aire fueron registrados entre 1654 -1670 por la *Red Medici*. Otros esfuerzos fueron realizados desde distintos puntos de la geografía europea (véase Taborda et al., 2004): en París cabe destacar las tres observaciones diarias de temperatura, presión, precipitación, y de la velocidad del viento del médico Louis Morin durante el período de 1665 al 1713 (Pfister y Bareiss, 1994). En algunas ciudades alemanas, la familia Kirch también se preocupó por realizar este tipo de registros. Son también destacables los estudios sobre la dirección del viento realizadas por el médico David Grebner entre 1692 y 1721 en Polonia (Przybylak et al., 2010). A partir de ahí, de forma progresiva, e impulsados por razones prácticas y científicas, no tardaron mucho en establecerse las primeras redes y estaciones que permitirían cuantificar y medir las condiciones meteorológicas (Kington, 1988). Así, de forma gradual, se fue desarrollando un cuerpo de conocimiento empírico centrado en el estudio de los diferentes fenómenos celestes, meteorológicos y, a amplia escala, climáticos. Este conocimiento acabaría consolidándose con los primeros esfuerzos de monitorización a gran escala que se realizaron en Europa occidental, extendiéndose progresivamente a nivel geográfico (Peterson y Vose, 1997). Una explicación detallada se expondrá en futuras secciones (ver Sección 1.4).

A día de hoy, estos datos recogidos en estaciones meteorológicas son fundamentales para el progreso de las investigaciones climáticas. Esta “red instrumental” constituye el registro, espacial y temporal, más completo del clima de la superficie de la Tierra, desde el inicio de la Revolución Industrial (Jones, 1994). Existen también otros muchos instrumentos, fuentes y herramientas que nos permiten estudiar el clima terrestre actual y su evolución a lo largo de los últimos años (satélites, registros históricos, registros naturales). Todos estos resultan de gran utilidad para responder, entre otras, a las cuestiones planteadas por el cambio climático, modelizar el clima futuro y buscar patrones de similitud con los comportamientos climáticos del pasado (Barriandos, 2012).

Durante las últimas décadas del siglo XX, se ha producido un interés creciente por describir el clima y sus variaciones durante los tiempos históricos y su impacto en la sociedad (Alcoforado et al., 2012). Y la Paleoclimatología es una de las disciplinas que se dedica a ello. En concreto, y de acuerdo con Bradley (1999, p. 1), “la Paleoclimatología es la rama de la ciencia que se encarga del estudio del clima antes de que se realizaran las primeras medidas instrumentales”. Estas primeras medidas instrumentales nos informan de la historia del clima terrestre en una fracción minúscula de tiempo, siendo insuficientes para determinar y conocer su evolución hasta la actualidad. De ahí a la relevancia del desarrollo de disciplinas como la Paleoclimatología.

La época pasada, objeto de estudio, lleva a los climatólogos a recurrir a un tipo u otro de registro climático. Así, el clima del pasado se investiga con técnicas basadas en testimonios físico-biológicos-documentales, conocidos como *proxy-data*. Un proxy no es más que una variable no climática que está fuertemente influenciada por el clima. Por ello, son fundamentales para comprender la variación y la evolución del clima en el transcurso del tiempo (Tarazona, 2001).

Por un lado, podemos encontrarnos con los archivos instrumentales, históricos y arqueológicos. Estos archivos paleoclimáticos están asociados al hombre y su evolución; ya que fue el ser humano el que los confeccionó y/o dan a conocer eventos que le afectaron de forma directa. Por otro lado, debemos atender a los archivos naturales, sean biológicos o geológicos: fauna marina y terrestre, anillos de crecimiento de árboles, sedimentos marinos, litorales, lacustres, glaciares, eólicos y aluviales, casquetes de hielo y formación de suelos. Todos ellos, vienen a testimoniar los efectos de los cambios oceánicos y climáticos.

Para el trabajo que nos ocupa, hemos centrado nuestra atención en la búsqueda, estudio y análisis de las conocidas como fuentes documentales. Esto conlleva la realización de un intenso esfuerzo por indagar en archivos históricos, para recuperar y recopilar todos aquellos

documentos que contengan registros meteorológicos o geofísicos, así como testimonios de eventos poco frecuentes y/o extremos.

El trabajo continuado en este sentido, ha permitido lograr avances en el ámbito de la Climatología Histórica (Luterbacher et al., 1999; Auer, 2001; Brázdil et al. 2005, 2010; Jones et al., 2009). De acuerdo con Martín-Vide (1997), “la Climatología Histórica, *sensu stricto*, es una especialidad de la Paleoclimatología que basa la reconstrucción del clima del pasado en fuentes documentales históricas”. Se trata, por tanto, de una rama del conocimiento que ocupa el lugar de intersección entre la (paleo) climatología y la historia (del medio ambiente) (Mauelshagen, 2014). Ésta presenta un desarrollo paulatino en Europa desde la época de la Ilustración.

En el país ibérico, los primeros propósitos que tuvieron como objetivo recopilar documentos con información sobre el clima datan de mediados del siglo XIX, a manos del físico castellano Rico Sinobas (Rico, 1851, 1858). Su interés por la climatología le llevó a estudiar fenómenos meteorológicos y climáticos, realizo observaciones meteorológicas en Madrid. A su vez, consciente del potencial de la documentación histórica como fuente de información meteorológica y climática, recopiló una enorme cantidad de información sobre inundaciones y sequías severas (Barriendos, 1999). Así, un gran número de fichas fueron completadas por el propio científico para registrar la referencia documental, el tipo de fenómeno, la datación y una breve síntesis de las características de los documentos. Pasó medio siglo hasta que se volvieron a realizar trabajos recopilatorios de eventos extremos (inundaciones/sequías). De esta manera, caben mencionar los realizados a principios del siglo pasado por el ingeniero de minas Horacio Bentabol, que llevó a cabo una compendio de estos eventos ordenados cronológicamente y por cuencas hidrográficas (Bentabol, 1900). De la misma manera, debemos también mencionar el trabajo realizado por Puig (1905) cuyas iniciativas estaban principalmente destinadas a la recuperación de fenómenos extremos. Durante la primera mitad del siglo XX, en la península Ibérica, la Climatología Histórica languideció. Así, sólo se puede destacar la labor de Olagüe (1951) realizada a mediados de dicho siglo. A partir de la década de los años 60 del siglo pasado, podemos destacar los trabajos de José María Fontana Tarrats, por su intensa y prolongada labor en el ámbito. Entre los frutos de sus investigaciones se pueden mencionar Fontana (1975; 1976; 1976a; 1977; 1978). Centrándonos en la recopilación de fuentes instrumentales, desde entonces, han sido presentados un número creciente de publicaciones, aunque continúan teniendo carácter esporádico, y una reducida resolución temporal y espacial (Barcelona 1780–1989 (Rodríguez et al., 2001), Cádiz 1786–1996 (Wheeler, 1995; Gallego et al., 2007; Rodrigo, 2012), Gibraltar 1777–2010 (Wheeler et al. 2006; Wheeler, 2007; Wheeler y Bell,

2012). Cabe aquí resaltar la escasez de iniciativas investigadoras en el campo de Climatología Histórica en España, aunque en el periodo más reciente su desarrollo haya sido significativo. Sirva de ejemplo el proyecto SALVÁ – SINOBAS (<http://salva-sinobas.uvigo.es/>) en el cual la doctora ha participado de forma directa. En concreto, Domínguez-Castro et al. (2014), uno de los artículos en los que se muestran resultados de dicho proyecto, destaca por su importancia para el desarrollo de la Climatología Histórica de la época preinstrumental en el país. Los autores recopilan series meteorológicas instrumentales de 16 lugares específicos de la península Ibérica, presentando algunas de las series, durante un largo periodo, registros a resolución diaria.

A su vez, una gran cantidad de documentos históricos que contienen información meteorológica en España alude a Latinoamérica y América del Sur (Prieto y Herrera, 2009). Se cree que las primeras observaciones sistemáticas en estas tierras fueron realizadas por viajeros europeos en sus expediciones. En la actualidad, se están realizando multitud de esfuerzos por conocer en mayor medida el desarrollo de los primeros registros meteorológicos instrumentales en estos países. Se pueden destacar el proyecto EMERLA, de sus siglas en inglés “Early Meteorological Records from Latin-America” (actualmente en desarrollo), en el cual participa también la doctora. Otros estudios recientes que tienen como propósito poseer una perspectiva cada vez más amplia de los recursos disponibles son Neukom y Gergis (2012) y Nash y Adamson (2014).

Es fundamental que este tipo de documentos encontrados se tengan presentes para comprender las variaciones climáticas sufridas durante todo este período y para el estudio de la variabilidad climática a gran escala (Neukom et al., 2010). Por otra parte, no cabe duda de la enorme utilidad de los mismos para la reconstrucción de la historia de la meteorología. No obstante, debemos incidir en que aún se tienen que recuperar multitud de series no conocidas (Barriendos, 2005).

1.1. Objetivos y estructura de la tesis

Los objetivos de la presente tesis doctoral son:

- Rescatar información meteorológica antigua, previas a 1850.
- Reconstruir series instrumentales antiguas, revelando así las condiciones climáticas del pasado a escala local.
- Localizar y analizar documentación relativa a eventos geofísicos poco frecuentes de la época preinstrumental.

El trabajo se estructura de la siguiente manera. Inicialmente, se contextualizará el trabajo en el marco del área del conocimiento que le ampara, la Climatología Histórica, analizando su

historiografía, aplicaciones, y desarrollo en Europa, España, y América del Sur. En el siguiente capítulo, se presentan los aspectos metodológicos utilizados. Describiremos el proceso de búsqueda, los tipos de fuentes y registros instrumentales, metadatos, tratamiento de datos y su análisis. A continuación, se adjuntarán los resultados obtenidos en los trabajos realizados, anexo las publicaciones correspondientes. Con todo lo anterior, extraeremos y enunciaremos una serie de conclusiones. Por último se incluye un anexo con una publicación en la que la autora de la tesis ha contribuido de forma relevante, siendo coautora de la misma, y dos reseñas de comunicaciones a congresos, presentadas por la doctora. Debemos señalar la especial relevancia que, en concreto, tienen estos últimos trabajos ya que, a partir de los mismos, se ha generado una base de datos, de uso transversal, con series meteorológicas pre-instrumentales de España, y se está construyendo otra de características similares de Latinoamérica.

1.2. Un breve repaso historiográfico

Durante las pasadas décadas, el estudio de la variabilidad y el cambio climático ha despertado enorme interés entre la comunidad científica. Esto ha provocado que los campos de conocimiento relacionados con la temática hayan crecido de forma considerable. Entre ellos se encuentra la Climatología Histórica. Este ámbito de estudio, más o menos reciente², ha experimentado un gran avance en los últimos años, contribuyendo a la comprensión del clima del pasado (Carey, 2012). Y con ello, se ha ido conformando su propia historiografía. En este apartado trataremos de resumirla brevemente.

Una de las principales características de esta Climatología Histórica es la combinación de enfoques a la que los investigadores recurren, tanto metodológicos como teóricos, de las, por un lado, ciencias naturales/exactas y, por el otro, de las ciencias sociales y humanidades. Esto se pone en evidencia en la primera aproximación que Ingram et al. (1978) ofrecieron, refiriéndose a ella como una “rama del conocimiento relacionada con el estudio y la interpretación del clima recurriendo a fuentes documentales descriptivas”.

Desde entonces, esta área de estudio ha experimentado una continua variación en lo relativo a su ámbito de aplicación, así como a los diversos contextos disciplinarios, tanto en temporalidad como en temática. Así, a pesar de los intentos por determinar y delimitar la disciplina, la Climatología Histórica ha ido adquiriendo una visión cada vez más multidisciplinar (von Storch y Stehr, 1997; Pfister et al., 2001).

² En Europa, esta rama de conocimiento se desarrolla principalmente a partir de la década de los 60 del siglo pasado.

Con el fin de esclarecer lo anterior, los investigadores de esta área de conocimiento han llegado a un consenso para subdividir la Climatología Histórica en tres áreas de estudio o dominios, que se extiende más allá del mero análisis y la interpretación del clima (Brázdil, 2005; Mauelshagen, 2014):

- La reconstrucción del clima del pasado a partir de fuentes documentales, cuyos orígenes son previos al establecimiento de los servicios meteorológicos, tal y como los conocemos hoy en día.
- El estudio de los impactos de la variabilidad y los eventos climáticos en la sociedad, la economía y la agricultura.
- La investigación de la percepción y conocimiento del clima por la sociedad, es decir, la interacción entre la población y el clima.

En cualquier caso, tal y como Mauelshagen (2014) recoge, la vinculación entre los tres objetivos anteriormente mencionados no es sencilla, y en escasos estudios se ha puesto en práctica (Pfister, 2010; Rohly, 2011, 2013).

La propia evolución de la materia conlleva necesariamente a la consideración de un aspecto también de gran relevancia. Esta es la diferenciación entre lo que Mauelshagen (2014) denota como HistClim-METEO e HistClim-PALEO. De acuerdo con este autor, las observaciones registradas por las redes de estaciones meteorológicas coordinadas, correspondiente a HistClim-METEO, y que datan su origen a partir de la segunda mitad del siglo XIX, deben ser también consideradas como objeto de estudio por esta rama de conocimiento (Pfister, 2008, Mauelshagen, 2014). Así, Mauelshagen (2014), revisa de nuevo la definición y los objetivos marcados para la Climatología Histórica con el fin de contemplar la época “antropogénica”³. En concreto, este autor sugiere una nueva definición (Mauelshagen, 2014, p. 26), aceptada en la actualidad por la comunidad científica:

“...La Climatología Histórica es el estudio de la historia del clima basado en registros de observaciones humanas (directos o indirectos; medidos o no medidos); su reconstrucción desde que existen registros escritos, y la exploración de las relaciones entre la evolución de la cultura humana y la del sistema climático”.

³ Entendiéndolo como una etapa en la cual el hombre ha ocupado un papel protagonista en el cambio global (Mauelshagen, 2014, p. 1).

Antes de concluir con este apartado, se considera relevante mencionar los aspectos que, tal y como Brázdil (2005) propone, deben ser tratados por este campo de investigación en el futuro cercano:

- Completar las bases de datos existentes, vincular y combinar las series y los datos para alcanzar una reconstrucción del clima del pasado lo más completa y global posible.
- Recopilar otras series de temperatura y precipitación, así como de eventos climáticos extremos y desastres naturales. Evaluar su gravedad, periodicidad y estacionalidad, las causas, los efectos y la evolución temporal.
- Compendiar los índices de series de temperatura y precipitación existentes de los diversos países europeos, para que se puedan desarrollar series de valores promedios.
- Mejorar las herramientas matemático-estadísticas utilizadas para la reconstrucción de series de precipitación y temperatura.
- Dada la importancia que las series de registros tienen en la construcción y desarrollo de modelos que permiten estudiar el forzamiento climático y reconstruir el clima del pasado, trabajar en pro de una cooperación más estrecha y cercana.
- Contribuir a una mayor interrelación entre economistas, historiadores, antropólogos, sociólogos y arqueólogos con el fin de investigar el impacto de las fluctuaciones del clima del pasado y los impactos sobre la economía y la salud humana, y para entender los mecanismos sociales de adaptación al cambio climático y a los fenómenos extremos.
- Favorecer las investigaciones sobre las imágenes y representaciones sociales que en el tiempo pasado tenían el clima y las condiciones climáticas extremas, en cooperación con psicólogos, historiadores y antropólogos.

El trabajo que en esta tesis doctoral se presenta trata de contribuir en el progreso de esta disciplina, aludiendo principalmente a los dos primeros propósitos anotados, y que están vinculados con el propósito primigenio de la Climatología Histórica.

1.3. Fuentes: Paleoclimatología y Climatología Histórica

Como anteriormente se evidenció, existen ciertos problemas a la hora de determinar los límites de la Paleoclimatología y la Climatología Histórica. En referencia a ello, se considera importante dedicar una breve sección para tratar de esclarecer el asunto.

La Tabla 1 resume los tipos de fuentes utilizados hasta el momento para la reconstrucción del clima, por todas las disciplinas que se dedican a ello (Pfister, 1999). Éstas, se pueden dividir en directas o indirectas (Brázdil, 2005; Pfister, 2008, Mauelshagen, 2014):

- Fuentes directas: Fuentes documentales descriptivas, por ejemplo, las descripciones narrativas de los patrones climáticos o las primeras medidas instrumentales, que pueden encontrarse en una gran variedad de fuentes (crónicas, periódicos, diarios, memorias...).
- Fuentes indirectas: Aquellos proxies que aportan información del clima de forma indirecta, como el propio término indica, permitiéndonos conocer el impacto que los cambios progresivos han provocado en la hidrosfera, la criosfera o la biosfera (inundaciones, la congelación de los cursos de agua o el principio / final de grano o de vino de la cosecha). De acuerdo con su origen, pueden subdividirse en naturales o hechos por el hombre. Éstas, a su vez, se pueden clasificar en orgánicas e inorgánicas.

Es aceptado que la Climatología Histórica debe considerarse como una subdisciplina de la Paleoclimatología ya que uno de sus objetivos, como previamente fue apuntado, es “estudiar el clima del pasado antes del periodo instrumental” (Bradley, 1999; Mauelshagen, 2014). Para establecer una distinción entre disciplina y subdisciplina, se debe recurrir al tipo de fuentes objeto de estudios: archivos humanos o naturales. Así, la Climatología Histórica, se centraría principalmente en analizar los archivos de origen humano.

		ARCHIVOS				
		Naturales			Hechos por el hombre	
INFORMACIÓN	Observaciones directas, Medidas instrumentales			Documentales	Observados - Anomalías - Tiempo diario - Situaciones meteorológicas - Peligros naturales	Medidos - Presión - Temperatura - Precipitación - Cantidad de agua - Humedad - Viento ...
	Referencias indirectas (Proxy data)	Orgánico - Anillos de árboles - Polen, esporas y secuencias lacustre - Vestigios de animales y plantas	Inorgánico - Núcleos de hielo Varvas - Sedimentos terrestres Morrenas		Orgánico - Cosechas de vino - Cosechas de cereales - Azúcar contenido en vino	Inorgánico - Niveles de agua - Cantidad de nieve - Hielo - Cubierta de nieve
					- Culturales: rogativas - Pictóricos - Epigráficos	
				Materiales	Restos arqueológicos	

TABLA 1 - RESUMEN DE FUENTES PARA LA RECONSTRUCCIÓN DEL PASADO CLIMÁTICO (MODIFICADO A PARTIR DE PFISTER, 1999).

Para el estudio que nos ocupa, se ha trabajado con fuentes documentales que contienen series instrumentales, así como documentos descriptivos que hacen alusión a eventos poco frecuentes (ver sección 2.1.2). Como es lógico, la densidad y calidad de la información contenida en las fuentes documentales, aumenta a medida que nos acercamos al período actual. Por ello, aunque en futuros apartados analizaremos con detenimiento los tipos de fuente documentales con los que nos podemos encontrar, se considera conveniente hacer una breve mención a la información con la que podríamos toparnos de acuerdo a diversas etapas históricas. Así, de

acuerdo con Pfister (2001), para el continente europeo, y tal como podemos ver en la Tabla 2, tenemos:

FECHA	INFORMACIÓN CONTENIDA
Antes de 1300	Anomalías importantes sociales-económicas Desastres naturales
1300 – 1500	Descripción de estaciones con condiciones especiales, principalmente inviernos/veranos
1500 – 1800	Descripciones mensuales, incluso diarias Crece progresivamente el número de documentos, provenientes principalmente de gobiernos locales, regionales, estatales
1680 – 1860	Medidas instrumentales individuales aisladas Primeras redes de observaciones (ej. Palatine, Breslau)
Desde 1860	Observaciones instrumentales en el marco de redes nacionales e internacionales

TABLA 2 - INFORMACIÓN CONTENIDA EN FUENTES DOCUMENTALES DE ACUERDO A LA ETAPA TEMPORAL (PFISTER, 2001)

Como posteriormente detallaremos, para el caso que nos ocupa, han sido estudiadas fuentes documentales correspondientes a la penúltima etapa temporal (entre 1680 y 1860), periodo propio de la Ilustración durante el cual, la inclinación y el impulso de la Ciencia, lleva a muchos científicos a realizar medidas individuales aisladas.

Por último, no podemos olvidar las ventajas y limitaciones de las fuentes documentales, las cuales indudablemente, requieren un especial tratamiento a la hora de trabajar con ellas. La Tabla 3 resume estos pros y contras. En secciones posteriores, analizaremos con detenimiento la metodología empleada para el tratamiento de estos registros y descripciones.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fechas y lugares perfectamente determinados	Discontinuidad en algunos registros (cambios de observadores, instrumentos...)
Clara identificación de las variables meteorológicas objeto de estudio	Particularidades entre los observadores a la hora de tomar registros
Información exhaustiva de anomalías climáticas y eventos extremos	Series relativamente cortas
Por lo general, una buena cobertura mensual y estacional	El análisis matemático de los datos es simple pero robusto
A menudo se aportan otro tipo de descripciones sobre impactos asociados	Cobertura geográfica incompleta, dependiente de (a) personajes motivados e interesados en ello, (b) la propia tradición y costumbres y (c) la existencia de marcos institucionales y culturales que apoyen la conservación de documentos .

TABLA 3 - VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS FUENTES DOCUMENTALES PARA LAS RECONSTRUCCIONES CLIMÁTICAS (PFISTER, 2001; BRÁZDIL, 2005; NASH Y ADAMSON, 2014)

Antes de concluir esta sección, cabe recordar que, la Paleoclimatología y Climatología Histórica divergen entre sí, no sólo por la época de estudio en la que se centra cada una de ellas, sino también por el tipo de pruebas que invocan y la metodología a la que recurren (Jones 2009; Pfister, 2010).

1.4. ¿Para qué la reconstrucción de clima y la recuperación de eventos especiales y extremos?

En la actualidad, un motivo de preocupación generalizada para la comunidad científica es la repercusión de la acción humana sobre el clima. Existe una gran disparidad de respuestas entorno a la idea de cambio climático o global (Chakrabarty, 2009; Liverman, 2009). Desde el pasado reciente, se reconocen las repercusiones de la variabilidad y los extremos climáticos en diversos contextos; por lo que resulta fundamental tenerlos presentes en actuaciones futuras (IPCC, 2014).

Es evidente que la acción del hombre ha influido directamente en los mecanismos de los que depende el equilibrio global. Cabe destacar el aumento notable de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) (IPCC, 2014). Tal y como queda recogido en el informe de síntesis del IPCC (2014, p. 1): “La acción humana sobre el sistema climático es clara, y las recientes emisiones de gases invernadero son las más elevadas en la historia. Su impacto en los sistemas naturales y humanos es generalizado”. No obstante, el grado de influjo sigue siendo, a día de hoy, materia de estudio (Meehl et al., 2009; Solomon et al., 2011). Así lo expresan en el informe de Evaluación de Cambio Climático Regional en España (Bladé et al., 2010): “Llegar a comprender las causas y los efectos de los cambios globales, así como las sinergias del sistema climático, es un reto científico complejo”. Es decir, existe una enorme incertidumbre entorno a las futuras vulnerabilidad, exposición y respuestas de los sistemas humanos y naturales interconectados (IPCC, 2014, p. 11).

Entender las variaciones climáticas naturales producidas en el pasado es indispensable para poder detectar aquellos cambios climáticos que tengan su origen en la influencia del ser humano, así como poder predecir cambios futuros. Y en este contexto, la investigación en Climatología Histórica juega un papel fundamental (Bladé et al., 2010). Los estudios desarrollados ofrecen la posibilidad de evaluar la variabilidad climática más allá de la amplitud de las variaciones observadas, dentro del periodo instrumental moderno. También permiten obtener mejores estimaciones del rango de la variabilidad natural, alcanzando una mayor comprensión de los procesos naturales que pueden producir cambios climáticos. A su vez, el análisis de datos observacionales se convierte en labor imprescindible para identificar cambios climáticos recientes y entender su relación con las variaciones en la circulación a gran escala (Bladé et al., 2010).

En todo este conjunto de fuentes accesibles, las series instrumentales y la descripción de eventos especiales juegan un papel clave (Jacobeit, 2001). Éstas son la base para la calibración de los *proxies records*, permitiendo evaluar su utilidad y fiabilidad (Jones et al., 2009) (véase como caso de ejemplo Brázdil et al. (2002)). Por otro lado, son fundamentales para la reconstrucción de eventos extremos y/o poco frecuentes (sequías, inundaciones, erupciones volcánicas...) (Barriendos y Martín-Vide, 1998; 1999; Trigo et al., 2010; Demaré et al, 1998; Demaré y Ogilvie, 2001; Domínguez-Castro et al., 2012; Trigo et al., 2014; Domínguez-Castro et al., 2015), así como en las reconstrucciones de cronologías de fenómenos característicos como El Niño o La Niña (Hamilton y Garcia, 1986; Quinn et al., 1987; Quinn, 1992; Quinn y Neal, 1992; Quinn, 1993; Ortelieb, 1994; Ortelieb 1995; Ortelieb et al. 1995; Ortelieb, 2000; García Herrera et al.,

2008). De la misma manera, las fuentes documentales son también herramientas imprescindibles para el estudio de periodos climáticos, como el “Periodo Cálido Medieval” (acrónimo en inglés, MWP) (Crowley y Lowery, 2000) o la “Pequeña Edad de Hielo” (LIA, por sus siglas en inglés, 1300-1900) (Bradley y Jones, 1993; Qian y Zhu, 2000; Brázdil, 2005)⁴. Debemos igualmente llamar la atención a la relevancia que tienen los registros del pasado a la hora de reconstruir otros índices, como el de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO de sus siglas en inglés) o la Oscilación Ártica (acrónimo en inglés OA). A su vez, información contenida en archivos documentales, provenientes de múltiples fuentes, resultan de enorme utilidad para conocer en profundidad la dinámica atmosférica. Ejemplo de su potencial se puede apreciar en los resultados del proyecto CLIWOC (García-Herrera et al., 2005; Wheeler, 2006).

Esto nos lleva a resaltar otra de las aplicaciones fundamentales de la Climatología Histórica: la comparación de la reconstrucción del clima recurriendo a estas fuentes y la realizada haciendo uso de modelos climáticos. Un esfuerzo paralelo en pro del progreso de ambos, resulta fundamental para mejorar el entendimiento de la variabilidad climática del pasado y conocer en profundidad la respuesta del sistema climático a forzamientos externos (Zorita et al., 2003; Zinke et al., 2004). El uso de datos instrumentales e históricos en modelos climáticos es fundamental para caracterizar y diagnosticar la variabilidad climática a escala decenal y superior, en las que la acción del hombre juega un papel fundamental.

Por último, cabe resaltar las contribuciones que el esfuerzo continuado por llevar a cabo reconstrucciones climáticas ha tenido en el campo de la historia. La necesidad de conocer en profundidad antiguos cambios climáticos, conlleva un examen exhaustivo de fuentes y archivos históricos, enriqueciendo y ampliando nuestro conocimiento del pasado, así como mejorando los métodos históricos. De la misma manera, estas fuentes nos dan información del impacto que eventos meteorológicos y atmosféricos han tenido en la sociedad y su economía (ver Brázdil, 2005). Finalmente, no podemos olvidar que estos registros nos revelan la percepción social ante fenómenos climáticos extremos acontecidos en el pasado. Estas fuentes aportan información en lo relativo a la confección de ideas e imágenes, así como a las representaciones sociales de las anomalías climáticas y desastres naturales ocurridos en épocas previas.

⁴ En esta sección nos referimos a todas las fuentes de las que se sirve la Climatología Histórica para alcanzar su propósito, no solo a las usadas para el trabajo que nos ocupa.

1.5. Sobre el desarrollo de la meteorología y su importancia para la reconstrucción de clima: estado del arte

Hasta el momento, desde una perspectiva geográfica, la mayoría de las investigaciones en Climatología Histórica basadas en el estudio de las primeras observaciones instrumentales, se han centrado en Europa, América del Norte y, más recientemente, en algunas partes de China. En concreto, Europa es el continente en el que se ha recuperado el mayor número de series instrumentales, gracias a su riqueza documental. En el período reciente, se han desarrollado diferentes iniciativas y proyectos como ADVICE (Luterbacher et al., 1999), IMPROVE (Camuffo y Jones, 2002), HISTALP (Auer et al., 2007), MILLENIUM (Brázdil et al., 2010), ERACLIM (<http://www.era-clim.eu/>), SALVÁ – SINOBAS (<http://salva-sinobas.uvigo.es/>). En otras partes del mundo, el esfuerzo y las posibilidades de recuperar largas series de observaciones instrumentales ha sido menor. Sin embargo, en este sentido, desde el inicio de este siglo se ha llevado a cabo un enorme avance en zonas tropicales y subtropicales (véase como resumen Nash y Adamson, 2014). De esta manera, caben destacar algunas series como las de Japón (Können et al., 2003; Zaiki et al., 2006), Corea del Sur, Canadá (Przybylak y Vizi, 2005), Estados Unidos (Baron, 1995; Wang et al., 2007; Burnette et al., 2010), India (Sontakke y Singh, 1996; Sontakke et al., 2008), Australia (Gergis et al., 2010), Brasil (Farrona et al., 2012) y África (Gallego et al., 2011; Nicholson et al., 2012).

En los siguientes apartados trataremos de resumir el inicio y desarrollo de las redes meteorológicas, en diversas zonas geográficas de especial interés para el trabajo que nos ocupa, haciendo una breve referencia a los trabajos que hasta el momento se han desarrollado para el progreso de la Climatología Histórica.

1.5.1. Un breve repaso de la meteorología en Europea

El origen y desarrollo de las observaciones instrumentales en Europa ha sido bien resumido por algunos autores como Frisinger (1977), Kington (1988), Camuffo (2002a), Brázdil et al. (2005; 2010), Camuffo y Bertolin (2012) y Alcoforado et al. (2012). A su vez, como previamente se apuntó, varios proyectos se han desarrollado en los últimos años para recuperar y analizar dichos registros y descripciones.

Previas a las observaciones meteorológicas sistemáticas, fueron realizados los primeros registros instrumentales, caracterizados, en muchos casos, por cubrir cortos periodos de tiempo y por su carácter esporádico. El origen de estas primeras observaciones en Europa data del siglo

XVII con la invención de los primeros instrumentos meteorológicos. En concreto, en el año 1593 se ideó el termobaroscopio, de la mano de Galileo-Galilei (1564-1642), precursor del termómetro (1613). Durante años posteriores, el italiano y, principalmente, sus pupilos se preocuparon por mejorar y perfeccionar el instrumento y comenzaron a realizar las primeras observaciones (Camuffo, 2002). A partir de ahí, no tardó mucho en aparecer nuevos instrumentos meteorológicos: pluviómetro y evaporímetro (Benedetto Castelli, en el año 1639). Fue Evangelista Torricelli el que mejoró definitivamente el termómetro e inventó el barómetro (1643). Finalmente, en el año 1655, Fernyo II de Médici (1610-1670), Gran Duque de Toscana, ingenió el higrómetro de condensación. Todo ello, marcó el inicio en la práctica de registros de observaciones sistemáticas.

La primera red de observaciones meteorológica (Rete Medicea) fue fundada por el mismo Fernyo II y su hermano, Leopoldo de Médici, y permaneció operativa desde 1654 hasta 1667. Ellos mismos fomentaron, a través de la creación de la Academia de Cimento, la ciencia experimental, quedo perfectamente documentado en los registros recopilados en Italia, Austria, Francia y Polonia, y en los de la propia Academia (Malagotti, 1667; Targioni-Tozzetti, 1780; Antinori, 1841).

La segunda mitad del siglo XVII se caracteriza por el progreso y el interés por las actividades científicas, plasmado en el ámbito internacional, con la creación, esencialmente, de Academias (ejemplos: Royal Society (1622) en Londres, Académie Royale des Sciences (1666) en Paris), y también por el desarrollo de multitud de iniciativas individuales. Así, al periodo de la Inquisición le siguió un sentimiento de renovación, en el que los fenómenos meteorológicos y los registros atmosféricos resultaban ser asuntos de gran interés para muchos (Bernardino Ramazzini (1633-1714), William Derham (1657-1735), Giovanni Graziani (1783 - 1818), Louis Morin (1635-1715)). En la mayoría de los casos, el estudio de estos fenómenos meteorológicos estaba esencialmente ligado al interés por su aplicación e influencia en cuestiones médicas.

Este espíritu fue extendiéndose de tal manera que Johann Kanold, médico polaco, organizó la primera red de corresponsales en Centro Europa, publicyo sus medidas instrumentales (1717-1726). Por su parte, Yreas Elias Büchner siguió posteriormente sus pasos (ver Brázdil et al., 2003).

Nuevos intentos por establecer una red meteorológica internacional fueron realizados por James Jurin, secretario de la Royal Society de Londres en el año 1723, estyo la red creada operativa entre 1724 y 1735, y bajo normas previamente establecidas (instrumentación, metodología, exposición y tiempos de medida) (Domínguez et al., 2013). A éste le siguieron varias tentativas:

Luis Cotte, entre los años 1776-1786, Johann Lorenz Bockman, en Alemania (1778), Wolfgang Goethe (1775-1832). La más importante fue la Sociedad Meteorológica Palatina, con la cual se establecieron 39 observatorios, extendidos desde Inglaterra hasta el río Ural, donde se tomaron medidas entre los años 1780 y 1792 (Auer et al., 2001).

De la misma manera, nuevas iniciativas individuales y particulares fueron puestas en marcha. A su vez, algunos registros comienzan a publicarse en diarios y revistas regionales. Sin embargo, el registro de observaciones sistemáticas y regladas solo se llevó a cabo tras la celebración de la primera y segunda *International Meteorological Conferences* (Bruselas, 1853 y Viena, 1873), por iniciativa de M. Maury. En ellas, fueron definidas las primeras instrucciones y los procedimientos estandarizados para la realización de observaciones atmosféricas, prestando especial atención en la metodología seguida para el registro de las lecturas (particularmente la temperatura). De esta manera, sería factible comparar las medidas anotadas en las diferentes estaciones y la evolución de las diversas variables.

1.5.2.. Los registros meteorológicos en España

En el año 1850, se creó la primera red de estaciones meteorológicas coordinada por el Real Observatorio Astronómico de Madrid (García de Pedraza y Giménez de la Cuadra, 1985; Font Tullot, 1988). No obstante, no fue hasta 1860 cuando se inició la observación sistemática de diferentes variables meteorológicas (Almarza et al., 1996). Sin embargo, durante el periodo previo, se realizaron multitud de esfuerzos individuales que, progresivamente, introdujeron la ciencia meteorológica en el país (véase Domínguez-Castro et al. (2014)).

Aunque como previamente fue explicado, en Europa la meteorología experimentara una mejora significativa a partir de la segunda mitad del siglo XVII, en España ocurrió principalmente durante la Ilustración. No obstante, tras la segunda Guerra de Sucesión hubo algunas iniciativas individuales que merece la pena mencionar. Entre ellos, los registros barométricos y termométricos realizados en Madrid, de Marzo a Diciembre de 1737 por Francisco Fernández Navarrete (Font Tullot, 1998; García Hourcade, 2002), o las observaciones meteorológicas realizadas por el médico, físico e ingeniero Francisco Salvá y Campillo en Barcelona desde 1780 (Barriendos et al., 1998; Vaquero et al., 2010).

A finales del siglo XVIII, se fomentó el interés por la astronomía y la meteorología desde la Armada Española debido a su utilidad inmediata. Cabe aquí destacar la importante labor que se realizó en el Real Observatorio de la Armada en San Fernando desde su fundación, en 1753 (González, 1992; Lafuente y Sellés, 1998), y en el Real Observatorio de Madrid, creado en el

año 1790. De la misma manera, tenemos que llamar aquí la atención al empeño que pusieron Alejro Malaspina (1754-1809) y el Ministro de Marina por crear una red de observatorios meteorológicos (Barriandos, 2005). No obstante, estos intentos aislados fueron interrumpidos con el inicio de las Guerras Napoleónicas, hasta mediados del siglo XIX.

Por otro lado, hay que mencionar la proliferación de las conocidas como “Sociedades Económicas Amigos del País”, también a finales del siglo XVIII. A través de las mismas, se promovió el desarrollo de la ciencia por su contribución en la mejora productiva en algunos sectores económicos, como la agricultura. De esta manera, se realizaron registros meteorológicos sistemáticos. Por su parte, relativos al ámbito geográfico y aluz de finales del siglo XVIII, podemos encontrar numerosos registros instrumentales diarios, así como diversos documentos referentes al ámbito de la medicina, que contienen una cantidad enorme de información sobre condiciones ambientales y climáticas (Wheeler, 1995; Rodrigo et al., 1998; Rodrigo et al., 2012).

Por último, tal y como queda recogido en Domínguez-Castro et al. (2014), no podemos olvidar la labor que realizaron los científicos españoles de la Ilustración. Así, aunque de forma local, aislada y modesta, fueron tomados registros de observaciones de manera más o menos sistemática. Hay también que destacar el papel de los primeros periódicos, publicados a finales del siglo XVIII y principios del siguiente, y editados por intelectuales ilustrados. Muchos de ellos incluían información meteorológica, descripción de diversos artefactos utilizados para este fin, etc. A modo de ejemplo, se pueden citar el Diario de Sevilla (1826-1831), el Diario de Zaragoza (1797-1909), o el Diario Mercantil de Cádiz (1802-1837).

A pesar de todo ello, el conjunto de series meteorológicas con las que nos encontramos se caracterizan por estar fragmentadas, ser poco homogéneas (diferentes metodologías e instrumentación), y discontinuas en el tiempo. Además, diversos conflictos bélicos sucesivos (Guerra contra la Revolución Francesa (1793-1795), Guerra contra Portugal (1801), Guerra contra Reino Unido (1804-1808), la Guerra Napoleónica (1808-1814) y dos Guerras civiles (1833-1840 y 1846-1849)) fueron la causa de la destrucción de documentos históricos con información relevante sobre el clima, o influyeron de forma negativa para su preservación.

1.5.3. El caso de América del Sur

En el período reciente, se están realizando multitud de esfuerzos por conocer en mayor medida el inicio y desarrollo de la meteorología en América Central y del Sur. Caben destacar algunos estudios como el de Prieto y García Herrera (2009), en la que presentan una síntesis preliminar

de las principales fuentes históricas que contienen información sobre el clima en la época preinstrumental, referentes a Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina. El trabajo de Neukom y Gergis (2012), en el que, combinando multitud de proxi-data, tratan de estudiar el clima de los pasados 2000 años en el Hemisferio Sur. El estudio de Nash y Adamson (2014), revisa las investigaciones que, hasta el momento, han tratado de reconstruir los patrones del clima en los trópicos y subtropicos utilizando registros instrumentales y descripciones históricas. Por último, los trabajos que se están desarrollando en la actualidad en el marco del proyecto EMERLA, tratan de aportar una base de datos con multitud de registros de la época preinstrumental rescatados recientemente en varios países de Sur y Latino América (México, Cuba, Panamá, Guatemala, Colombia, Ecuador, Perú, Brasil, Chile, Argentina, Bahamas, Costa Rica, Jamaica, Puerto Rico). A su vez, su actual desarrollo está permitiendo aportar un mayor conocimiento del desarrollo paulatino de la meteorología en estos países.

Las primeras observaciones sistemáticas en América Central y del Sur fueron realizadas, a finales del siglo XVIII y/o principios del siglo XIX en expediciones con fines principalmente cartográficos. Merecen ser aquí citados por sus contribuciones Antonio de Ulloa (1716-1795) en Perú, José Celestino Mutis (1732-1808) en Colombia, o a Bento Sanches Dorta (1739-1795) en Brasil (Farrona et al., 2012). Sin embargo, estos primeros registros fueron tomados de formas aisladas, poco sistemáticas y discontinuas en el tiempo. A todo ello hay que sumarles su pésima conservación. A su vez, podemos encontrar observaciones meteorológicas realizadas en diferentes países de América latina en múltiples obras de la época. Así, disponemos de registros meteorológicos realizados en Argentina (véase La Abeja Argentina, 1822), Colombia (se puede consultar el Seminario de la Nueva Granada, 1849, o Viajes Científicos a los Yes Ecuatoriales, 1849), Chile (entre otros, se pueden citar los Anales de la Universidad de Chile, 1854), Cuba (hacemos aquí reseña a los diversos tomos de La Cartera Cubana, 1838 y 1839), y Perú (leer por ejemplo El Mercurio Peruano, 1792).

La lucha política prolongada en estas antiguas colonias para lograr la independencia y la reorganización de sus servicios administrativos no favoreció el establecimiento de la recolección de datos de forma continua. Así, los primeros Servicios Nacionales de Meteorología en América Latina fueron creados en Argentina (1872) y México (1877), siendo su principal objetivo la observación a través de un sistema de infraestructuras cada vez más complejo. Cabe indicar que el desarrollo de la meteorología evolucionó de forma diferente en cada país latinoamericano, de acuerdo a su contexto específico. No obstante, sí se puede indicar que, de forma genérica, no es hasta la segunda mitad del siglo XX cuando la red de estaciones, correspondientes a los diversos

Servicios Nacionales, comienza a extenderse cubriendo casi todo el territorio, tomyo registros de forma sistemática. A pesar de ello, estos registros han sido almacenados en formato papel, la mayoría de ellos aún sin digitalizar, conservándose en diversos archivos, en mejores y/o peores condiciones. No obstante, el potencial de estos registros es enorme y su incorporación en la red de datos globales es fundamental (Neukon y Gergis, 2012).

1.6. Eventos poco frecuentes

Los eventos meteorológicos extremos y/o poco frecuentes, que a lo largo de la historia de la humanidad se han ido sucediendo, tienen efectos sobre la sociedad y los ecosistemas impredecibles e inevitables. Por ello, en los últimos años, la comunidad científica ha mostrado gran interés en el asunto (Easterling et al., 2000), traty de estudiarlos desde una perspectiva científica, para dar respuestas a cuestiones acerca de su naturaleza, frecuencia e intensidad, y desde la social y cultural, para entender los efectos que provoca en ésta (Mauch, 2009).

En este sentido, la Climatología Histórica juega un papel fundamental. La posibilidad que esta disciplina ofrece para recuperar documentos con información que permite progresar en este sentido es enorme. Los datos documentales aportan información única y detallada de estos eventos (Pfister et al., 2010; Domínguez-Castro et al., 2013). No obstante, por razones obvias, la selección de las fuentes documentales debe encaminarse hacia la identificación de aquellas que ofrezcan mayor fiabilidad y contengan información potencialmente útil para los análisis climáticos. Así, muchos documentos contienen información principalmente descriptiva; en estos casos, posibles fuentes de documentación adicionales adquieren gran relevancia para cuantificar los eventos de forma precisa (Domínguez-Castro et al., 2013).

En el marco de los eventos poco frecuentes y/o extremos, podemos encontrar multitud de fenómenos. Hasta el momento han sido realizados numerosos estudios entorno a este motivo. De esta manera, caben destacar las investigaciones sobre tormentas e inundaciones severas (puede consultarse Barring y von Storch (2009); Pfister et al., 2009; Trigo et al., 2014; Domínguez-Castro et al., 2015). En este sentido, otro tipo de fuentes aportan información de gran relevancia sobre la ocurrencia de ciclones tropicales. Así, pueden destacarse, a modo de ejemplo, los estudios de Vaquero et al. (2008); Betencourt y Dorta (2010); Domínguez-Castro et al. (2013).

Cabe señalar también la importancia que tiene recuperar información de otro tipo de fenómenos, de carácter geofísico, que aportan información de carácter descriptivo de relevancia sobre los mismos, y a partir de los cuales se puede determinar su fortaleza, intensidad... o incluso

profundizar en la naturaleza de los mismos. Entre ellos, se pueden, por ejemplo, resaltar algunos estudios sobre tormentas solares y sus efectos. Así, cuyo la magnitud de estos eventos fue elevada, sus consecuencias, tanto eléctricas (cortes en el sistema telegráfico) como visuales (visualización de auroras boreales a bajas latitudes), se dejaron sentir en diferentes partes del mundo, atrayendo la atención no solo de científicos, si no del público en general. Y esto quedaba plasmado en multitud de vestigios escritos. Algunos estudios sobre ello son, por ejemplo, los realizados por Vaquero et al. (2005), Cliver y Svalgaard (2004), Cliver (2006), Boteler (2006), Humble (2006), Farrona et al. (2011). Se puede resaltar el trabajo de Vaquero et al. (2003) en el que se estudia el catálogo de auroras recogido por Rico Sinobas, observadas en la Península Ibérica en el periodo de 1700 a 1855, y se analiza la fiabilidad de los datos.

Se pueden asimismo mencionar estudios sobre fenómenos de carácter especialmente singulares, como rayos globulares. En el caso de este tipo de eventos, cuya naturaleza y origen continúa siendo objeto de estudio (Dury y Wilson, 2006), informes de este tipo ofrecen a la comunidad científica una descripción completa (Barry, 1967). De ahí a su especial relevancia. En este sentido, podemos distinguir las investigaciones de Barry (1967), Dury y Wilson (2006), Farrona et al. (2012), entre otros.

Todos los ejemplos anteriormente citados ponen de relevancia la importancia que tienen las fuentes documentales para la reconstrucción de eventos meteorológicos, climáticos y geofísicos extremos y/o poco frecuentes. Como previamente fue indicado, éstas nos permiten ampliar nuestro conocimiento sobre dichos episodios, su naturaleza e intensidad.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1. Documentación: fuentes

Como previamente fue explicado, la Climatología Histórica, como campo de estudio, se basa principalmente en el estudio de las evidencias climáticas no instrumentales, que conforman el legado de la actividad humana, y que están conservadas, en su mayoría, en archivos documentales (Brázdil, 2005).

Enmarcados en el área de la Climatología Histórica, pero desplazándonos en la línea temporal, nos topamos con la Climatología del Período Instrumental Moderno (MIP, por sus siglas en inglés: "Modern Instrumental Period"), ocupada principalmente de estudiar aquellas observaciones instrumentales, descripciones de eventos climáticos o geofísicos, recogidas en forma manuscrita, antes de la creación de redes meteorológicas coordinadas entre el XIX y mediados del siglo XX, y que se superponen con las fuentes no instrumentales (Pfister, 2008). Teniendo en cuenta la importancia que dichas fuentes (MIP) tienen para el trabajo desarrollado, a continuación se enumerarán y se describirán cada una de ellas.

2.1.1. Clasificación de Fuentes Documentales según su contenido

Tal y como Brázdil et al. (2010) apunta, las evidencias documentales pueden diferenciarse según su contenido en directas e indirectas:

- Nos referimos a fuentes documentales con contenido directo a aquellas en las que se describe el tiempo y/o el clima, así como los posibles impactos sociales y la percepción que la población pueda tener sobre los fenómenos extremos. Por supuesto, en este grupo están incluidos también los registros sistemáticos.
- Por otro lado, las fuentes documentales con contenido indirecto son aquellas de las cuales se puede extraer información relativa al tiempo y/o el clima a partir de otro tipo de eventos, en el que la relación causa/efecto no siempre es evidente, como el ciclo de vida de las plantas y de los animales, o la estacionalidad de la nieve.

2.1.2. Clasificación de Fuentes documentales según su origen

Por su parte, Pfister et al. (2008) proponen realizar otra clasificación de acuerdo con el origen de la fuente: el creador o los creadores y los motivos que les llevan a ello. Así, diferencia entre:

- Fuentes elaboradas por individuos: Prestan especial atención a la descripción de fenómenos extremos (inundaciones, tormentas de viento, heladas, granizadas, eventos geofísicos), así como al impacto socio-económico de los mismos y a su percepción. Entre

ellos, se incluyen también registros sistemáticos de variables meteorológicas. No obstante, estas fuentes tienen por lo general algunas lagunas, pues dependen de un observador específico. Así, la vasta mayoría de las fuentes individuales son discontinuas, aunque algunos cronistas trataron de darle una mayor continuidad recopilando y copiando las observaciones de sus predecesores. Entre ellas, podemos encontrarnos con (Brázdil et al., 2010):

- Anales, crónicas, libros conmemorativos y memorias

Pueden contener descripciones de clima y de fenómenos y/o eventos poco frecuentes o extremos, explicados en mayor o menor grados de detalle. En ocasiones, esta información suele acompañar, inevitablemente, a eventos no climáticos (guerras, enfermedades, ritmos agrícolas...) y va cargada de reflexiones sobre las consecuencias que estos sucesos pueden causar en la flora, la fauna, nieves... No obstante, se debe indicar que la calidad y exactitud de los registros depende del nivel intelectual/cultural del escritor y si fue un testigo ocular de los hechos descritos. En concreto, en las crónicas, quedaba recogido todo tipo de evento, suceso o circunstancia (tuviera o no que ver con el clima) que tuviera un efecto directo en la sociedad. De esta forma, los eventos extremos quedaban reflejados en estas fuentes. A modo de ejemplo, cabe destacar el estudio de Mauelshagen (2008), acerca de las crónicas, anotaciones e informes recogidas en Zurich por Johann Jacob Wick, clérigo protestante, y entregado a las órdenes religiosas. En el mismo, podemos encontrar numerosa documentación sobre fenómenos poco frecuentes como cometas, auroras boreales, halos etc. Por su parte, Domínguez-Castro et al. (2012a) extraen de fuentes documentales árabes información relevante sobre el clima. Éstas tratan de dar cuenta de su historia social, política y religiosa, fueron encontradas en Irak y están datadas entre el año 816 y 1009 AD. Por otro lado, en España, concretamente en Yalucía, podemos encontrar importante información climática en los anales urbanos, como los Anales de Sevilla (Rodrigo, 2007).

En relación con el trabajo presentado por la doctora, y claro ejemplo de registros que podemos encontrar en este tipo de fuentes, debemos hacer referencia a los datos recopilados por Carlos Aguirre Montúfar en el volcán Antisana, desde diciembre de 1845 hasta diciembre de 1846, y publicados en

las Actas de la Academia de Ciencias Naturales, en París (Aguirre, 1851; Farrona et al., 2015) (véase Figura 1).

DATES.	TEMPERATURE à 6 heures du matin.		DIFFÉ- RENCES.	DIFFÉRENCE de niveau pour 1 degré de tempéra- ture.	TEMPÉRATURE à midi.		DIFFÉ- RENCES.	DIFFÉRENCE de niveau pour 1 degré de tempéra- ture.
	Antisana	Quito.			Antisana	Quito.		
Janvier, le 15...	- 2,5	+ 7,7	10,2	113,7	+ 7,0	+ 16,8	+ 9,8	118,4
Février, le 14...	+ 2,2	10,0	7,8	148,7	6,7	15,5	8,8	131,8
Mars, le 10...	+ 2,5	7,5	5,0	232,0	5,5	14,8	9,3	124,7
Avril, le 11...	- 0,7	11,1	11,8	93,3	5,5	14,5	9,0	128,9
Mai, le 12...	+ 1,9	11,2	9,3	124,7	6,2	14,2	8,0	145,0
Juin, le 6...	+ 0,4	9,7	9,3	124,7	5,6	16,1	10,5	110,5
Juillet, le 20...	- 2,8	8,6	11,4	101,9	3,1	14,6	11,5	100,9
Août, le 20...	- 1,8	6,9	8,7	134,5	3,0	14,7	11,7	99,1
Septembre, le 3...	- 4,0	8,1	12,1	95,9	4,9	16,5	11,6	100,0
Octobre, le 7...	+ 1,5	10,6	9,1	127,4	4,7	14,2	9,5	122,1
Novembre, le 23...	- 2,6	7,4	10,0	116,0	7,0	14,3	7,3	158,9
Décembre, le 1 ^{er} ...	+ 1,0	10,2	9,2	124,6	6,3	14,6	8,3	139,7
Décembre, le 4...	- 2,6	3,4	6,0	193,3	5,4	13,2	7,8	148,7
Moyenne...				133,5				125,2

FIGURA 1 - RESUMEN DE LOS REGISTROS TERMOMÉTRICOS ANOTADOS POR CARLOS AGUIRRE DE MONTÚFAR EN EL VOLCÁN ANTISANA DURANTE EL AÑO 1846 (AGUIRRE, 1851, P. 744)

Por su parte, en Farrona y Vaquero (2012) se estudia la descripción que el científico portugués Bento Sanches Dorta plasmó sobre lo que se considera la primera observación de un rayo globular, y publicada en Memorias, en este caso, en las de la Academia de las Ciencias portuguesa (Sanches Dorta, 1797, p. 362) (véase Figura 2):

MEMORIAS
DA
ACADEMIA REAL
DAS SCIENCIAS
DE LISBOA.

Nisi utile est quod facimus, fluita est gloria.

T O M O I.

DESDE 1780 ATÉ 1788.



L I S B O A:
NA TYPOGRAFIA DA ACADEMIA,
1797.
Com licença de S. Magestade.

O dia 19 de Fevereiro amanheceu bem claro, affo-
prando levemente N, e o Thermometro mostrando 79° de
calor. As 8^h da manhã mudou-se o vento para N. O., e o
calor subio a 81°; ao meio dia fez o vento mudança para
S. E., e o Thermometro indicava 85° $\frac{1}{2}$; ás 2^h da tarde
começou o Ceo a encobrir-se, o calor subio a 86°, e o vento
tornou a mudar-se para S. O.; ás 4^h da tarde estava o Ceo
inteiramente coberto, ouvirão-se trovões ao longe, e
o ca-

D A S S C I E N C I A S D E L I S B O A. 363

o calor diminuiu a 84°, e conservou-se neste estado até a
noitecer; ás 7^h o Ceo estava summamente obscurecido,
e relampejava em sete lugares desde o N. até ao S. pelo
quadrante de N. O., de maneira que parecia hum continua-
do relampago (aqui tenho visto este fenomeno mais vez-
es); ás 7^h 10' começou apparecer da parte de Leste, hu-
ma luz affoguada, e augmentando-se tanto em grandeza,
como em inflamação chegou a formar, ás 7^h 40', hum
globo de fogo, que teria com pouca differença 4 grãos de
diametro, e estaria affima do horizonte 30°. Desta fórma
conservou-se immovel pelo espaço de 15', e principiou-se
a desfazer pouco a pouco de sorte que ás 8 horas, e 15 minutos
inteiramente estava dissipada toda a luz; mas ao passo
que se desfazia, ouvirão-se trovões de mais perto; e pe-
las 9^h trovejou rijamente em cima desta Cidade; e co-
meçou a chover com abundancia; e continuou até ás 11^h
30', tempo em que tudo cessou. Em todo este intervallo
de tempo sempre se conservou o Thermometro na altura
de 84°. A quantidade d'agoa que choveo foi de 7 linhas.

FIGURA 2 --PORTADA Y DESCRIPCIÓN DEL RAYO GLOBULAR, ESCRITO POR BENTO SANCHES DORTA, PUBLICADO EN EL PRIMER TOMO DE LAS MEMORIAS DE LA REAL ACADEMIA DE CIENCIAS DE LISBOA, (SANCHES DORTA, 1797, P. 362).

○ Diarios de registros meteorológicos

Se caracterizan por el registro de observaciones con mayor o menor regularidad, y plasmados en efemérides, calendarios y diarios personales. Incluyen además información relevante sobre eventos climáticos extremos y sus consecuencias sociales. Se pueden destacar, entre otros, el estudio de Gimmi et al. (2006), en el que analizan los diarios meteorológicos que permiten reconstruir la serie de precipitación en Bern, Suiza (1760–2003), el de Walsh et al. (1999) que recurren a diarios meteorológicos para reconstruir el clima en Madras (India) durante varios períodos del siglo XVIII, y el de Domínguez-Castro et al. (2015a) en el que estudian las minuciosas descripciones meteorológicas registradas por Antonio de Nájera en Lisboa, entre el 19 de diciembre de 1630 y el 2 de enero de 1633.

○ Correspondencias privadas

Suelen contener información sobre el clima, aportando información detallada en el caso de eventos extremos que despertaran especialmente el interés del autor. Tal y como Barriendos (2000) apunta, en el caso de las gyes familias nobiliarias, estos documentos pueden aportar información indirecta sobre el desarrollo de cosechas. Ejemplo de ello son las investigaciones realizadas por

Fernández-Fernández et al. (2014; 2015) sobre el clima de Zafra entre 1750 y 1840, basándose en los informes semanales presentados al Duque de Feria, y que contienen una sección específicamente dedicada a la descripción del tiempo de la semana previa al envío.

○ Periódicos y revistas

Suelen contener descripciones de eventos climáticos extremos, inusuales o poco frecuentes, vinculándolos a los efectos sociales. En ellos pueden aparecer también registros instrumentales, presenty, generalmente, limitaciones temporales. Por otra parte, las informaciones contenidas en artículos de prensa pueden no estar exentas de la subjetividad del autor, por el propio carácter de opinión de estos medios (Barriendos, 1999a). Algunas series de este tipo las podemos encontrar en Rodríguez et al, (2001), referente a la reconstrucción de lecturas barométricas en Barcelona o en Domínguez-Castro et al. (2015), en el que describen las precipitaciones extremas que hubo durante los años 1855/56 en la península Ibérica. Cabe aquí resaltar el trabajo Domínguez-Castro et al. (2014), en el que contribuye la doctora, y en el que, basándose en los registros instrumentales de este tipo de fuentes (periódicos), recopila, entre otras, la serie de Zaragoza (1798-1800) y Valencia (periodo 1804-1850) (véase la Figura 3).



FIGURA 3 – PORTADA DEL DIARIO DE VALENCIA (09/03/1806) Y DEL DIARIO MERCANTIL DE VALENCIA (26/06/1838), CON EFEMÉRIDES METEOROLÓGICAS DIARIAS

Asimismo, podemos destacar otro de los artículos publicadas por la doctorya (Farrona et al, 2011), en el que se presentan relatos recogidos en este tipo de fuentes, periódicos españoles, con información sobre los efectos que la Tormenta Solar de Carrington en la Península Ibérica, acontecida entre el 28 de agosto de 1859 y el 1 o ó 2 de septiembre (véase como ejemplo la Figura 4).

Aurora boreal. Desde las once y media, hasta la una y media de la noche del domingo, brilló en el horizonte una magnífica aurora boreal, presentando una dilatada faja de fuego que corrió de Oeste á Este. La rareza de estos fenómenos en nuestra zona hace que siempre que se presentan causen la admiración de cuantas personas se aperciben de ello. Desde el año de 1848 no se había observado otra aurora en Madrid.

FIGURA 4 - FRAGMENTO DEL PERIÓDICO "LA IBERIA" DEL 31 DE AGOSTO DE 1859

Por último, se debe mencionar el uso que la doctorya hace de este tipo de fuentes en su aportación en la red Emerla, en concreto, recopilación de series de Brasil (véase Anexo II) (Farrona, 2014). Así, fueron encontrados e incorporados en estas series multitud de registros dispuestos en periódicos y revistas, principalmente especializadas en asuntos médicos, de varios puntos geográficos de Brasil. A modo de ejemplo, véase la Figura 5, en la que se muestra la ilustración de una de las tablas disponibles en la Revista Médica Fluminense, con información meteorológica (valores máximos, mínimos y medios mensuales de presión, humedad, temperatura) a las 6h y a las 14h, en los años 1836 y 1838, recogidas en Río de Janeiro, por el doctor Francisco Freire Alemão.

OBSERVAÇÕES METEOROLOGICAS, FEITAS NO RIO DE JANEIRO,
PELO DR. FRANCISCO FREIRE ALEMÃO.

Barometro de Gay—Lussac—Hygrometro de Saussure—Thermometro de Reaumur todos collocados 1012 a pés, sobre o nivel do mar, e observados ás 6 horas da manhã, e 2 da tarde.

1836	BAROMETRO				HYGROMETRO		T. DENT. DE CASA		ID. FORA Á SOMBRA		OBSERVAÇÕES
	6 h. man.		2 h. tard.		6 h. m. 2 h. t.		6 h. m. 2 h. t.		antes do sol 1 h. t.		
JANEIRO	max.	28 p. 2	L. 28 p. 2	L. 90	89	22° 1/2	25°	20°	28°	Neste mez raro foi o dia em que não raiou trovada na cidade, ou em seus contornos; algumas violentas, e acompanhadas de grandes chuvas.	
	min.	28 p. 2	L. 28 p. 2	74	70	19° 1/2	20°	17°	21°		
	med.	28 p. 11/6	L. 28 p. 1	85	81	21° 1/3	23°	18° 1/2	25° 1/2		
FEVEREIRO	max.	28 p. 2	L. 28 p. 2	94	90	22° 1/2	25° 1/2	20°	28° 1/2	Neste mez as trovoadas, tem que ainda muy repetidas, torão menos que no mez passado, porém a chuva mais abundante.	
	min.	27 p. 11 3/4	L. 27 p. 11 3/4	78	75	19°	20°	15° 1/4	22° 1/2		
	med.	28 p. 11/2	L. 28 p. 11/2	86 1/2	85	21° 2/5	25° 1/5	18° 1/6	26°		
MARÇO	max.	28 p. 4	L. 28 p. 4	95	94	22° 1/2	24°	19° 1/2	26°	Neste as trovoadas forão ainda menos frequentes que no mez precedente; e as chuvas ainda mais abundantes.	
	min.	27 p. 11 3/4	L. 28 p. 2	84	75	19° 1/2	20°	14°	20°		
	med.	28 p. 12/5	L. 28 p. 11/6	87	85	21° 1/5	22° 1/8	17° 1/2	23°		

FIGURA 5 - REGISTROS METEOROLÓGICOS PUBLICADOS EN LA REVISTA MÉDICA FLUMINENSE, DE LOS TRES PRIMEROS MESES DEL AÑO 1836, POR EL DOCTOR FRANCISCO FREIRE ALEMÃO (ALEMÃO, 1836, P. 79)

- Pinturas

En ellos, aparecen representaciones artísticas de eventos y fenómenos relacionados con el clima y algunos paisajes específicos. Un ejemplo muy ilustrativo es el que nos ofrecen las representaciones pictóricas de los glaciares históricos, a través de los cuales se pueden reconstruir antiguas extensiones y volúmenes del hielo. No obstante, hay que ser especialmente cautelosos con los mismos, ya que pueden estar influenciados por la percepción de los autores de los mismos. Véase Camuffo y Sturaro (2003), Nussbaumer et al. (2007), Nussbaumer et al. (2011), y Zerefos et al. (2014) y como ejemplos específicos.

- Canciones

Este tipo de fuentes hacen referencia a eventos extremos (inundaciones, lluvias torrenciales...) con graves consecuencias a nivel social. Al igual que en el caso anterior, tratar este tipo de fuente requiere un especial cuidado a la hora de evaluar la información contenida en las mismas. No obstante, son muy útiles como fuentes complementarias a otro tipo de registros, tal y como Brázdil et al. (2005a) muestran en su estudio sobre inundaciones acontecidas en la República Checa.

- Primeras comunicaciones y ponencias

Contienen relevante información sobre el tiempo, eventos extremos y sus impactos, que pudieran ser presentados ante academias, asociaciones...Que estén relacionados de forma directa o no con el clima y el tiempo (por ejemplo medicina).

- Fuentes epigráficas

Consisten en marcas vigentes en piedras, casas, puentes, puertas, o árboles... Referentes a niveles extremos de agua, por lo general, en ríos o recordar algún acontecimiento inusual, como la muerte de alguien por un rayo o inundación repentina (Deutsch, 2002; Munzar et al., 2005).

- Fuentes elaboradas por instituciones: Entendiéndose como tales a los organismos y cuerpos encargados del correcto funcionamiento de las estructuras territoriales existentes, las entidades religiosas y civiles, asuntos económicos y prácticas de contabilidad institucionales (control de propiedad, de fuentes de ingresos...). Estas

fuentes proporcionan registros largos y temporalmente extensos, continuos y cuasi-homogéneos. Entre ellos, podemos destacar:

- Libros de cuenta

En ellos queda vigente el control o la contabilidad de ingresos y gastos, sea en dinero o en especie. La información relevante desde un punto climático está implícita como subproducto de dicha información: la fecha de los ingresos puede dar cuenta del inicio de la cosecha de vid o de grano y, por tanto, de un determinado comportamiento climático; los gastos, por ejemplo en jornaleros que participaban en una actividad agrícola específica, y que indican la riqueza de una determinada cosecha, indudablemente asociada al clima; operaciones de mantenimiento, limpieza de nieve, hielo... Autores como Chuine et al (2004), Meier et al. (2007) o Le Roy Ladurie (2005) se han basado en este tipo de recursos para sus reconstrucciones climáticas. En Yalucía, por ejemplo, una fuente importante de datos climáticos viene proporcionada por la producción agrícola, dadas las vinculaciones entre los fenómenos meteorológicos y su influencia en los resultados de las cosechas (Rodrigo, 2007). Otro ejemplo a resaltar es el estudio de García-Herrera et al. (2003), en el que recurren a fuentes documentales históricas con información relativa a la producción de cereales para el período 1595-1836 en las Islas Canarias para caracterizar la precipitación anual.

- Informes sobre las inclemencias del tiempo relacionados con reclamaciones de impuestos

Ante situaciones en las que inclemencias del tiempo (granizo, inundación, lluvias torrenciales, tormentas de viento) provocaban consecuencias nefastas en cosechas, los contribuyentes podían solicitar una devolución de impuestos proporcional. Para ello era necesario presentar pruebas documentales, a las que les seguirían las correspondientes inspecciones y, que en ciertas ocasiones, fueron conservados en archivos regionales o estatales. Estudios en los que se han utilizado este tipo de fuentes son Grove y Battagel (1983), Brázdil y Valášek (2003), y García-Herrera et al. (2003).

- Correspondencia oficial

Por lo general, son escritos que los administradores de inmuebles envían a los propietarios describiendo fenómenos meteorológicos extremos que influyeron en los terrenos por las consecuencias que los mismos pudieran tener. A modo de ejemplo, cabe destacar el artículo de Grove y Conterio (1994). En él, hacen referencia a los informes que los gobernadores de las colonias venecianas en el Adriático y el Mediterráneo enviaban a las autoridades.

- Registros navales

Son fuentes institucionales de gran relevancia por aportar registros directos de viento (dirección y velocidad), y en algunos casos específicos, datos observacionales de otras variables meteorológicas. Caben destacar los proyectos internacionales ICOADS (Woodruff et al., 2011) y CLIWOC (García-Herrera et al, 2005) por la enorme cantidad de datos procedentes de registros navales que contienen, y su enorme potencial para mejorar las reconstrucciones de campo climático. Otras investigaciones a resaltar son la presentada por Broham et al. (2010), en la que estudian los registros meteorológicos anotados durante las expediciones de la Royal Navy al Ártico, y Gergis et al. (2010) en la que analizan documentos conservados en el Archivo Nacional del Reino Unido en el transcurso del viaje Primera Flota de Inglaterra a Australia.

2.1.3. Breve resumen de las fuentes

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, en la Tabla 4 se resumen las pruebas documentales con las que nos podemos encontrar.

		INFORMACIÓN CONTENIDA	MOTIVOS	FRECUENCIA, RESOLUCIÓN Y CONTINUIDAD	TIPOLOGÍA
Individual	Anales, crónicas, libros, memorias	Indirecta	Memorias de eventos extremos/Informes de situación	Discontinua /continua	Cuantitativa/Cualitativa
	Diarios	Directa/indirecta	Informes de situación	Discontinua	Cualitativa
	Correspondencias privadas	Indirecta	Informes de situación	Discontinua	Cualitativa /cuantitativa
	Periódicos y revistas	Directa/Indirecta	Memorias de eventos extremos	Discontinua	Cuantitativa/cualitativa
	Pinturas	Indirecta	Memorias de eventos extremos	Discontinua	Cualitativa
	Canciones	Indirecta	Memoria de eventos extremos	Discontinua	Cualitativa
	Primeras comunicaciones y ponencias	Directa/Indirecta	Conocimiento y control del clima	Discontinua	Cualitativa/cuantitativa
	Fuentes epigráficas	Indirecta	Memoria de eventos extremos	Discontinua	Cualitativa
	Primeras observaciones instrumentales	Directa/Indirecta	Control del clima	Discontinua	Cuantitativa/cualitativa
Institución	Libros de cuenta	Indirecta	Control ingresos/Gestiones de riesgo	Continua	Cualitativa
	Informes de impuestos	Indirecta	Control ingresos/Gestiones de riesgo	Continua	Cualitativa
	Correspondencias institucionales	Indirecta/Directa	Control ingresos/Gestiones de riesgo	Continua	Cualitativa
	Registros navales	Directa/Indirecta	Control de la navegación. Predicción	Continuas / Discontinua	Cuantitativa

TABLA 4 - RESUMEN DE LOS TIPOS DE FUENTES

2.2. Búsqueda de fuentes

Las fuentes anteriormente descritas pueden estar albergadas en multitud de espacios. Encontrarlos requiere una labor de búsqueda intensa atendiendo a criterios específicos.

En concreto, Barriendos (2000), se centra en analizar la riqueza documental de los archivos españoles, proponiendo una subdivisión específica atendiendo a las características del Patrimonio Documental Español. Entre ellos, cita los siguientes:

- Archivos estatales. Tal y como Barriendos (2000) apunta, cabría esperar una mayor densidad de información climática o meteorológica en estas fuentes en las secciones de correspondencias y en los fondos fiscales.
- Archivos provinciales. En estos archivos pueden encontrarse documentos procedentes de municipios o localidades de regiones concretas. En cualquier caso, harían referencia a eventos extremos.
- Archivos militares. Pueden contener información meteorológica, normalmente de eventos extremos, aunque el principal problema que presentan es que la ubicación en las que ocurren los mismos suele ser aquella a la que la unidad militar implicada se ha desplazado. En consecuencia, existe escasa homogeneidad en los registros.
- Archivos notariales. Son sin duda los más abundantes, aunque contienen poca información meteorológica interesante. Si bien, pueden hacer referencia a algún fenómeno específico.
- Archivos monacales o conventuales, diocesanos, o parroquiales. Entre las fuentes que se pueden encontrar en estos archivos caben destacar las propias correspondencias o incluso memorias, efemérides o dietarios generados por párrocos que tengan especial interés por los fenómenos naturales. Cabe indicar que algunas órdenes eclesiásticas, como los jesuitas, establecieron una tupida red de corresponsales por todo el país y las colonias en América, con continuos intercambios de información en forma de correspondencia privada (Rodrigo et al., 1998).
- Archivos municipales y capitulares. La documentación administrativa de los archivos catedralicios y municipales es uno de los mejores fondos documentales a efectos climáticos, tanto por su densidad como por la calidad de la información contenida (Rodrigo, 2007). En estos archivos, en concreto en los libros de actas o resoluciones de sus órganos de gobierno, podemos encontrarlos, entre otros, los relatos escritos tras celebración de las ceremonias de rogativas por motivaciones ambientales (sequías, fuertes lluvias y tormentas), competencia de las autoridades municipales (Piervitali y Colacino, 2001; Barriendos, 2005).

En la actualidad, esta pesquisa se está viendo favorecida por el enorme esfuerzo que se está realizando por digitalizar, y de esta manera preservar, el fondo documental antiguo. La gran mayoría de países cuentan ya con su biblioteca y hemeroteca digital, poniendo a disposición de los interesados obras tradicionales de gran riqueza documental. A modo de ejemplo, y por la relevancia que tienen para los trabajos aquí presentados, cabe citar las bibliotecas digitales de Brasil (<http://bndigital.bn.br/>), en la cual se han podido encontrar multitud de fuentes con información relevante sobre el clima en diversos puntos de la geografía Brasileña, tal y como puede verse en Farrona (2014); España (<http://www.bne.es/es/Inicio/>), donde hemos podido encontrar algunos volúmenes de, por ejemplo, “El Diario de Valencia” o “El Diario de Zaragoza”, de gran relevancia en el estudio realizado por Domínguez-Castro et al. (2014); o Portugal (<http://www.bnportugal.pt/>) y sus correspondientes hemerotecas y archivos digitales. Por otro lado, podemos encontrarnos también con iniciativas más específicas por parte de bibliotecas regionales, academias, fundaciones, agrupaciones o asociaciones tradicionales con un fondo caracterizado por su riqueza documental enriquecido de forma progresiva desde su nacimiento, y fortalecido mediante donaciones u otro tipo de concesiones. Se puede citar aquí el archivo del Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro (<http://www.ihgb.org.br/acervo1.php>), del cual fue recuperada la serie de observaciones meteorológicas anotada por Antonio Bernardino Pereira do Lago, en la ciudad de Recife, desde enero de 1808 hasta octubre de 1810 (Farrona, 2014). No podemos olvidar la cantidad de fuentes que podemos consultar a través de internet mediante iniciativas como la Biblioteca Digital Mundial (<http://www.wdl.org/es/>), google books, y otros (Brugnara et al., 2015). Todos estos canales, ponen a disposición de los internautas una cantidad ingente de documentos de siglos pasados en formato electrónico. Y, por supuesto, no se puede dejar de lado la documentación que podemos encontrar en formato papel y/o microfilmado, disponible en bibliotecas físicas, hemerotecas, observatorios... Podemos citar, a modo de ejemplo, las observaciones meteorológicas de Bento Sanches Dorta, que podemos encontrar online, en google books; en formato papel, en la biblioteca de la propia Académia das Ciências de Lisboa; o microfilmado, en la Biblioteca Nacional de Portugal (Farrona y Vaquero, 2012; Farrona et al., 2012).

2.3. Pautas metodológicas y criterios de trabajo

Los progresos en Climatología Histórica están evidentemente condicionados por la disponibilidad de fuentes documentales con información relevante para esta área de conocimiento. La gran cantidad de fuentes diferentes de las que se puede extraer esta información han ido dýo lugar,

progresivamente, al desarrollo de varias metodologías y criterios de trabajo, adaptados a cada una de ellas, que permitan recopilar, tratar y analizar los datos (Barriendos, 2000).

2.3.1. Selección del ámbito de estudio

En Climatología Histórica, la escala temporal y el área de trabajo, desde un punto de vista geográfico, vienen definidos por la propia fuente.

- Escala temporal. El trabajo que nos ocupa está principalmente centrado en lo que se correspondería con la Climatología del MIP (Pfister, 2008), siendo principalmente objeto de nuestro interés estudiar observaciones instrumentales y descripciones de eventos climáticos o geofísicos, recogidos justamente antes de la creación de redes meteorológicas coordinadas. En concreto, las fuentes utilizadas están datadas entre finales del siglo XVIII y la segunda mitad del siglo siguiente.
- Área de trabajo. Tal y como Barriendos (2000) describe, para definir el área geográfica de trabajo, los estudios en Climatología Histórica pueden recurrir a dos tipos de métodos: zonal y puntual. En el *zonal*, prioriza la recopilación de la mayor cantidad posible de información, relegando a un segundo plano la importancia que puedan tener la procedencia y el tipo. Por su parte, el *método puntual*, trata de seleccionar unos puntos geográficos específicos en los cuales se procuran unos determinados tipos de documentos. Para llevar a cabo los diferentes trabajos propuestos presentados en esta tesis (ver Sección 3), se ha recurrido al método puntual. Así, ha sido analizada información relativa a varios puntos geográficos específicos: ciudades españolas, algunas brasileñas, y un punto específico de Ecuador, el volcán Antisana.

2.3.2. Selección de fuentes documentales

Siguiendo al criterio de Alexyerson (1987) y Barriendos (2000), a la hora de seleccionar las fuentes, los criterios en los que nos debemos basar para la elección se fundamentan, principalmente, en la objetividad del contenido. Así, dada la subjetividad que pueda estar contenida en la información, principalmente si se trata de información climática indirecta y/o descripciones de eventos, proponen relegar a un segundo plano fuentes indirectas y no contemporáneas, proponiendo su utilización solo como recursos complementarios. Esto no implica en absoluto que no se puedan utilizar transcripciones de documentos originales, siempre y cuando no muestre inconsistencia, duplicidad de información, u otro tipo de errores.

Para el trabajo que nos ocupa, las fuentes consultadas y utilizadas son diversas, enmarcadas en las correspondientes fuentes personales. Además, como previamente se mostró a través de casos concretos (ver Sección 2.1.2.), en concreto, se ha recurrido a la búsqueda de fuentes en “Periódicos y revistas”, “Anales, crónicas, libros conmemorativos y memorias”, y “Diarios de registros Meteorológicos”.

2.4. El estudio de las series meteorológicas antiguas

La procedencia de las series meteorológicas antiguas o EIP, por sus siglas en inglés (Early Instrumental Period) es muy diversa. Estos registros, presentan unas características metodológicas y formales de enorme similitud con las observaciones contemporáneas, aunque el número de variables registradas suele ser inferior, así como la información (metadatos) que se tiene sobre las mismas.

Enlazarlas con las series actuales ofrece la posibilidad de disponer, en algunos casos, de periodos de más de 200 años de datos con resolución mensual o diaria.

Es importante señalar que las primeras observaciones instrumentales se caracterizan, por lo general, por su buena calidad. Éstas fueron registradas, en su mayoría, por científicos que, con inmenso cuidado, anotaron sus registros, en ocasiones durante largos periodos de tiempo (Slonosky et al., 1999). No obstante, se debe tener siempre presente que las influencias no climáticas pueden afectar de forma directa a los registros meteorológicos. Así, antes de considerarlos aptos, en concreto los tomados durante la época instrumental, es necesario, evaluar la calidad de las observaciones.

2.4.1. Características de la información para establecer series climáticas

De acuerdo con Le Roy Ladurie (1967) y Barriendos (2000), para que la información sea apta para su utilización, ésta debe presentar cuatro características:

- Continuidad en el tiempo. Lo ideal sería que la serie no presentara lagunas temporales, huecos o vacíos que de alguna manera lleguen a impedir la construcción de series de datos climáticos, aunque su calidad sea óptima. No obstante, nos encontramos que, en la mayoría de los casos, las lagunas y los vacíos están presentes.
- Homogeneidad. La información aportada, en forma de registros o descripciones, debería ser constante y uniforme durante todo el período en el que hayan recopilado observaciones.

- Ser cuantificable. Esto implica también que se pueda deshacer de aquellas componentes de subjetividad que puedan girar en torno a las fuentes.
- Datación y localización correcta. Es importante conocer la fecha y el lugar, aunque sea de manera aproximada, en la que se recogieron los datos.

En la siguiente figura (Tabla 5) se muestra un resumen de las características específicas que presentan las fuentes consultadas y analizadas para los diversos trabajos publicados por la doctora (Domínguez-Castro et al., 2014; Farrona et al., 2012; 2015), en relación con los cuatro requisitos anteriormente mencionados.

	CONTINUIDAD EN EL TIEMPO	HOMOGENEIDAD	CUANTIFICABLE	DATACIÓN Y LOCALIZACIÓN CORRECTA
Río de Janeiro	Sí* *Las series individuales Sí son continuas en el tiempo, pero Sí se tratan todas en su conjunto, encontramos huecos entre una y otra	Sí/* BSD Sí. El resto no han Sido analizadas en términos de homogeneidad	Sí	Sí (de algunas series se desconoce la ubicación exacta)
Valencia	No	*	Sí	No (localización)
Zaragoza	No	*	Sí	No (localización)
Recife	Sí* *Las series individuales Sí son continuas en el tiempo, pero Sí se tratan todas en su conjunto, encontramos huecos entre una y otra	*	Sí	Sí (de algunas series se desconoce la ubicación exacta)
Bahía	Sí	*	Sí	Sí
Antisana	Sí	Sí**	Sí	Sí

TABLA 5 - RESUMEN - CARACTERÍSTICAS DE LA INFORMACIÓN DE LAS SERIES CLIMÁTICAS ANALIZADAS

*ESTAS SERIES NO HAN SIDO ANALIZADAS EN TÉRMINO DE HOMOGENEIDAD. LOS TRABAJOS EN LOS QUE SE HAN PRESENTADO TIENEN COMO OBJETIVO LA RECUPERACIÓN DE SERIES, NO SU ANÁLISIS

**AUNQUE NO HA SIDO ESTUDIADA LA HOMOGENEIDAD DE LA SERIE, UN ANÁLISIS INICIAL (NO SE OBSERVAN SALTOS NI COMPORTAMIENTOS ANÓMALOS), SUMADO A SU EXTENSIÓN TEMPORAL, NOS MUESTRA QUE NO HAY SIGNOS DE INHOMOGENEIDAD

2.4.2. Proceso de digitalización

Digitalizar los registros provenientes de las fuentes de estudio permite transformar las observaciones contenidas en formato papel, por lo general frágil y en mal estado de conservación, a formato digital apto para su estudio, análisis y tratamiento estadístico. Lo ideal

es traspasar dicha información a una hoja de cálculo o una base de datos apta para la manipulación de los registros (Tan et al., 2004).

En el periodo reciente, se han llevado a cabo varios proyectos orientados precisamente a la digitalización de documentos históricos con información interesante desde el punto de vista climático. Entre ellos, cabe destacar el proyecto *Integrated data rescue* (DARE, por sus siglas en inglés). Enmarcado en este proyecto, Tan et al. (2004) ofrecen una guía bastante detallada del procedimiento a seguir para la digitalización de diversos tipos de documentos, atendiendo a algunos posibles formatos existentes de entrada (papel, microfilme,...).

Para el caso concreto de las primeras observaciones instrumentales, básicamente son dos los métodos a los que se pueden recurrir para ello: el manual o el uso de los conocidos OCR (del inglés "Optical Character Recognition").

- Manual. Se trata de un proceso tedioso, monótono, rutinario y para el cual se requiere cierta capacidad de concentración. El responsable de ello debe digitalizar los valores exactos reportados en la fuente original. Así, aun cuyo durante este proceso sean detectados errores evidentes, la transcripción debe ser necesariamente igual a la primitiva. A la vez, es recomendable guardar, tener o poner a disposición de otros investigadores las imágenes de las fuentes originales, para que estos puedan verificar la exactitud de los registros y, en el caso de que sea necesario, detectar y corregir posibles errores (Brunet y Jones, 2011).
- OCR. Se trata de un proceso enfocado a la digitalización de textos, los cuales identifican automáticamente a partir de una imagen, símbolos o caracteres que pertenecen a un determinado alfabeto, para luego almacenarlos en forma de datos. Esto permite la posibilidad de interactuar con estos mediante un programa de edición de texto o similar. Requieren tener escaneados aquellos documentos que se deseen digitalizar, con un mínimo de calidad para que los registros puedan ser apreciados y reconocidos correctamente.

Tras la digitalización de los datos, se debe realizar un chequeo inicial en la serie. En múltiples casos, podremos encontrarnos con la presencia de lagunas. Para llenar estos huecos se pueden seguir varios procedimientos, como el propuesto por Böhm (1992) para series mensuales (también aplicable a diarias) basándose en el uso de series de referencia cercanas altamente correlacionadas.

Para los casos de estudio expuestos en este trabajo, la digitalización ha sido realizada de forma manual. Aunque en algunas series se han encontrado lagunas (Domínguez et al., 2014; Farrona, 2014), dado que el objetivo de los trabajos que las contienen es la recuperación de series, y no el análisis en sí de las mismas, no se ha procedido en dichos estudios a rellenar los huecos existentes.

2.4.3. Tratamiento de datos. Introducción.

Tras la búsqueda, selección de fuentes y posterior digitalización de datos, los registros deben ser analizados, evalúo así la calidad de los mismos. Los datos meteorológicos están influenciados por una amplia variedad de prácticas observacionales: tipos de instrumentos, exposición de los mismos, procedimientos de registros, entre otros. Conocer esta información adquiere enorme relevancia para eliminar, si es que existe, la huella no-climática que pueden tener algunos registros recopilados (Aguilar et al., 2003).

En la serie original de datos meteorológicos, la señal climática real, generalmente, se oculta detrás de ruidos no climáticos causados, entre otros motivos, por la reubicación de la estación, los cambios en los instrumentos y pantallas de instrumentos, los cambios en los tiempos de observación, observadores y reglamentos de observación, algoritmos para el cálculo de los valores medios, etc. Por ello, en la actualidad, la comunidad investigadora defiende que las series temporales de datos meteorológicos no se pueden utilizar para la investigación del clima sin un conocimiento claro sobre el estado de los datos en términos de homogeneidad (Brunetti et al., 2006).

Todas las etapas que recorre la información climática que se obtiene de registros instrumentales pueden introducir errores. De acuerdo con Rodríguez (2012), debemos atender a los diversos procesos y los fallos que, cada uno, puede tener asociados:

- Durante la recogida de los datos, se puede realizar una lectura incorrecta de los valores, problemas con los instrumentos de medida, horarios...
- En el proceso de elaboración de documentos de registro, se pueden cometer errores al anotar o incluso corregir los valores observacionales, en el cálculo de variables derivadas de aquellas que se miden directamente y, por supuesto, en el propio proceso de digitalización.
- En el almacenaje pueden sufrir deterioro, pérdidas y extravíos, especialmente en el caso de las series antiguas.

- Por último, no podemos olvidar que el propio tratamiento final de las series, puede ser fuente de error si se realiza una manipulación incorrecta.

Por su parte, como iremos detallando en los siguientes apartados, para su tratamiento es necesario (Easterling et al., 1996):

- Analizar las discontinuidades o lagunas, como vimos en el subapartado anterior.
- Detectar aquellos posibles errores puntuales de observación, transcripción o instrumentales existentes en la serie ya digitalizada.
- Corregir saltos en la media debidos al desplazamiento o los cambios de los instrumentos, de los métodos de observación u observadores...
- Analizar las posibles tendencias de la serie y corregir aquellas debidas a la incorporación de errores sistemáticos, influencia de la urbanización del entorno próximo, etc.
- Cotejar los datos de la estación con los de otros observatorios vecinos de calidad contrastada para estimar la homogeneidad relativa de la serie.

En el caso concreto de los trabajos expuestos en Farrona et al. (2012; 2015), en los que se analizan las series de Brasil (1781-88) y Antisana (1845-46) respectivamente, han sido realizados los procedimientos anteriormente mencionados (véase Tabla 6).

	RÍO DE JANEIRO (FARRONA ET AL., 2012)	ANTISANA (FARRONA ET AL., 2015)
Discontinuidades	Sí (07/1788 - 10/1788)	No
Errores de observación, transcripción o instrumentales	No	No
Saltos	No	No
Cambios de tendencias	No	No

TABLA 6 - POSIBLES ERRORES QUE PODEMOS ENCONTRAR INICIALMENTE EN LAS SERIES

Las mejores herramientas para detectar y eliminar la falta de homogeneidad en los registros son por un lado, el conocimiento de los metadatos y los test de homogeneidad relativa, tal y como Böhm⁵ indica.

⁵ Böhm R., The early instrumental data.

<http://home.badc.rl.ac.uk/mjuckes/mitrie_files/docs/mitrie_early_instrumental.doc> [Consulta del 20 de agosto de 2015]

- Metadatos. Los metadatos, o el conocimiento sobre las formas, el lugar, el momento, el responsable de la toma de registros y los instrumentos utilizados, es fundamental en estudios de este tipo de información. Así, para hacer el mejor uso posible de los datos recopilados, se necesita un buen conjunto de metadatos que permita al investigador conocer, de la mejor manera posible, las condiciones en las que los datos fueron grabados, recogidos y/o transmitidos, con el fin de extraer conclusiones precisas de su análisis.
- Test de homogeneidad. Los test de homogeneidad relativa se basan en la correlación que debe existir entre las variables meteorológicas registradas en observatorios distintos en periodos simultáneos (Barrón y Pita, 2001). Admitiendo, a priori que todas las series son homogéneas, aunque ninguna con carácter absoluto y definitivo, y que las posibles inhomogeneidades han sido fortuitas, aquellos valores excesivamente bajos en el coeficiente de correlación durante periodos simultáneos de distintos observatorios indicarían alguna discordancia entre algunos de sus elementos correspondientes.
- Comparaciones empíricas entre estaciones cercanas. Sobre las escalas temporales de interés en los estudios de cambio climático, las estaciones cercanas deben estar sujetas a cambios similares en el clima mensual, estacional y anual. En consecuencia, cualquier signo de comportamiento sistemático en las diferencias sugeriría la presencia de inhomogeneidades.

En los siguientes apartados profundizaremos en todo ello.

2.4.4. Metadatos

Una serie numérica que representa la evolución de una variable climática es homogénea si las variaciones dadas en la misma vienen causadas únicamente por fluctuaciones en el tiempo y el clima (Slonosky et al., 1999). De esta manera, obviando errores en los registros de datos, las causas de inhomogeneidades más importantes son⁶:

- Cambios de instrumentos, errores asociados a los mismos, y traslados del lugar de medida. Ejemplo de ello expone Camuffo (2002) con las observaciones termométricas realizadas por Poleni entre (1761-69). En el apartado 2.4.4.3 se expondrán algunos tipos de instrumentos meteorológicos y los posibles errores asociados.

⁶ Consultar: <http://www.filo.uba.ar/contenidos/carreras/geografia/catedras/cambioclimatico/sitio/Unidad%203.pdf>

- Exposición y técnicas de medición: cambio en el cómputo de la duración del día, en el método de observación o en el número de ellas.
- Cambios en las horas de observación y métodos usados para calcular los promedios diarios, máximas y mínimas deducidas del registro gráfico, valores medios calculados como semisuma de los valores extremos o como media ponderada entre el número de observaciones del parámetro... (Maugeri et al., 2002; Camuffo, 2002a, Bergström y Moberg, 2002).
- Cambios en el ambiente de la estación.
- Diferentes observadores, con distintos criterios o método.

Estos factores influirán en mayor o menor grado según el instrumento en cuestión. A continuación describiremos brevemente cada una de ellos.

2.4.4.1. Estación, entorno y exposición instrumental

Parece evidente que los cambios en la localización de la estación influyen en las características estadísticas de las series, ya que incorporan valores medidos en distintos emplazamientos (Rodríguez et al., 1999; Brunet et al., 2004). Por lo general, lo ideal sería que estuviera indicado el lugar en el que se anotan los registros, cuándo comenzaron a registrarse los datos y quién fue la persona encargada de ello. Indicar las coordenadas geográficas (longitud, latitud y altura) aporta una mayor precisión a la hora de determinar la ubicación, siempre y cuando éstas fueran medidas correctamente. No obstante, no siempre conocemos dicha localización, o no con toda la precisión deseada. En su defecto, información indirecta puede aproximarnos al lugar en el que se anotaron los datos.

Por otro lado, podemos encontrarnos también con un cambio en la ubicación de los instrumentos (incluso a corta distancia). A su vez, en cuanto a la estación se refiere, otra posible fuente de error proviene de los cambios que se produzcan en el ambiente que rodea a los instrumentos. Así, los registros recogidos por los diversos instrumentos pueden variar de acuerdo al entorno en el que se realicen las medidas (superficies artificiales, agrícolas, vegetación natural y áreas abiertas, humedales, y/o masas de aguas). Íntimamente relacionado con esto está la forma en la que afecta el tipo de cobertura del suelo subyacente a la estación meteorológica, en cuanto a la medición de los datos se refiere. Así, diferentes superficies tienen también distintas propiedades (por ejemplo, rugosidad, albedo, capacidad térmica) (Aguilar et al., 2003).

A lo anterior se le deben sumar los efectos que pueden provocar en los registros instrumentales la exposición de los mismos ante ciertos obstáculos: paredes, árboles altos, la casa del

observador, otros edificios que puedan estar cerca... Ejemplo claro de ello es el efecto que la presencia de árboles altos pueden provocar en las anotaciones de velocidades y direcciones de vientos (Wieringa, 1998). Otro caso bastante ilustrativo es el estudiado por Camuffo (2002) relativo a las series de temperatura de Padua.

Un simple examen visual y/o, de manera más detallada, el análisis estadístico de los propios registros pueden revelar la existencia de inhomogeneidades, siendo la ubicación la causa de las mismas. Así, por ejemplo, un salto en el valor medio de la variable, podría indicar un posible cambio en la ubicación de la estación. De la misma manera, la existencia de una tendencia constante podría indicar un cambio progresivo en el ambiente que rodea a la propia estación.

2.4.4.2. Horas de observación

En ocasiones nos encontramos con que las observaciones fueron realizadas a varias horas del día. Así, para poder calcular, por ejemplo, el valor medio diario de una variable, resulta fundamental tener más valores de la misma, con el fin de disminuir el error asociado lo máximo posible (véase Maugeri et al., 2002; Camuffo ,2002a). Esta fuente de error afecta de una forma diferente a la temperatura y a la presión. Veámoslo.

- Presión. La presión atmosférica presenta una variación diurna y otra semidiurna, regular y de varios hectopascales (Lindzen y Chapman, 1970); no obstante, en latitudes medias puede sufrir variaciones de hasta 30 hPa en un día como consecuencia del tiempo (Wallace y Hobbs, 2006).

En el caso de esta variable, para corregir los errores ocasionados por este motivo, uno de los procedimientos propuestos es la comparación directa con ciclos de referencias calculados a partir de series actuales. De esta manera, a través de un examen entre ambas y el estudio de sus comportamientos, se puede conocer la influencia introducida de esta manera (Cortes, 2010). Otra metodología aplicable es la propuesta por Maugeri et al. (2002). Así, expresan los ciclos de presión diurnos en términos de anomalías de los ciclos promedios. Los errores son estimados calculando la diferencia entre la media diaria (obtenida a partir de la serie de referencia) y el valor en la correspondiente hora para cada año.

- Temperatura. La temperatura presenta un ciclo diario bastante acusado. Así, es fundamental conocer la temperatura a diversas horas, para conocer el valor medio diario de esta variable con la mayor precisión posible, siendo especialmente relevante en el caso de que tengamos una única observación o éstas no se tomaran en horas cercanas a las

de las temperaturas mínimas y máximas. De acuerdo con Bergström y Moberg (2002), a través de las medidas registradas se puede calcular la temperatura media mediante la siguiente ecuación:

$$t_d = 1/n \cdot (t_1 + f_{cl} \cdot \Delta_1 + t_2 + f_{cl} \cdot \Delta_2 + \dots + t_n + f_{cl} \cdot \Delta_n), \quad (1)$$

donde t_d es la temperatura media diaria, t_1, t_2, \dots, t_n se corresponden con los registros termométricos, $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ representan la desviación media de la temperatura media diaria a esa hora concreta de observación, f_{cl} es un factor escalar que depende del estado del cielo y n es el número de observaciones al día. Como es evidente, es necesario también calcular el ciclo diario de referencia para obtener el valor de Δ_n . Una explicación detallada sobre la forma en la que se pueden calcular ambos valores, se puede encontrar en Bergström y Moberg (2002). Por otra parte, en Maugeri et al. (2002) se trata de realizar el proceso contrario, esto es, determinar el valor de la temperatura por la mañana y por la noche a partir de una única lectura diaria, correspondiente a la media, y del estado del cielo.

2.4.4.3. Instrumentos

De enorme ayuda para el análisis de los registros es documentar el tipo de instrumento con el que se toman las medidas. Lo conveniente es tener información al respecto de:

- Modelo de instrumento, con el tamaño y la identificación
- Tipo de salida y sensibilidad

Un amplio estudio de los instrumentos disponibles y más utilizados durante la época preinstrumental, así como los posibles errores asociados a los mismos viene expuesto en Middleton (1964, 1966), Camuffo (2002; 2002a; 2002b; 2006), y Cocheo y Camuffo (2002). En lo que sigue se hará una breve referencia a los instrumentos que más importancia tienen para los trabajos realizados y presentados en esta tesis.

Antes de estudiar de forma pormenorizada los posibles errores asociados a cada instrumento, serán señalados, para nuestros casos concretos de estudio (Farrona et al. 2014; 2015), la información que conocemos de los factores anteriormente descritos (véase la Tabla 7):

		RÍO DE JANEIRO (FARRONA ET AL., 2012)	ANTISANA (FARRONA ET AL., 2015)
Información de:	Estación	Sí (coordenadas)	Sí (coordenadas)
	Entorno	Información indirecta	Sí Aporta descripción
	Exposición instrumental	No	No
	Horas de observación	Cada dos horas	Horarias, desde la salida hasta la puesta de sol
	Modelo del Instrumento	Sí	No

TABLA 7 - METADATOS DISPONIBLE

Un aspecto importante, a destacar en ambos estudios, es que sólo disponemos de valores horarios (y por tanto, discretos) de temperatura y presión. De hecho, Aguirre (1851) plasma en su obra sólo los valores medios mensuales (temperatura) y diarios (presión), aunque fueron tomadas medidas horarias, como bien está indicado. Todo ello se tuvo en cuenta para el estudio de dichas series.

Termómetro

Camuffo (2002a; 2002b) estudia con minuciosidad la calibración y los errores instrumentales en las medidas de la temperatura del aire, realizadas en Padua con unos modelos determinados de termómetros (Amonton, Poleni, Lambert, Reaumur, y Deslide). Ejemplifica así los procesos que deben seguirse para corregir los posibles errores asociados a algunas lecturas termométricas realizadas en la época preinstrumental en modelos específicos. No obstante, en este sentido, como es evidente, generalizar resulta imposible: existen muchos modelos de instrumentos diferentes, por lo que cada caso específico debe estudiarse de forma particular. En algunas ocasiones, la situación es peor, y es que, en estudios de este tipo, nos encontramos que desconocemos el modelo exacto que ha sido utilizado para realizar las medidas.

Un aspecto que, por lo general, si caracterizó a un gran número de observaciones realizadas durante esta época es el relativo al proceso de observación. Así, Jurin (1723) estableció una serie de instrucciones que fueron asumidas, en la medida de sus posibilidades, por aquellos que realizaron algún tipo de registro. Recomendaba en las mismas que los termómetros fueran

colocados en las paredes o ventanas orientadas al norte, para minimizar el efecto de la luz solar directa e indirecta, y en una habitación libre de fuego (cocina, salón con chimenea...). En algunos casos, se utilizó una pantalla de hierro para proteger el instrumento de la radiación solar (Camuffo, 2002b). Además, se consideraba que una única lectura de interior podría considerarse representativa de la temperatura media. No obstante, nos encontramos también casos en los que para determinar valores extremos, fueron anotados dos registros diarios: el primero, una hora después del amanecer, es decir, cerca de la temperatura mínima, y otro, por lo general alrededor de dos horas después de la culminación solar (es decir, el paso del sol por el meridiano local) aproximándose al valor de la temperatura máxima (Flammarion, 1888; Ceconi, 1939).

De modo genérico, los principales errores que acompañan a las lecturas de los termómetros de líquido en vidrio, y asociados a fallos en el propio instrumento, son (Cocheo y Camuffo, 2002; WMO, 2008):

- Error elástico. Puede ser reversible e irreversible. El primero será relevante solo cuyo un termómetro se expone a temperaturas extremas en un breve periodo de tiempo. En cuanto al segundo, puede llegar a adquirir gran importancia ya que implica una contracción del bulbo del termómetro y, por tanto, la temperatura indicada es errónea.
- Error por efecto de columna emergente. Viene causado cuyo parte de la columna del termómetro queda fuera del medio de calibración. En tales casos, la columna emergente tiene una temperatura diferente a la temperatura del bulbo del termómetro. Por tal razón se genera un error y se debe realizar la corrección.
- Error de lectura y de paralaje. Estos errores solo pueden evitarse realizyo el registro de la forma correcta. Pueden estar también inducidos por el propio observador y los efectos que el mismo pueda provocar sobre el termómetro.
- Errores en escalas y de calibración. El error introducido por la escala de los primeros modelos de termómetros fue estudiado de forma minuciosa por Camuffo (2002b). El material del que estuviera hecho, la forma en la que esta escala fuera adjunta al termómetro, las posibles deformaciones que pudieran existir en ésta, y los posibles desplazamientos de la misma son fuentes importantes de error. Especial cuidado había que tener si la escala estaba escrita directamente en el soporte de madera (Cocheo y Camuffo, 2002). Encontramos también termómetros con escala invertida, hecho evidenciado cuyo los registros termométricos son más altos en invierno que en verano (Camuffo, 2002).

- Errores de construcción y de punto cero. El primero está principalmente asociado a la dilatación no lineal del termómetro líquido en el proceso de construcción de la escala. Así, se asume erróneamente que la relación entre la temperatura y la altura alcanzada por el líquido en el termómetro es lineal). En el caso del termómetro de mercurio, el error asociado a la no linealidad es muy pequeño.
- Deterioro del instrumento. Algunos errores pueden venir también provocados por el deterioro del propio instrumento. Así, pueden existir otras desviaciones en las lecturas provocadas una deformación permanente del soporte debido al envejecimiento de la madera y, por lo tanto, de la escala del termómetro; una alteración en el líquido termométrico; y, por último, la histéresis del recipiente de vidrio, tanto del capilar como del bulbo que, cuyo se somete a variaciones bruscas de temperatura, no recupera inmediatamente su tamaño original.

Las lecturas termométricas son particularmente sensibles a las condiciones de exposición del instrumento, el entorno y sus características, la presencia de objetos y/o edificios... Así, a modo de ejemplo, la lectura de un termómetro habitual expuesto al aire libre de forma directa puede diferir enormemente de la verdadera temperatura del aire, llego esta diferencia a 25 K en determinadas condiciones (WMO, 2008). Por su parte, Camuffo (2002), Camufo y Bertolin (2010). Un estudio minucioso de la serie de registros, y la apreciación de posibles cambios de tendencias, saltos en la serie, valores extraños, ponen de relieve la posible influencia de estos factores. A continuación, se recogen algunos ejemplos:

- Efecto de la energía residual existente en las propias paredes, la hora a la que fue registrada, la orientación, y la ventilación existente en la habitación antes de cada lectura (asociado al calentamiento de la vivienda). Las medidas termométricas podían realizarse dentro y fuera de la vivienda, tomándose en algunas ocasiones en ambos sitios. Cuyo la lectura era interior, los tres factores anteriormente mencionados afectaban enormemente a la temperatura registrada. Por lo general, los edificios suavizan la variabilidad termométrica diurna y provocan un retardo en el tiempo de respuesta del instrumento. Por otro lado, una buena ventilación en los meses más calurosos influye en que la diferencia de temperaturas exterior e interior sea menor, pudiendo reflejar una variabilidad similar a la que muestran lecturas termométricas tomadas con un instrumento en el exterior. Otro factor que influye enormemente en los datos anotados es el apantallamiento de los instrumentos. Debido a la extensa tradición que existía entorno

a ello, es importante conocer y poder determinar los efectos que los diversos tipos de pantallas pueden provocar sobre las lecturas termométricas.

- Registros tomados en dependencias determinadas, como la cocina, y la presencia de factores influyentes, como el fuego. Así, el calor emitido distorsionaría el valor real de la variable, aumentándolo de forma considerable.
- Registros termométricos tomados a determinadas horas del día y que revelan un comportamiento anómalo. Por ejemplo, lecturas tomadas por la mañana y a mediodía, con valores numéricos bastante similares, por lo general bastante cercanos. Se pueden plantear como posibles hipótesis ante dicho hecho: (i) el termómetro estuvo expuesto a la parte oriental, recibiendo radiación solar por la mañana; por lo que estos valores deberían ser desechados; (ii) el termómetro estuvo fuertemente influenciada por la estructura del edificio, lo que suavizó los extremos diarios.
- Pequeños cambios en la posición del termómetro. Pueden también dar lugar a variaciones significativas en los registros termométricos anotados.
- La altura a la que se sitúe el termómetro. Se trata de un factor que influye enormemente en la temperatura registrada. Así, un termómetro cercano al suelo, suele recoger lecturas termométricas superiores a las que debería durante el día, debido a la influencia del suelo. Lo contrario sucede por la noche.
- Radiación solar directa. Modelar el comportamiento de la radiación solar en un lugar específico permite conocer cuándo la temperatura anotada puede estar afectada por este factor.
- Montaje y desmontaje del instrumento. En este caso será imprescindible calibrarlo de nuevo (Camuffo y Bertolin, 2010).

Particularizado a nuestros casos concretos de estudio, sabemos que el termómetro que utilizó el científico portugués Bento Sanches Dorta para realizar sus mediciones termométricas fue fabricado por Nairne y Blunt⁷ (Sanches Dorta, 1812a, p. 73). En cuanto al instrumento utilizado por Carlos Aguirre de Montúfar para sus observaciones en el Antisana, desconocemos el modelo exacto del mismo. En ninguno de los dos estudios citados fue necesario realizar ninguna de las correcciones anteriormente descritas, y relacionadas con errores instrumentales o con las condiciones de exposición. Fijémonos en que ninguna de las series presentaban cambios de

⁷ Los fabricantes de instrumentos científicos Edward Nairne (1726-1806) y Thomas Blunt (1760-1822) establecieron su empresa que en Londres, entre 1774 y 1793. A través de la misma, se produjeron y distribuyeron muchos instrumentos ópticos, matemáticos y meteorológicos (Museo di Firenze: <http://brunelleschi.imss.fi.it/museum/esim.asp?c=100444>).

tendencias, saltos en la serie y/o valores extraños. No obstante, sí que se hizo una conversión de las unidades de medida en Farrona et al. (2012). Así, se convirtieron las lecturas termométricas originales de grados Fahrenheit a grados Centígrados.

Barómetro

Los principales barómetros utilizados en la época preinstrumental se pueden englobar en estas cuatro categorías: el barómetro fijo-cisterna, el barómetro Fortin, el barómetro de sifón y el barómetro marino. Cada tipo de barómetro puede tener unos errores asociados de acuerdo a su estructura y funcionamiento (véase Camuffo et al., 2006; Brugnara et al., 2015). En concreto, el barómetro utilizado por Bento Sanches Dorta para registrar los valores de presión fue diseñado y construido por João Jacinto de Magalhães (1722 - 1790) en Londres (véase la Figura 6). Cabe mencionar que éste fue especialmente cuidadoso en el diseño de sus instrumentos (i) tratyó de prevenir en sus modelos la entrada de burbujas de aire en el tubo; (ii) proponiendo modelos de barómetro más precisos; (iii) intentyó mejorar y facilitar la portabilidad de los instrumentos (Malaquias, 2003). De forma específica, el modelo que usó el científico portugués tenía dos escalas, francesa e inglesa, aunque él utilizó la primera (Sanches Dorta, 1799, p. 346).

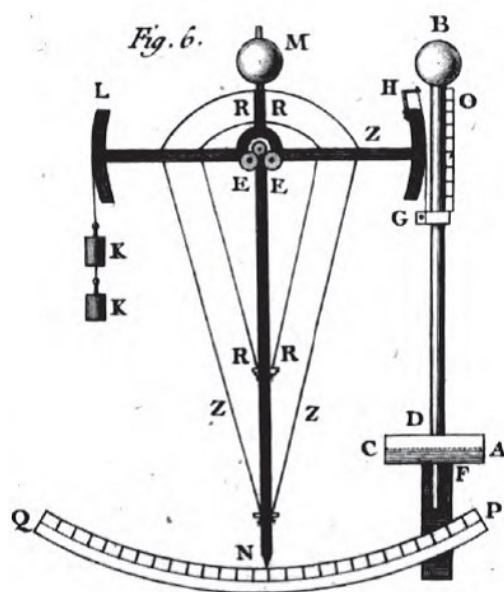


FIGURA 6 – BARÓMETRO UTILIZADO POR BENTO SANCHES DORTA (ROZIER, 1782)

También cabe destacar la importancia que tiene la conversión de las mismas a las unidades del sistema métrico. Así, las escalas de todos los barómetros utilizados con fines meteorológicos deben estar graduados en hPa (WMO, 2008). Las unidades más utilizadas a principio de siglo XIX (Brugnara et al., 2015) eran:

- Pulgada inglesa (25.40 mm). Unidad de longitud estándar en las regiones de habla inglesa, generalmente con resolución de centésimas de pulgada
- Pulgada francesa (27.07 mm). En el resto mundo, divididas en 12 “líneas”, que fueron a su vez divididos en 4 a 16 “puntos”.
- Otras pulgadas específicas:
 - Pulgada sueca, en Suecia (29.69 mm). Generalmente con resolución de centésimas de pulgada.
 - Pulgada de Viena en Austria (26.34 mm). Divididas en 12 “líneas”, que fueron a su vez divididos en 4 a 16 “puntos”.
 - Pulgada Rijnly, en Países Bajos (26.15 mm). Divididas en 12 “líneas”, que fueron a su vez divididos en 4 a 16 “puntos”.
 - Pulgadas castellanas, en España (23.22 mm). Divididos en 12 “líneas”, que fueron a su vez divididos en 4 a 16 “puntos”.

En el caso de las dos series analizadas y presentadas en esta tesis doctoral, tal y como puede comprobarse en Farrona et al. (2012; 2015) las lecturas barométricas fueron convertidas de sus unidades originales, pulgadas francesas y mmHg, respectivamente, a hPa, de acuerdo a las correspondientes fórmulas de conversión.

Independientemente del modelo del barómetro, existen una serie de correcciones que deben aplicarse de forma sistemática a todas las medidas registradas. En algunos casos, la capilaridad en el interior del tubo, la propia escala, o un mal mantenimiento, entre otros, pueden ser también fuentes de errores y de desviaciones significativas (véase en concreto Bergström y Moberg (2002), Camuffo et al. (2006) y WMO (2008)). Por lo general, nos encontramos que los registros presentes en las series preinstrumentales se corresponden con una lectura directa de las alturas del mercurio en el tubo del barómetro. No obstante, como sabemos, la presión atmosférica se ve afectada por una variedad de factores que deben corregirse para determinar el valor real. Entre estos errores, cabe destacar los provocados por la expansión térmica, la aceleración de la gravedad, la altura y los asociados a los diversos modelos de barómetros.

- Condiciones estándar: gravedad, temperatura y error de índice

La longitud de la columna de mercurio de un barómetro depende, además de la presión atmosférica, de la temperatura y la gravedad, lo cual habrá que tenerlo presente antes de dar la lectura barométrica final.

- Corrección por gravedad

Esta corrección se aplica con el fin de reducir las lecturas al valor estándar de la gravedad. Para ello, se hace uso de la siguiente ecuación, que refleja cómo la gravedad varía con la latitud:

$$h_n = \frac{h_0 \cdot g(\varphi, z)}{g_n},$$

$$g(\varphi, z) = g_{\varphi,0} - 3.86 \cdot 10^{-6} + 1.18 \cdot 10^{-6} z, \text{ y}$$

$$g_{\varphi,0} = g_n \cdot (1 - 2.64 \cdot 10^{-3} \cos 2\varphi + 5.8 \cdot 10^{-6} \cos^2 2\varphi),$$

donde φ es la latitud, z es la altura sobre el nivel del mar en el lugar de observación en metros, g_n es el valor de la gravedad en la Tierra (el usado es 9.81 m/s^2), h_0 es el valor de la presión en hPa, y h_n es el dato de presión corregido en hPa (Middleton, 1964).

- Corrección por temperatura

La densidad del mercurio en un barómetro varía en función de la temperatura. En consecuencia, para poder comparar diferentes registros de presión es necesario reducir dichas lecturas a una temperatura estándar. La temperatura asumida como estándar es de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ (WMO, 2008).

Para corregir las lecturas barométricas por las incertidumbres que cierto valor de temperatura puede introducir, la ecuación que debe aplicarse a los datos de presión ya corregidos por el efecto de la gravedad es:

$$C_t = \frac{H(\lambda - \alpha)}{1 + \alpha t},$$

donde α es el coeficiente de expansión volumétrica para el mercurio (el valor usado es $1.818 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), λ es el coeficiente de expansión lineal del latón (el valor usado es $0.184 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), t es la temperatura en $^\circ\text{C}$, H es el dato de presión (en hPa), y C_t es el dato de presión corregido y en hPa (Middleton, 1964).

- Reducción al nivel del mar

De la misma manera, es necesario corregir algunas lecturas barométricas, que dan los valores propios de las presiones de acuerdo con el nivel de la estación, a la presión media del Nivel del Mar (MSLP).

Para ello, se debe utilizar la ecuación:

$$P_o = \frac{P_n}{e^{-\frac{g \cdot z}{R_d \cdot T_o}}}$$

Donde, P_o es la presión reducida al nivel del mar (en hPa), P_n representa a la presión a determinada altitud (en hPa), z es la altura de la estación en m, g es el valor de la gravedad en la Tierra (el usado es 9.81 m/s^2), $R_d = 287.04 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ (la constante universal de los gases ideales) y T_o la temperatura en K.

- Corrección por error de índice

Hace referencia a los errores asociados al propio instrumento, como los de capilaridad, los de burbuja, los de la graduación de la propia escala y de cero, los introducidos en la lectura realizada por el propio observador,... Para poder corregir dichos errores con precisión, deberán compararse con un instrumento estándar. Por ello, en estos casos, tener conocimiento del instrumento utilizado tiene tanta importancia. Algunos ejemplos de la aplicación de estas correcciones, a modelos específicos, pueden verse en Camuffo et al. (2006) o Brugnara et al. (2015). Más información sobre diversidad de barómetros está disponible en Middleton (1964).

En la siguiente Tabla 8 se especifican las correcciones que se han aplicado en las series analizadas y presentadas en esta tesis doctoral.

		RÍO DE JANEIRO (FARRONA ET AL., 2012)	ANTISANA (FARRONA ET AL., 2015)
Corrección	Gravedad	Sí	Sí
	Temperatura	Sí	No (ya realizada por el observador)
	Reducción a nivel del mar	No (Error despreciable. Medidas al nivel del mar)	Sí
	Por error de índice	No	No

TABLA 8 – CORRECCIONES APLICADAS A LAS LECTURAS BAROMÉTRICAS EN FARRONA ET AL. (2012; 2015)

Pluviómetro

La guía WMO (2008) describe métodos y pautas para las mediciones de precipitación. A su vez, en ella se discuten los posibles errores y correcciones que se pueden y deben aplicar en los datos registrados. Para más detalle, se pueden consultar las monografías de la WMO (1982, 1984, 1986, 1994). En esta sección se presentará un breve resumen de todo ello, atendiendo, principalmente, a dicha bibliografía.

Cuyo se realizan mediciones de precipitación, se trata de obtener muestras representativas de lo que sería la cantidad caída de agua en una la zona específica. Para medir el valor exacto, es fundamental determinar la ubicación, la forma y exposición del pluviómetro; y evitar las pérdidas por evaporación, efectos del viento y salpicaduras. En cualquier caso, estas medidas de precipitación son especialmente sensibles a la exposición, el viento y la topografía. Los pluviómetros más comunes tienen forma cilíndrica con diferentes dimensiones según los países (WMO, 1989, 2008). En particular, se puede medir el volumen o el peso cuyo se trata de precipitación sólida.

Las faltas de homogeneidad en series de precipitación pueden venir causadas, principalmente, por errores sistemáticos introducidos en las lecturas de las medidas y cambios en las técnicas de observación, sobre todo en lo relativo a la modificaciones en la instrumentación utilizada, de su ubicación, calibración, exposición... Así, existen numerosas técnicas estadísticas que permiten eliminar las faltas de homogeneidad ajenas a los errores de instrumentación. Dado que las técnicas de ajuste basado en estadísticas pueden eliminar las faltas de homogeneidad en

relación con las mediciones de los indicadores de los alrededores, hay que, por otro lado, tratar de corregir las medidas de precipitación de los fallos inducidos por otros factores (WMO, 2008). Así, aparte de los errores que puedan introducirse en la medición del agua recogida en el pluviómetro, que son mínimos comparados con los errores debidos a la instalación del instrumento, existe una serie de errores sistemáticos que se deben considerar a la hora de tomar registros.

Normalmente, la cantidad de precipitación medida por estos instrumentos es un 30 por ciento inferior a la real, pudiendo variar según el tipo (nieve, nieve y lluvia mezclada y lluvia) y siendo más acentuada en el caso de las sólidas. Por ello, para realizar algún cálculo se debe, por un lado, conservar los archivos básicos que contengan los datos originales y, por otro, realizar el ajuste adecuado teniendo presente la posible pérdida. De esta manera, para obtener el valor real, se considerarán las siguientes fuentes de error:

- Error debido a la perturbación del campo del viento cercano a la boca del pluviómetro (k). Relacionado con la velocidad del viento y la estructura de la precipitación.
- Pérdida por mojaduras de las paredes interiores y del depósito al vaciarlo (ΔP_1 , ΔP_2). Relacionado con el número de ocasiones y/o de días de lluvia, así como con el tiempo de secado del instrumento y la frecuencia de vaciado del depósito.
- Pérdida por evaporación (ΔP_3). Dependerá del déficit de saturación y de la velocidad del viento y del tipo de precipitación.
- Exceso debido a la ventisca o el esparcimiento de nieve (ΔP_4). Debido a la velocidad de viento.
- Error debido a la entrada y salida de salpicaduras de agua (ΔP_5). Intensidad de la lluvia y de la velocidad del viento.
- Errores instrumentales.

Así, teniendo en cuenta lo anterior, el modelo general para la corrección de errores en precipitación viene dado por (WMO, 1994):

$$P_k = KP_c = k (P_g + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 \pm \Delta P_4 - \Delta P_5),$$

donde P_k es la cantidad de precipitación ajustado; k , el factor de corrección; P_c es la cantidad de precipitación captada por el colector del pluviómetro; P_g la cantidad de precipitación recogida en el pluviómetro; $P_1 - P_5$, hacen referencia a los errores indicados previamente.

Las correcciones se aplican a los totales diarios o mensuales o, en algunas prácticas, a eventos de precipitación individuales.

Por lo general, resulta muy complicado o casi imposible realizar este tipo de correcciones a las medidas tomadas en el período preinstrumental. Debe aquí tenerse en cuenta que se necesita una multitud de datos complementarios para hacer estos ajustes, de los cuales se carece en la mayor parte de las ocasiones (velocidad del viento en el orificio de calibre durante la precipitación, tamaño, la intensidad de la precipitación, la temperatura del aire y la humedad, y las características del pluviómetro). La precipitación sólida (también para la líquida), debido a la importancia que en concreto tiene la velocidad del viento, se debe tratar con especial cuidado (WMO, 1994; 1998). En concreto, para los trabajos presentados en esta tesis doctoral, no se posee dicha información. Es por ello por lo que estas correcciones no pudieron ser realizadas en las series presentadas en Farrona et al. (2012; 2014).

Por otro lado, es fundamental tener también en cuenta para tratar los registros de la época preinstrumental las unidades utilizadas para recoger los datos de precipitación. Así, durante la mayor parte del siglo XIX, la cantidad de agua caída se midió originalmente en unidades no métricas, encontrándonos diferencias incluso por regiones, aunque la más usada fue la francesa ("ligne de París"). Se trataban principalmente de pulgadas y líneas; en la mayoría de los casos. (Auer et al., 2005). En concreto, tal y como se puede apreciar en Farrona et al. (2012), la escala que usó el científico portugués para medir la cantidad de lluvia fue la pulgada francesa. Dichos registros han sido transformados en mm, de acuerdo a la equivalencia existente.

Cabe finalmente indicar que, en el análisis de observaciones de la época preinstrumental, en lugar o además de estudiarse la cantidad de precipitación, se examina el número de días de lluvia. Este procedimiento se realizó en Farrona et al. (2012), no siendo posible llevarlo a cabo en Farrona et al. (2015) ya que solo se tienen valores mensuales de la cantidad de precipitación anotada. En estos casos, el pluviómetro no se puede considerar fuente de incertidumbre, estyo los errores en cualquier caso asociados a los procesos de medición y observación.

2.4.5. Homogeneización

Como se ha comprobado en los apartados anteriores, los factores que pueden introducir las faltas de homogeneidades son múltiples. En consecuencia, la homogeneización de las mismas es de suma importancia para poder realizar un análisis fiable de la variabilidad real de las series climáticas. Eliminar los erróneos inherentes al ejercicio de la medida de la variable, es necesario para aislar la señal climática y establecer así conclusiones sobre sus cambios o tendencias

(Maugeri et al., 2002). Para alcanzar este fin, son varias las alternativas propuestas a día de hoy. Así, existe una extensa bibliografía al respecto⁸ (se pueden consultar algunas revisiones completas: Peterson et al., 1998, Aguilar et al., 2003 y Beaulieu et al., 2008).

La homogeneización de estas series lleva intrínseca la problemática que implica la escasa información disponible o que, por lo general, se suele conocer sobre las mismas. Es por ello por lo que, en muchas ocasiones, se requiere el uso de técnicas estadísticas complejas para encontrar las posibles discontinuidades existentes en las series, causadas por motivos diversos, como los que anteriormente se describieron (Barriendos, 2000). En vista de lo anterior, y tal y como Brunetti et al. (2006) exponen, los métodos de homogeneización pueden ser directos o indirectos:

- Directos. Se basan en el uso de los metadatos como fuente de información objetiva que describe la serie climática: proporcionan información directa sobre los posibles causantes de dichas heterogeneidades. Complementándolo con una serie de la misma región climática de referencia, una forma sencilla de detectar posibles faltas de homogeneidad es comparar ambas series visualmente (Jones et al., 1986; Slonosky, 1999). Como ya se ha señalado en varias ocasiones, por desgracia, esta información no siempre está disponible y/o completa. Además, desde un punto de vista numérico, puede resultar complicado cuantificar los factores de corrección recurriendo a esta información. A modo de ejemplo, Camuffo et al. (2006) utilizan este método. Así, tras un primer análisis de los datos, subdividen la serie en sub-intervalos homogéneos. Es con estos subintervalos con los que trabajan a posteriori para transformar el conjunto original de datos en una serie temporal homogénea fiable.
- Indirectos. Recurren a métodos estadísticos basados en la comparación con otras series. Así, tal y como Maugeri et al. (2002) proponen, el primer paso para la homogeneización de una serie de datos, recurriendo a métodos indirectos, es la construcción de una serie de referencia, que se puede calcular a través del cómputo del promedio de los datos obtenidos por aquellas estaciones que se encuentren lo más cercanas posible a la localización de la serie dada (véase Alexyer y Moberg (1996) y Cocheo y Camuffo (2002) para ello).

⁸ Puede consultarse una extensa bibliografía en: <http://www.homogenisation.org/References.php>

A día de hoy, existen numerosos test estadísticos para detectar inhomogeneidades. Estos métodos son los más adecuados para calcular los factores de corrección y eliminar así las discontinuidades existentes (Ducré-Robitaille et al., 2003). No obstante, presentan principalmente, dos limitaciones importantes. Por un lado, desde un punto de vista objetivo, no siempre resulta sencillo identificar dichas heterogeneidades ya que pueden confundirse y mezclarse la falta de homogeneidad con otros errores. Es decir, existe siempre una incertidumbre importante relacionada con el número de saltos o discontinuidades que presenta la serie. Por otro lado, diversos factores pueden condicionar la correlación entre las series de datos (los patrones regionales, la resolución temporal de los datos, etc.); pudiendo llegar a confundirse la posible discontinuidad con el ruido (Maugeri et al., 2002).

Cabe indicar que, en uno de los artículos adjuntos presentados, han sido utilizados los paquetes que el software R pone a disposición de los usuarios para el análisis de las posibles inhomogeneidades (RHTestV2, <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml>). En concreto, se aplicó en la serie de registros termométricos, tanto mensuales como diarios, anotada por Bento Sanches Dorta, entre 1781 y 1788 en Río de Janeiro, no detectándose ningún punto de ruptura (Farrona et al., 2012).

2.4.6. Comparación con el periodo moderno de referencia

Por último, un paso importante en el estudio de las series documentales del período preinstrumental es la comparación de las mismas con el periodo moderno de referencia, siguiendo así el mismo procedimiento que con el resto de registros proxy. De esta manera, se lleva a cabo una calibración adecuada de los datos. Para abordar este problema, se acepta como hipótesis que las series climatológicas deben ser homogéneas en relación a otras contemporáneas y climatológicamente semejantes. Es decir, se supone que lo que tienen en común un conjunto de registros climáticos de una región a lo largo del tiempo, es la huella que deja en ellos la señal climática (Conrad y Pollack, 1962).

Este procedimiento ha sido llevado a cabo en:

- Farrona et al. (2012), los registros de temperatura, presión y número de días de lluvias registrados por Bento Sanches Dorta (1781-88 en Río de Janeiro), son comparados con los del periodo moderno de referencia. Así, para el caso de los registros termométricos y de precipitación, estos han sido estudiados en relación con los registrados en la estación meteorológica Río de Janeiro, del Instituto Nacional de Meteorología en Brasil (INMET),

entre los años 1961-1990. En cuanto a las lecturas barométricas, fueron analizados mediante la comparación con los datos de presión obtenidos en la estación del Aeropuerto de Santos Dumont Airport (Río de Janeiro), en el período comprendido entre 1973 y 2010, con la excepción del intervalo temporal 1982-1996. Cabe mencionar que al realizar una comparativa entre los registros de presión recogidos por el científico portugués y los actuales, se observó que, en valor absoluto, los primeros eran inferiores a los del periodo moderno; no obstante, ambos seguían el mismo patrón. Para explicar este hecho, hay que tener en cuenta dos factores fundamentales: (i) la diferencia existente en el lugar en el que fueron registrados los datos; (ii) el uso de dos modelos de barómetro diferentes. Para ajustar los datos observados y solventar el error, se procedió a ajustar estos últimos por el método de ajuste de mínimos cuadrados (véase Farrona et al., 2012).

- De la misma manera, en Farrona et al. (2015), han sido comparados los datos observacionales de temperatura, presión y precipitación recopilados por Carlos Aguirre de Montufar en el volcán Antisana, desde diciembre de 1845 hasta diciembre del año siguiente, y los recopilados en Quito durante el mismo periodo de tiempo, con registros actuales tomados en i) estación La Mica (2000-2013), para el caso de la temperatura en Antisana; ii) estación La Mica (1995–2009) y Papallacta (1998-2003), con la cantidad de lluvia caída en Antisana, y el Observatorio de Quito (1881-1998), para el caso de los datos recogidos en Quito; iii) en cuanto a presiones, los datos recogidos en el siglo XIX son comparados con los del período moderno (1961-1991), registrados en la estación Quito Aeropuerto-DAC.

Este estudio comparativo nos permite a su vez conocer la variabilidad climática existente entre el período pasado y el actual, pudiendo de esta manera conocer y extraer conclusiones sobre las principales diferencias climáticas entre los diversos periodos.

2.4.7. Resumen

La Figura 7 resume e ilustra los pasos anteriormente descritos.

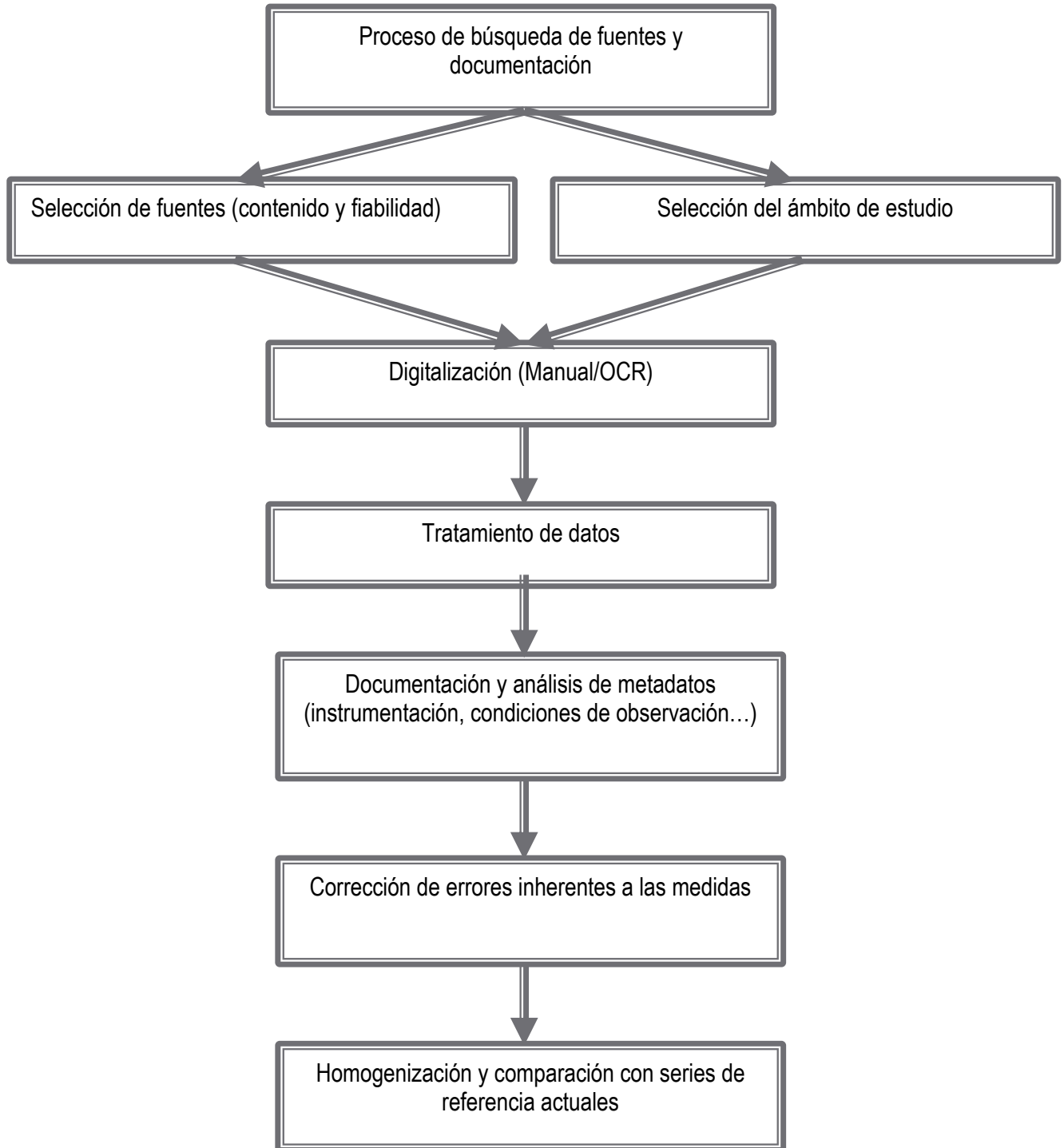


FIGURA 7 - RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO SEGUIDO PARA LA BÚSQUEDA Y ANÁLISIS DE SERIES PREINSTRUMENTALES

2.5. El estudio de eventos geofísicos poco frecuentes

Al analizar las fuentes de estudio, podemos encontrarnos con información de eventos extremos y/o poco frecuentes, con contenido descriptivo de relevancia meteorológica y geofísica. A día de hoy, dicha documentación adquiere gran relevancia en el campo de la climatología permitiendo crear una perspectiva a largo plazo de los eventos extremos y su variabilidad (Vaquero et al., 2008).

Por lo general, este tipo de fuentes, no cuantitativas y relativas a fenómenos poco frecuentes, aportan información de carácter descriptivo de relevancia sobre los eventos en cuestión, a partir de los cuales se puede determinar su fortaleza, intensidad... o incluso profundizar en la naturaleza de los mismos (Boteler, 2006; Domínguez-Castro et al., 2013). Así, a modo de ejemplo, Boteler (2006) indica cómo el análisis de documentos de este tipo, en este caso proveniente de recortes periodísticos, permite determinar la potencia de algunos eventos, que en dicho ejemplo se trataría de tormentas solares, y su anomalía, con respecto a otros eventos de la misma naturaleza, a través de la comparación con estos mismos.

El estudio y análisis de las fuentes objeto de estudio pasa por su transcripción literal. Así, éstas, por lo general, suelen reforzar o complementar a otras, más o menos coincidentes en el tiempo, aportando una descripción detallada. Ello implica la realización de una intensa y necesaria labor de búsqueda.

Este tipo de información suele estar presente entre las clasificadas como fuentes directas (Brázdil et al., 2010). Recordemos que éstas aportan descripciones del curso del tiempo y del clima en sí, dándose en muchas ocasiones cuenta del impacto que los fenómenos extremos tienen en la sociedad y la percepción que los propios individuos tienen acerca de los mismos. A su vez, con respecto a su origen, archivos tanto institucionales como provenientes de individuos específicos pueden contener, por lo general, información sobre eventos extremos y/o poco frecuentes. En consecuencia, es inmensa la cantidad de archivos documentales que pueden contener este tipo de testimonios.

Por lo general, resulta más sencillo encontrarse con estas fuentes cuyo nos centramos en un evento especial concreto. Así, muestran por ejemplo en Domínguez-Castro et al. (2013), en el que los autores evalúan los daños de la tormenta del 1724, basándose en documentos descriptivos. Otro ejemplo es el estudio realizado por la doctora, sobre la Tormenta Solar de Carrington, acontecida en agosto-septiembre de 1859 (Farrona et al., 2011). En el trabajo en cuestión se presenta un resumen de las publicaciones que fueron difundidas en algunos

periódicos españoles durante los meses de septiembre y octubre de 1859, y que revelan la intensidad del evento. En este caso concreto, el conocimiento previo del acontecer de la misma ha permitido a muchos investigadores buscar en un abanico de fuentes documentales delimitado, centrándose en un intervalo temporal específico (Boteler, 2006; Green et al., 2006; Farrona et al., 2011).

Por otro lado, podemos encontrar información de este tipo también en memorias individuales de científicos ilustrados, que en su interés por describir fenómenos meteorológicos recogían eventos poco frecuente y/o extremos que pudieran haber presenciado durante su periodo de observación. En este sentido, ejemplo de ello es uno de los artículos presentados por la doctora. Así, en Farrona y Vaquero (2012) se presenta la descripción pormenorizada de lo que se considera la primera observación de un rayo globular, observado y narrado el 19 de febrero de 1783 a las 19.40h, por Bento Sanches Dorta. La localización de estas fuentes es, sin embargo, más casuística y menos sencilla: en pocas ocasiones es posible encontrar contenido de este tipo apuntado a una búsqueda genérica.

En lo relativo al tratamiento de la información recopilada, dado que se trata de descripciones de eventos extremos, y no es factible su cuantificación, se debe prestar especial atención y hacer un análisis especialmente crítico de las fuentes (Brázdil et al., 2010). Un paso inicial de enorme importancia es conocer y/o determinar si se trata de descripciones contemporáneas del evento o son reproducciones de otros documentos. En el último caso, se puede llegar a generar una información y descripción de eventos bastante alejada de la realidad (Brázdil et al., 2010). Así, realizar un estudio objetivo y crítico de estos escritos es un paso esencial en este tipo de investigaciones.

Por último, señalar que resulta relevante también en estos casos cotejar la información sobre estos eventos con otras fuentes. Cabe indicar que si se tratan de eventos con consecuencias que puedan afectar a un ámbito geográfico amplio, lo lógico es que haya numerosos testimonios de dicho suceso. De esta forma, se podrá reconocer en mayor grado la veracidad de la información descrita, así como obtener una mejor estimación de la potencia de los eventos objetos de estudio (véase por ejemplo Chenoweth et al., (2004).

RESULTADOS

3.1. Breve resumen de los artículos aportados

Como en los apartados anteriores se evidenció, en las últimas décadas se han realizado multitud de esfuerzos por recuperar y analizar fuentes documentales de épocas pasadas con información de gran valía relativa al clima. Los resultados presentados en esta sección, artículos previamente publicados, se fundamentan en esta necesidad.

Para ello, se ha recurrido a los métodos de búsqueda, selección y análisis de fuentes presentados en el capítulo anterior. En concreto, en este apartado se presentan cuatro artículos, de los cuales:

- Dos son relativos a reconstrucción de clima en la época preinstrumental.
- Otros dos hacen referencia al estudio de dos eventos singulares acontecidos en los siglos XVIII y XIX.

En el anexo se adjuntan otros tres trabajos adicionales, una publicación y dos comunicaciones a congresos, que versan sobre búsqueda y presentación de series climáticas de la época preinstrumental en la península Ibérica y en Latinoamérica (en concreto, Brasil y Cuba). Estos resultados están enmarcados en proyectos de ámbito nacional e internacional, Salvá Sinobas y Emerla (actualmente en desarrollo), respectivamente.

3.2. Una descripción científica de un rayo globular visto en Brasil (Farrona y Vaquero, 2011)

En este trabajo se presenta la descripción pormenorizada de lo que se considera la primera observación de un rayo globular, aparecido y narrado el 19 de febrero de 1783 a las 19.40h, por Bento Sanches Dorta, astrónomo y geógrafo portugués del siglo XVIII (Farrona, 2011). Este fenómeno atmosférico natural y complejo atrae la atención de científicos, aunque a día de hoy su naturaleza y origen continúan siendo objeto de estudio (Dury y Wilson, 2006). De ahí la relevancia de informes de este tipo ya que, a través de los mismos, la comunidad científica obtiene una descripción más completa y objetiva del fenómeno (Barry, 1967).

Para la realización de este estudio, se ha realizado una búsqueda documental en los fondos bibliográficos portugueses. En concreto, encontramos dicha descripción en las Memorias de la Academia de las Ciencias de Lisboa (Sanches Dorta, 1797, p. 362), en las cuales Bento Sanches Dorta inmortalizó el intenso esfuerzo realizado durante 8 años, con sus continuas y sistemáticas observaciones meteorológicas y astronómicas. Atendiendo a la clasificación previamente realizada (ver sección 2.1.) sobre las fuentes, se trataría de una fuente individual, por contener la información en memorias, y directa.

El científico ilustrado presenta una minuciosa y precisa descripción sobre el evento, apoyándose en valores cuantitativos de variables meteorológicas. Cabe indicar que, tal y como indica en su descripción, ese día se produjo un cambio anómalo en el estado del cielo, la temperatura y el viento.

No cabe duda acerca de la veracidad de esta información. Se ha podido comprobar la calidad de los registros, observaciones y demás estudios de este científico portugués (véase Vaquero et al., 2005; Trigo et al., 2010; Farrona, 2011; Farrona et al., 2012). Independientemente, la descripción aportada por el mismo sobre este fenómeno específico coincide con las descripciones de otros rayos globulares descritos en informes y revistas especializados (ver Goodlett, 1937; Anon., 1961; Barry, 1974; Garfield, 1976; Dury y Wilson, 2006). Así, aunque es evidente que la percepción de este tipo de fenómenos depende totalmente de la subjetividad del observador y, por tanto, las descripciones aportadas por los testigos oculares deben ser estudiadas desde una perspectiva crítica y firme, no hay duda de la importancia que registros históricos de este tipo tienen para la comprensión y explicación del fenómeno.

natural moving or stationary airborne vortex with a fire burning inside.

References

- Beesley T.** 1873. The Newbottle whirlwind of Nov 30th 1872. *Symons' Mon. Meteorol. Mag.* **8**: 149.
- Blesson L.** 1832. Observations on the ignis fatuus, or will-with-the-wisp, falling stars, and thunderstorms. *Edinburgh New Philos. J.* **VIX**: 90.
- Campbell S.** 1982. Ball lightning at Crail-1968. *Weather* **37**: 75–78.

Coleman PF. 1993. An explanation of ball lightning? *Weather* **48**: 30.

Coleman PF. 2006a. A unified theory of ball lightning and unexplained atmospheric lights. *J. Sci. Explor.* **20**(2): 215–238.

Coleman PF. 2006b. Ball lightning seen in the 1783 Laki Vog. *Weather* **61**: 293–294.

Coleman PF. 2009. Solving ball lightning—a reply to Stephan and Massey. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* **71**(8–9): 1001–1002.

Ofuruton H, Ohtsuki YH, Kondo N, Kamogawa M, Kato M, Takahashi T. 1997. Nature of ball lightning in Japan. *Fifth International Symposium on Ball Lightning*, Tsugawa, Japan, 26–29 August, 1997.

Stephan KD, Bunnell J, Klier J, Komala-Noor L. 2011. Quantitative intensity and location measurements of an intense long-duration luminous object near Marfa, Texas. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* **73**: 1953–1958, doi: 10.1016/j.jastp.2011.06.002.

Correspondence to: Peter Coleman, Canterbury Physics and Astronomy Research, 75 Wychbury St, Christchurch, New Zealand
peter13857@hotmail.com

© Royal Meteorological Society, 2012

DOI: 10.1002/wea.853

An early scientific report of ball lightning from Brazil

**A. M. M. Farrona and
J. M. Vaquero**

Departamento de Física, Universidad de Extremadura, Badajoz, Spain

Introduction

Ball lightning (BL) is a curious and complex atmospheric phenomenon that for many generations has attracted the attention of people in general, and scientists in particular. There are many detailed observations of it and general agreement on many of its aspects, because the descriptions by different observers are highly consistent. It is normally reported as a quasi-spherical luminous globe with a diameter of 20–50cm (Stenhoff, 1999), although it has exhibited different shapes – some examples being oval, disc, cylindrical, toroidal and oval with a lower tail. It may remain stationary in mid-air with no material support for many seconds or move in irregular paths, often in a horizontal direction. It can create holes and trenches, pulsate, divide and recombine, and appear in fine weather (Singer, 1971; Charman, 1979). It often catches the attention of observers because of a uniform brightness over its surface.

Many explanations have been proposed for BL, but its nature and origins remain subjects of controversy. In the words of Durand and Wilson (2006), *the formation of BL has been observed so rarely that the exact cause(s) of [its] formation is almost unknown*. Some authors assume BL to be electrical in origin, while others argue for a non-electrical origin (Coleman, 2009). Chemical and electrical models have been discussed (Stenhoff, 1999). The older hypotheses considered it to be the result of an electrical discharge or some other electrically-related mechanism (Barry, 1967), the product of

chemical reactions (Dmitriev, 1969) or plasma in the absence of a continuing external energy source (Neugebauer, 1937). Later hypotheses have involved molecular ions (Smirnov, 1975) or other electrical or even nuclear theories (Hill and Sowby, 1970). One of the most recent ideas is that the nature of these events is the same as that of falling, burning, welder droplets (Stephan and Massey, 2008). Another suggestion is that BL is a vortex fireball resulting from combustion inside atmospheric vortices in the troposphere (Coleman, 2006). Singer (1971) and Stenhoff (1999) give summaries of the properties and diverse hypotheses of BL, and Durand and Wilson (2006) provide a brief description of other recent hypotheses.

There have been many reports of BL in a wide variety of scientific and non-scientific journals (see Goodlett, 1937; Anon., 1961; Barry, 1974; Garfield, 1976; Durand and Wilson, 2006). The importance of these reports lies in allowing a fuller and more objective description of the phenomenon to be formulated (Barry, 1967). In many of them, eyewitness accounts have been obtained by direct questioning, discussion at the scene of the event, or by asking the person to complete some form of questionnaire. We can get a good overall picture of the characteristics of BL from an analysis of the information contained in eyewitness reports (Charman, 1979). In this article, we recount the earliest known observation of BL in Rio de Janeiro (Brazil), on 19 February 1783, reported by Bento Sanches Dorta. A particularly fertile source of many BL reports worldwide around this time was the eruption of the Icelandic volcano Laki from June 1783 to 1784; Durand and Wilson (2006) link the BL or fireball events seen in Britain from 30 June to 31 August 1783 to this eruption, and an explanation of the con-

nection with volcanic eruptions is provided by Coleman (2006). However, the Brazilian BL event definitely predated the eruption.

Description of the 1783 ball lightning event

Bento Sanches Dorta was a Portuguese astronomer and geographer who made frequent geophysical, meteorological and astronomical observations in Rio de Janeiro between 1781 and 1788 (Vaquero *et al.*, 2005a; 2005b). For part of this time, he was very interested in recording unusual or extreme atmospheric phenomena and meteorological events (Trigo *et al.*, 2010; Farrona, 2010; A. M. M. Farrona *et al.*, 2012). He was aware of the importance and usefulness of meteorological data, ensuring that his BL report was published amongst the other meteorological and astronomical observations made in Rio de Janeiro during 1783 (Sanches Dorta, 1797). Figure 1 is a reproduction of that published record.

Sanches Dorta observed the BL during a thunderstorm. He saw a long-lasting (35 minutes) isolated fireball in the sky as he observed and recorded the rapid changes in the weather (including temperature and wind)¹ that day. The following is a translation of his comments on the phenomenon in his meteorological diary (Sanches Dorta, 1797, p. 362):

The 19th February [1783] dawned with a clear sky, a light N wind, and the thermometer marking 79°[F]. At 8 a.m., the wind veered to NW, and the temperature was 81°[F]. At midday, the wind shifted to SE, and the thermometer showed 85°[F]. At 2 p.m., the sky began to be overcast, the

¹It is important to note that the barometer did not arrive in Brazil, from Europe, until February 1784, so Sanches Dorta did not include any pressure readings in his account.

MEMORIAS
DA
ACADEMIA REAL
DAS SCIENCIAS
DE LISBOA.

Nisi visse est quod facimus, fuita est gloria.

TOM O L
DESDE 1780 ATÉ 1788.



LISBOA:
NA TYPOGRAFIA DA ACADEMIA,
1797.
Com licença de S. Magestade.

O dia 19 de Fevereiro amanheceu bem claro, afluindo levemente N, e o Thermometro mostrando 79° de calor. As 8^h da manhã mudou-se o vento para N. O., e o calor subiu a 81°; ao meio dia fez o vento mudança para S. E., e o Thermometro indicava 85¹/₂; ás 2^h da tarde começou o Ceo a encobrir-se, o calor subiu a 86°, e o vento tornou a mudar-se para S. O.; ás 4^h da tarde effava o Ceo inteiramente coberto, ouvirão-se trovões ao longe, e o ca-

DAS SCIENCIAS DE LISBOA. 363
o calor diminuiu a 84°, e conservou-se neste estado até a noite; ás 7^h o Ceo effava summamente obscurecido, e relampejava em sete lugares desde o N. até ao S. pelo quadrante de N. O., de maneira que parecia hum continuo relampago (aqui tenho visto este fenomeno mais vezes); ás 7^h 10' começou apparecer da parte de Leste, hum luz affogucada, e augmentando-se tanto em grandeza, como em inflamação chegou a formar, ás 7^h 40', hum globo de fogo, que teria com pouca differença 4 grãos de diametro, e estaria affimo do horizonte 30°. Desta forma conservou-se immovel pelo espaço de 15', e principiou-se a desfazer pouco a pouco de forte que ás 8 horas, e 15 minutos inteiramente effava dissipada toda a luz; mas ao passo que se desfazia, ouvirão-se trovões de mais perto; e pelas 9^h trovejou rijamente em cima desta Cidade; e começou a chover com abundancia; e continuou até ás 11^h 30', tempo em que tudo cessou. Em todo este intervalo de tempo sempre se conservou o Thermometro na altura de 84°. A quantidade d'agua que choveo foi de 7 linhas.

Figure 1. A reproduction of the published record in the first volume of the *Memories of the Royal Academy of Sciences of Lisbon*, written by Bento Sanches Dorta.

temperature rose to 86°[F], and the wind was from the SW. At 4 p.m., the sky was entirely overcast, thunder was heard in the distance, and the temperature fell to 84°[F]. This state was maintained until nightfall. At 7 p.m., the sky was very dark and there was lightning in seven places from N to S through the NW quadrant, in a form that appeared to be continuous lightning (I have seen this phenomenon here at other times). At 7:10 p.m., there began to appear towards the E a reddish light which increased in both size and brightness to form, at 7:40 p.m., a ball of fire that was roughly 4° in diameter and 30° above the horizon. It remained thus and motionless for 15 minutes, and then started to dissipate slowly so that by 8:15 p.m. it had entirely disappeared. While it was dissipating, thunder was heard closer by, and at about 9:00 p.m. it thundered very strongly over the city and started to rain hard until 11:30 p.m. when the storm stopped. The temperature remained constant at 84°[F] throughout this interval of time. The amount of rainfall was 7 lines.²

Discussion and conclusion

In common with the bulk (~90%) of ball lightning reports (Charman, 1979), this BL event appears to have been associated with thunderstorm activity, and is similar to many much more recent observations (see Stephan *et al.*, 2011). Sanches Dorta made no reference to a 'crackling' sound that is often described as accompanying such events, perhaps because he was too far away to hear it. According to the report, the BL had constant brightness for 15 minutes, then

²The scale that Sanches used to measure the quantity of rain and evaporated water was French inches, in which ten lines were equivalent to one inch (Sanches Dorta, 1812, p. 75).

gradually dissipated. Some reports of BL comment on damage caused by the object, and these descriptions have sometimes been used to derive estimates of its energy content (Altschuler *et al.*, 1970; Wittmann, 1971). No damage was noted in this event.

It is evident that the nature of BL remains enigmatic. The composite picture of BL is entirely dependent upon the reliability of the subjective reports of observers of events, but even in modern eyewitness reports of BL one sometimes finds confusion; eyewitness descriptions need to be followed up promptly and vigorously. Nevertheless, there is no question about the important role played by historical records, such as this one, in helping to understand and explain the phenomenon.

Acknowledgement

Support from the Junta de Extremadura, Spain's Science and Innovation Ministry (AYA2008-04864/AYA and AYA2011-25945), and Spain's Environment Ministry, project Salvà-Sinobas (reference number 200800050083542) is gratefully acknowledged.

References

- Altschuler MD, House LL, Hildner E. 1970. Is ball lightning a nuclear phenomenon? *Nature* **228**: 545.
- Anon. 1961. Ball lightning bibliography 1950–1960. *Library of Congress, Science and Technology Division*, Washington, DC.
- Barry JD. 1967. Ball lightning. *J. Atmos. Terr. Phys.* **29**: 1095–1101.
- Barry JD. 1974. *A Comprehensive Bibliography of Ball Lightning Reports*. Air Force Avionics Laboratories, A.F.S.C., Wright Patterson AFB: Ohio, OH.
- Charman W. 1979. Ball lightning. *Phys. Rep.* **54**: 261–306.
- Coleman P. 2006. A unified theory of ball lightning and unexplained lights. *J. Sci. Exp.* **20**: 215–238.
- Coleman P. 2009. Solving ball lightning – a reply to Stephan and Massey (2008). *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* **71**: 1001–1002.
- Dmitriev MT. 1969. Stability mechanism for ball lightning. *Sov. Phys. Tech. Phys.* **14**: 284–289.
- Durand M, Wilson J. 2006. Ball lightning and fireballs during volcanic air pollution. *Weather* **6**: 40–43.
- Farrona AMM. 2010. The meteorological observations of Bento Sanches Dorta: Brazil, 1781–1788. Master's Thesis. Universidad de Extremadura: Badajoz, Spain.
- Farrona AMM, Trigo RM, Gallego MC, Vaquero JM. 2012. The meteorological observations of Bento Sanches Dorta, Brazil: 1781–1788. *Clim. Change* (in press).
- Garfield E. 1976. When citation analysis strikes ball-lightning. *Curr. Comments* **20**: 5–16.
- Goodlett BL. 1937. Ball and bead lightning. *J. Inst. Elect. Eng.* **81**: 1–56.
- Hill CR, Sowby FD. 1970. Radiation from ball lightning. *Nature* **228**: 545–547.
- Neugebauer T. 1937. On the problem of ball lightning. *Zschr Phys.* **106**: 474–484.
- Sanches Dorta B. 1797. Observações Meteorológicas feitas na Cidade do Rio de Janeiro. *Mem. Math. Phys. Acad. R. Sci. Lisb.* **1**: 362–363.
- Sanches Dorta B. 1812. Observações Astronomicas, e Meteorologicas feitas na Cidade do Rio de Janeiro no anno de 1786 por Bento Sanches Dorta. *Mems. Math. Phys. Acad. R. Sci. Lisb.* **3**: 68–107.
- Singer S. 1971. *The Nature of Ball Lightning*. Plenum Press: New York, NY.
- Smirnov BM. 1975. Analysis of the nature of ball lightning. *Sov. Phys. Usp.* **18**: 636–640.
- Stenhoff M. 1999. *Ball Lightning – An Unsolved Problem in Atmospheric Physics*. Kluwer Stott, Academic Publisher: New York, NY.
- Stephan KD, Massey N. 2008. Burning molten metallic sphere: one class of ball lightning? *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* **70**: 1589–1596.
- Stephan KD, Bunnell J, Klier J, Komala-Noor L. 2011. Quantitative intensity and location measurements of an intense long-duration luminous object near Marfa, Texas. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* **73**: 1953–1958.
- Trigo RM, Vaquero JM, Stothers RB. 2010. Witnessing the impact of the 1783–1784. Laki eruption in the Southern hemisphere. *Clim. Change* **99**: 535–546.
- Vaquero JM, Trigo RM, Gallego MC. 2005a. A 'lost' sunspot observation in 1785. *Astron. Nach.* **326**: 112–114.
- Vaquero JM, Trigo RM. 2005b. Results of the Rio de Janeiro magnetic observations 1781–1788. *Ann. Geophys.* **23**: 1881–1887.
- Wittmann L. 1971. In support of a physical explanation of ball lightning. *Nature* **232**: 625.

Correspondence to: A. M. M. Farrona
ammf227@gmail.com

© Royal Meteorological Society, 2012

DOI: 10.1002/wea.1885

3.3. Fuentes documentales españolas testigo del gran evento especial del 1859 (Farrona et al., 2011)

En este trabajo se presentan relatos recogidos en fuentes periodísticas españolas que revelan la intensidad de la Tormenta Solar de Carrington, acontecida entre el 28 de agosto de 1859 y el 1 ó 2 de septiembre, considerada una de las tormentas solares más importantes registradas en la historia y el primer evento del clima espacial reconocido.

La magnitud de la tormenta fue tal que sus consecuencias, tanto eléctricas, provocó el fallo de los sistemas de telégrafo en todo Europa y América del Norte, como visuales, fueron observadas auroras boreales en muchas partes del mundo, lograron atraer la atención no solo de científicos, si no del público en general. Así queda demostrado en la multitud de testimonios escritos, de diferentes partes del mundo, que se pueden encontrar sobre el fenómeno (ver Humble, 2006; Cliver, 2006; Farrona et al., 2011).

Así, en el trabajo en cuestión se presenta un resumen de las publicaciones que fueron difundidas en algunos periódicos españoles durante los meses de septiembre y octubre de 1859. Para ello, se realizó una búsqueda intensa en hemerotecas de información de esa época. En los periódicos, estaban presentes reseñas más o menos extensas describiendo este evento espacial inusual y extremo, tal y como muchos lo percibieron, a través de las observaciones de auroras boreales, y sus efectos sobre el telégrafo. En total, fueron encontrados 10 documentos relativos a diversas zonas geográficas del país. Se trata, por tanto, de fuentes individuales y directas. Aunque es evidente que la subjetividad del autor puede impregnar estos relatos, por el propio carácter de opinión de estos medios, en este caso, dada la reconocida magnitud del evento y el carácter descriptivo de las referencias encontradas, no se duda de su veracidad.

Cabe resaltar la importancia que tiene recopilar estas fuentes para el estudio, análisis y comprensión de este tipo de eventos. Así, en este caso específico, sirve para corroborar la importancia del *evento Carrington*, siendo ésta tal que se llegó a observar en la Península Ibérica. A su vez, brinda la oportunidad a los climatólogos de ampliar su conocimiento sobre la percepción que la sociedad en general poseía sobre este tipo de eventos, así como la sorpresa y admiración que causó entre los que lo observaron.

Es importante señalar que en dicho estudio se calculó la variación de la declinación geomagnética en España durante los últimos siglos, con el fin de evaluar las condiciones de visibilidad de las auroras desde España. De dicho cálculo se desprende que resulta realmente

inusual contemplar auroras a esa latitud, poniendo de esta forma de nuevo de manifiesto la magnitud del fenómeno acontecido, y corrobora así la información reflejada en los relatos recuperados.

SPANISH EYEWITNESS ACCOUNTS OF THE GREAT SPACE WEATHER EVENT OF 1859

A M M FARRONA^{1,2}, M C GALLEGO¹, J M VAQUERO^{3,4},
F DOMÍNGUEZ-CASTRO¹

¹Facultad de Ciencias, Departamento de Física, Universidad de Extremadura,
Badajoz, Spain, e-mail: ammf227@gmail.com

²Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica II, Universidad
Complutense de Madrid, Spain

³Departamento de Física, Centro Universitario de Mérida, Universidad
de Extremadura, Mérida, Spain

⁴CGUL-IDL, Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

[Manuscript received February 2, 2011; accepted March 30, 2011]

Exceptional geomagnetic storms were observed in late August and early September 1859. Auroras were observed around the world, and telegraph wires were damaged. Until now, there has been no evidence published of auroral observations in Spain during this famous space weather event. This paper presents Spanish observations that show the aspect of this great aurora from Spain, and the concurrent effects on European telegraph wires. We also computed the variation of the geomagnetic declination in Spain during recent centuries to put these records into context.

Keywords: aurora borealis; geomagnetic latitude; geomagnetic-storm; space weather event; Spanish observations

1. Introduction

The auroras represent one of the most fascinating of natural phenomena. To early observers, and well into the 20th century, the aurora (the “Northern Lights”) was a great mystery. Nevertheless evidence for a solar and geomagnetic connection with these natural lights was already recognized in the 18th century. Auroras are today considered to result from the complex transit of charged particles from active areas in the Sun through the atmosphere (Eather 1980, Akasofu 2007). In particular, solar storms cause auroral displays when they hit Earth. Throughout history, very many of these space weather events have been recorded (Vaquero and Vázquez 2009). It is generally considered that the September 1859 solar-terrestrial disturbance, the first recognized space weather event, was the greatest and one of the most famous in the history of physics. The Colaba magnetic station (near Bombay, India) recorded an approximate decrease of -1600 nT in the horizontal component of the geomagnetic field (Tsurutani et al. 2003). Recently, another low-latitude geomagnetic record has been recovered from Guatemala showing a large deviation

(18') of the geomagnetic declination probably associated with the second phase of Carrington's storm (Ribeiro et al. 2011). This solar storm was notable both for its association with the first recorded solar flare and for its size. The associated solar flare was observed in white light by R C Carrington (1859) and R Hodgson (1860). See Cliver (2006) for a historical review.

The English astronomer Richard C Carrington was the first person to observe a solar flare on 1 September 1859. While he was making his daily sunspot drawing, for five minutes he could see a white light coming from one of the sunspots (Carrington 1859). Fortunately, Carrington's observation was confirmed by Hodgson, an English amateur astronomer observing nearby. A day later, auroras were widely seen, with reports from many places across the world, and described as spectacular. These geophysical phenomena were observed even at very low latitudes where visual auroras are rare. Carrington compared his observations with the magnetic records from Kew Observatory (London). In this way, he was able to notice that a short-lived magnetic disturbance occurred at the time of the flare. And indeed, a geomagnetic storm began 18 hours later. These events may be considered the beginning of the contemporary study of direct solar-terrestrial relationships (Clark 2007).

It is known today that the "Carrington Storm" was possibly the largest space storm to have occurred in the last 150 years (Cliver and Svalgaard 2004). Auroras were visible in several parts of the world, and the geomagnetic disturbance and its associated effects on telegraph wires caused interruptions of all telegraph and electrical systems in Europe and North America. Indeed, it became impossible to transmit information (Boteler 2006).

Newspapers from many parts of the world, principally in Europe, North America, Australia (Humble 2006), Russia (Veselovsky et al. 2009) and contemporary log-books (Cliver 2006) reported the geophysical phenomena related to the Carrington events. Nevertheless, until now, Spanish observations of these events have remained unknown. The present communication provides a summary of Spanish observations that were published in some Spanish newspapers in September and October 1859. They give a picture of how the "Northern Lights" were seen in this European country.

Northern Lights had been observed from the Iberian Peninsula in the past. Specifically, recent work has shown that auroras were observed systematically in Lisbon in the late 18th century (Vaquero and Trigo 2005) and Barcelona during the period 1780–1825 (Vaquero et al. 2010). Other studies too have described some unsystematic auroral observations from Spain: a historical catalogue of auroral observations from Spain was published by Rico Sinobas in 1855, and analyzed by Vaquero et al. (2003), and there have been other papers giving details of historical events (Vaquero et al. 2007, Vaquero et al. 2008).

2. Auroral observations from Spain

Carrington's storm began on 28 and 29 August 1859. It led to two auroral events that covered the globe for hours on 28 August and 2 September 1859 (Green et al. 2006). Several reports of the auroras and their effects on telegraphs were published, describing the effects of the solar storm at the end of August and in early September. Scientifically, these events furnished facts of importance. In many ways, it was a perfect storm, and prompted interest in solar astrophysics and the development of solar-terrestrial physics studies (Vaquero and Vázquez 2009). Newspaper reports of the great aurora provide first-hand observations and reflections on the effects of this solar phenomenon on Earth (Odenwald 2007). Journalists in the United States, Panama, Australia, Tasmania, England, Belgium, France, etc. wrote reports about this global event, all of which constitute invaluable observations. They describe both the beautiful nature of those great auroras and their effects on the telegraph system — the disruption left telegraph operators with useless lines (Green et al. 2006). For this reason, the storm provided the world of that time with a dramatic demonstration of the impact of space weather on technology.

Contemporary Spanish news reports of the great event, both auroral observations and telegraph effects, are given in the Appendix. They were retrieved from the Spanish Virtual Library of Historic Newspapers (<http://prensahistorica.mcu.es/>) and from the digital newspaper archive of the Spanish National Library (<http://www.bne.es/>). There are ten reports that were written for local and metropolitan newspapers in Spain. They include descriptions of the brilliant and variable auroral forms of the event (see Texts 1, 2, 3, and 7 in the Appendix) published in newspapers of various Spanish cities on 28 and 29 August and 1 and 2 September 1859 (Fig. 1). Some of them refer to European telegraph lines that were adversely affected (see Texts 6, 8, 9, and 10). The Appendix gives the complete reference for all these news items: the name of the newspaper in which the reports were published, the date, and the place of publication. One observes that the same news item was often published in several different newspapers, and not always on the same day. Reading the reports, one has an idea of the astonishment and admiration that Spaniards felt in seeing these auroral events (see Text 1). It was so international huge scope phenomenon, that even days after it happened, its effects became to link with another kinds of events. For example, as we can read the Text 10, the authority connects the immobility of the hands of the Evreux cathedral clock with the auroral effects. All this available literature also allows one to determine some of the characteristics of the magnetic disturbances in Spain, and the reports contain information about the places and times of the effects on the telegraph in some European cities.

In general, the journalists just wrote brief reviews and descriptions of the event (Texts 4 and 5). According to the reports, the unusually bright and variable auroral forms of this great storm were observed on a serene, quiet, and very dark night (Text 7). They noted that the sky took on a blood-red appearance: “on our horizon a magnificent aurora borealis, which presented a long strip of fire running from west to east” (Text 1). A characteristic peculiar to the auroral descriptions was the



Fig. 1. Map of the Iberian Peninsula showing the different places cited in the text

purple colour (Text 7). It is important to mention that several reports described the effects of the auroras on society: people contemplated the strange phenomenon with fascination (e.g., Text 1), and telegraph communications were greatly affected. Indeed, the effect on the telegraph system made communication impossible among European telegraph stations. At the same time as the auroras were seen, the telegraph wires were interrupted by an unusual electricity overload (Texts 6, 8, 9, and 10). In all cases, the media linked these visual and electromagnetic phenomena. As one reads in Text 8: “the aurora borealis that was seen there on 28 August produced the oddest phenomena of electricity and magnetism, especially in the railways and telegraph wires”. It at first sight might appear strange that no effects on Spanish telegraph lines were cited in these reports. Nevertheless, it is important to note that in 1859 the Spanish telegraph network was still very underdeveloped (e.g. Segundo Montesinos 1856).

3. Variation of geomagnetic latitude

In order to evaluate the visibility conditions of auroras from Spain, we computed the magnetic latitudes of a place of geographical co-ordinates 40°N and 4°W (approximately in the centre of the Iberian Peninsula) during the period 1600–2000. Assuming a bipolar configuration for the geomagnetic field, the geomagnetic latitude, φ , is given by the following expression:

$$\tan \varphi = (\tan I)/2, \quad (1)$$

where I is the magnetic inclination. This parameter was taken from a model of the temporal variation of the geomagnetic field — the geomagnetic model *gufm1*

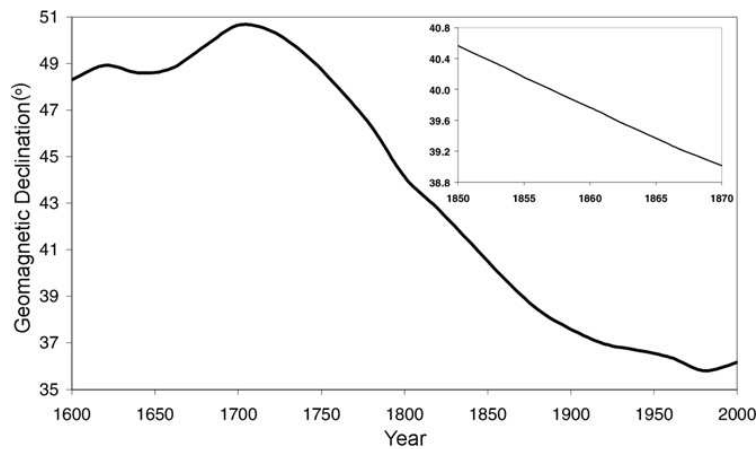


Fig. 2. Variation of the geomagnetic latitude of a place of geographical co-ordinates 40°N and 4°W for the period 1600–2000

(Jackson et al. 2000). The result is shown in Fig. 2. The geomagnetic latitude of the Iberian peninsula reached its maximum value (50° approximately) in about the year 1700. It subsequently declined gradually to approximately 36° in about 1980. In the epoch of Carrington's storm, the geomagnetic latitude of the Iberian peninsula was approximately 40° . Auroras are infrequent at this latitude.

4. Conclusions

Reports corresponding to several parts of the world have presented and analyzed many of the scientific observations of the extent of the auroras of the Carrington solar storm of 1859. The effects of this great storm were observed even at low latitudes, lower than had previously been reported, such as Rome, Havana, and Hawaii, among others. Nevertheless, there was no record of the observation of the phenomenon from Spain. We have therefore here summarized the Spanish observations of geophysical phenomena related to the Carrington solar storm. Auroras were seen in Seville, Granada, Tortosa, Madrid, and some other northern and western cities. We estimated a value of 40° for the geomagnetic latitude of a place located approximately in the centre of the Iberian Peninsula. The effects on some European telegraph systems were reported in several Spanish newspapers. In short, we have presented first-hand information on this great storm from Spain. This event constituted the opening of the new area of Sun-Earth studies.

Acknowledgements

This work was partially supported by the Ministerio de Ciencia e Innovación of the Spanish Government (AYA2008-04864/AYA).

Appendix

This Appendix reproduces texts describing the effect of the great geomagnetic storm of 1859 from Spanish newspapers. The texts are numbered, and the exact reference (with the name of the newspaper in italics and the publication date) is given at the end of each.

1. Aurora borealis. From eleven thirty to one thirty in the night of Sunday, there glowed on the horizon a magnificent aurora borealis, which presented a long strip of fire running from west to east. The rarity of these events in our zone means that whenever they occur they cause the admiration of everyone who sees them. Since 1848, no other aurora had been observed in Madrid (*La España*, 30 August 1859; *Iberia*, 31 August 1859; *El Clamor Público*, 31 August 1859).
2. Last night there was seen in Madrid a magnificent brilliant aurora borealis which, extending like an immense gauze of fire from north to northwest, occupied a large part of our horizon (*La Época*, 30 August 1859).
3. Aurora borealis: “On Sunday night, at twelve o’clock, this most curious phenomenon showed itself in the north, with the sky first taking a very deep red colour, whose hues very gradually lightened until their complete disappearance. We shall wait to see what the astronomical observatories of Madrid and San Fernando tell us, as they may be regarded as authorities on the subject” (*Diario de Córdoba*, 1 September 1859).
4. On Sunday night, and at the same time as in Madrid, an aurora borealis was seen on the horizon from Seville (*La España*, 2 September 1859).
5. The aurora borealis which we reported to have been seen perfectly in Madrid some days ago, also showed itself in Granada and other [provincial] capitals (*La Época*, 5 September 1859).
6. Aurora borealis: “The aurora borealis that was seen in Madrid, or, rather, in all of Spain on the night of Sunday to Monday of last week was striking throughout Europe, judging by the news coming from Paris, London, and several other capitals. The Journal of Brussels (“Diario de Bruselas”) has noted that on that same day there were various curious global physical phenomena noted. At noon on Sunday, the magnetic needle began to undergo violent movements, and telegraph lines in Ostende, Antwerp, London, Paris, and Berlin, and even the submarine cable between Ostend and Donore showed perceptible signs of an evident relationship with the sudden phenomenon during the time of its appearance” (*El Clamor Público*, 6 September 1859).
7. On the aurora borealis that we have spoken about before, *El Eco del Pais*, a newspaper in Tortosa says: On the night of Sunday at around midnight, we saw suddenly form on our horizon a broad strip of red light that contrasted

dramatically with some whimsical groups of clouds that were gradually gathering above [the light]. The picture was magnificent, amazing. The night was serene, quiet, and very dark, a circumstance which made the phenomenon appear much brighter than it was in reality. Through that kind of fiery background bordered by phantasmagorical black clouds, one distinguished, a little weakened, the light of thousands of stars whose scintillations seemed tinged with purple. After three minutes, the strip began to spread out and was transformed into a wide curve that extended from N to S. Its original colour then began to weaken, and at ten minutes had entirely vanished, to be replaced by the ordinary broad blue background (*La Discusión*, 6 September 1859).

8. According to Belgian newspapers, the aurora borealis that was seen there on 28 August produced the oddest phenomena of electricity and magnetism, especially in the railways and telegraph wires (*La Correspondencia Autógrafo*, 13 September 1859; *Diario de Menorca*, 20 September 1859).
9. The aurora borealis that, at the end of August, appeared so bright in the north of Europe displayed its magnificence in North America, and exerted the same influence on electrical wires as in Europe. There is a communication about this question dated 29 August from Montreal to the United States Mail [“el Correo de los Estados Unidos”] as follows: The aurora borealis of Sunday, visible throughout this part of Canada and in the U.S. states of New England, was the most beautiful which has been seen in the last twenty years. Its effect on telegraph wires is of the most singular. There was great difficulty in transmitting from eight in the evening until one in the morning o’clock 400 words and a report of the Indian envoy from Point-aux-Peres to Montreal. An hour after midnight this task had become so laborious that it was necessary to give up and close the offices of the different stations. The aurora borealis caused temperatures to fall significantly in the north of the United States. In Bridgeport [“Bridge Port”], among other places, they were surprised to wake up on Monday morning and see that there had been a freeze overnight. The aurora borealis also had the effect of communicating to the sky an exceeding clarity (*La Correspondencia Autógrafo*, 22 September 1859; *El Clamor Público*, 24 September 1859; *La Esperanza*, 27 September 1859; *La España*, 28 September 1859).
10. As I was told . . . Le Courier de l’Eure gives the following news item: It has now been a few days that the clock of Evreux cathedral has presented the spectacle of a particular phenomenon. The machinery continues to operate, the bells ring as usual, but the hands remain stubbornly fixed at twenty past twelve. The immobility of the hands of the cathedral clock is, according to authoritative opinion, the result of a kind of magnetic paralysis caused by the aurora borealis that was observed at the end of August, and which caused such curious alterations in the operation of the electric telegraph apparatuses. We leave this explanation to the judgement of science (*La España*, 13 October 1859; *La Discusión*, 14 October 1859).

References

- Akasofu S 2007: Exploring the Secrets of the Aurora. Springer, New York
- Boteler D H 2006: *Adv. Space Res.*, 38, 159–172.
- Carrington R 1859: *Monthly Notices Royal Astr. Soc.*, 20, 13–15.
- Clark S 2007: The Sun Kings. The Unexpected Tragedy of Richard Carrington and the Tale of How Modern Astronomy Began. Princeton University Press, Princeton and Oxford
- Cliver E W 2006: *Adv. Space Res.*, 38, 119–129.
- Cliver E W, Svalgaard L 2004: *Solar Phys.*, 224, 407–422.
- Eather R 1980: Majestic Lights; the aurora in science, history and arts. Am. Geophys. Union, Washington
- Green J L, Boardsen S, Odenwald S, Humble J, Pazamickas K1A 2006: *Adv. Space Res.*, 38, 145–154.
- Hodgson R 1860: *Monthly Notices of the Royal Astr. Soc.*, 20, 15–16.
- Humble J E 2006: *Adv. Space Res.*, 38, 155–158.
- Jackson A, Jonkers A, Walker M 2000: *Philos. Trans. Roy. Soc. Lond.*, A 358, 957.
- Odenwald S 2007: *Space Weather*, 5, S11005.
- Ribeiro P, Vaquero J M, Trigo R M 2011: *J. Atm. Solar-Terrestrial Phys.*, 73, 308–315.
- Segundo Montesinos C 1856: Memoria sobre el estado de las Obras Públicas en España en 1856. Imprenta Nacional, Madrid
- Tsurutani B, Gonzalez W, Lakhina G, Alex S 2003: *J. Geophys. Res.*, 108(A7), 1268.
- Vaquero J M, Trigo R M 2005: *Solar Phys.*, 231, 157–166.
- Vaquero J M, Vázquez M 2009: The Sun Recorded Through History. Springer, New York
- Vaquero J M, Gallego M C, García J A 2003: *J. Atm. Solar-Terrestrial Phys.*, 65, 677–682.
- Vaquero J M, Trigo R M, Gallego M C 2007: *Earth, Planets Space*, 59, 49–51.
- Vaquero J M, Valente M A, Trigo R M, Ribeiro P, Gallego M C 2008: *J. Geophys. Res.*, 113, A08230.
- Vaquero J M, Gallego M C, Barriendos M, Rama E, Sanchez-Lorenzo A 2010: *Adv. Space Res.*, 45, 1388–1392.
- Veselovsky I S, Mursula K, Ptitsyna N G, Tyasto M I, Yakovchouk O S 2009: *Geomagn. Aeronomy*, 49, 163–168.

3.4. Observaciones meteorológicas de Bento Sanches Dorta. Brasil: 1781- 1788

(Farrona et al., 2013)

El objetivo de este artículo es describir el clima en Río de Janeiro desde 1781 hasta 1788, haciendo uso para ello de las observaciones meteorológicas publicadas por Bento Sanches Dorta en diferentes tomos de las Memorias de la Academia de las Ciencias portuguesa (fuente documental individual y directa registrada a finales del siglo XVIII). Para el estudio, se realizó una búsqueda sistemática en los archivos históricos de dicha Academia, siguiendo tras ello con la digitalización manual de los registros recopilados y, por último, con el estudio de las observaciones, tal y como en la sección anterior, dedicada a explicar los aspectos metodológicos, se expuso.

Cabe indicar que, afortunadamente, este científico ilustrado indicó en sus memorias una descripción detallada de los instrumentos utilizados, la ubicación de los mismos y los métodos de observación. En consecuencia, para el tratamiento de los datos registrados se poseía un rico conjunto de metadatos, que facilita su análisis y aporta mayor fiabilidad al contraste de las hipótesis de trabajo y los resultados.

En concreto, sus registros meteorológicos incluyen referencia a las siguientes variables: temperatura, presión (a partir de agosto de 1784), precipitación, dirección del viento, estado del cielo y fenómenos extremos.

Los registros instrumentales de temperatura, presión y precipitación fueron analizados y comparados con la climatología actual. No obstante, antes de realizar cualquier análisis de la variabilidad termométrica, como previamente fue comentado, se cuestionó la homogeneidad de los registros de Bento Sanches Dorta. Para verificarlo, se utilizó el programa RHTestV2 de R (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/RHTtest/>). Ni en la serie mensual ni en la diaria fueron encontrados señales de inhomogeneidad significativas. Por lo que se pudo considerar toda la serie termométrica como homogénea, y no se tuvo que aplicar corrección alguna a los registros. En el caso de las lecturas barométricas se corrigieron los errores de lectura asociadas a las mismas, de acuerdo a las explicaciones indicadas en la sección anterior. Sin embargo, una representación preliminar de los datos recopilados por el portugués junto con valores actuales reveló que los primeros eran inferiores en valor a los actuales pero guardaban una relación idéntica. Probablemente, Sanches Dorta colocó el barómetro en una altura distinta a la actual, pudiendo ser este motivo el causante de dicha disimilitud. Haciendo uso del método de mínimos cuadrados, estos datos fueron ajustados.

Para concluir el análisis, los registros tomados a finales del siglo XVIII, una vez realizada la conversión de unidades y las correcciones pertinentes, fueron comparados con observaciones actuales anotadas en la misma ciudad. Así, se estudiaron la variabilidad estacional e interanual y las características meteorológicas anuales principales.

Es importante resaltar que este conjunto de datos componen la primera serie meteorológica instrumental larga del siglo XVIII que se posee de Sudamérica y posiblemente de todo el Hemisferio Sur. Precisamente, estas campañas de mediciones meteorológicas, iniciadas en el año 1781, marcaron el origen de la meteorología en Brasil.

The meteorological observations of Bento Sanches Dorta, Rio de Janeiro, Brazil: 1781–1788

A. M. M. Farrona · R. M. Trigo · M. C. Gallego ·
J. M. Vaquero

Received: 28 July 2011 / Accepted: 31 March 2012
© Springer Science+Business Media B.V. 2012

Abstract Bento Sanches Dorta was an astronomer and geographer in the Portuguese colony of Rio de Janeiro in Brazil from 1781 to 1788. He recorded daily readings of meteorological and geomagnetic variables during that period. This dataset provides, to the best of our knowledge, the earliest known continuous 8-year-long instrumental meteorological observations for any South American site. His data show that the winters in this period were relatively cool, and that 1785 was the rainiest and hottest year, and 1787 the driest and coolest. The records display a distinct seasonal cycle and a variability that are comparable with the modern data.

1 Introduction

In the context of current discussion concerning recent climate change, it is essential to extend investigation into natural climate variability back to historical times since this may help to improve our understanding of the climate system, and hence be in a better position to assess what changes in the climate might be expected in the future (Beck et al. 2007). All historical documents and data, including tangible and non-tangible sources (van Engelen et al. 2001) and instrumental observations in particular, represent important documental sources that one must use in order to understand long-term climate changes (Slonosky 2002). In this context, there have been major advances in the field of historical climatology recently, allowing the construction of complex and detailed pictures of climate change (e.g., Luterbacher et al. 1999; Auer 2001; Jones 2008; Jones et al. 2009).

Electronic supplementary material The online version of this article (doi:10.1007/s10584-012-0467-8) contains supplementary material, which is available to authorized users.

A. M. M. Farrona · M. C. Gallego · J. M. Vaquero
Departamento de Física, Universidad de Extremadura, Badajoz, Spain

A. M. M. Farrona
Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica II, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain

R. M. Trigo (✉) · J. M. Vaquero
Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, Edifício C8, Piso 3,
1749-016 Lisbon, Portugal
e-mail: rmtrigo@fc.ul.pt

The first attempt to implement a permanent network of meteorological stations was made in the middle of the seventeenth century. Thinkers of the Enlightenment and other scientific bodies organized networks of weather observing stations which, by the mid 1780s, comprised over 70 stations that reached from Siberia across Europe to Greenland, eastern North America, and a few in Asia (Jones et al. 2009). By the end of the 18th century, meteorological observations performed at standard hours and with relatively well-calibrated instruments had become a routine procedure in a few countries, namely, in the United Kingdom and central and western Europe (Jones et al. 2001), Canada (Slonosky 2003), northern Italy (Cocheo and Camuffo 2002), and Scandinavia (Bergström and Moberg 2002). It is important to note that instrumental observations in the Southern Hemisphere (SH) are significantly poorer than in the Northern Hemisphere (NH).

The objective of the present work is to describe the climate at Rio de Janeiro (hereafter RJ) in Brazil during the 1780s using a recently re-discovered comprehensive dataset (Trigo et al. 2010). To this end, we examined the historical meteorological observations published in the earliest tomes of the Portuguese Academy of Sciences (“Memorias da Academia de Ciências de Lisboa”) (Sanches Dorta 1797a, b, 1799a, b, 1812a, b, c, d, e, f). In 1781, Bento Sanches Dorta (hereafter BSD) made daily weather observations for the period 1781–1788. It should be stressed that this dataset provides (to the best of our knowledge) the earliest known 8-year-long continuous instrumental meteorological observations for any South American site, and most probably for the entire SH in the 18th century (Jones et al. 2009). As BSD himself noted, “In Rio de Janeiro nobody received meteorological information and nobody recorded the changes in the sky and meteorological observations before this” (Sanches Dorta 1797b, p. 349).

BSD was a prolific observer, keen on recording every day many astronomical phenomena, as well as a large number of meteorological and geomagnetic variables. Indeed, a number of recent publications have been written almost entirely based on BSD's observations. For instance, Vaquero et al. (2005b) have shown the added value of the sunspot observation undertaken by BSD during the solar eclipse that occurred on 9th February 1785. Vaquero and Trigo (2005a) focus on BSD's geomagnetic declination measurements, the instruments that he used, and the method that he followed. Subsequently, Vaquero and Trigo (2006) related the aurora australis observations of BSD between 1781 and 1788 with the geomagnetic declination values carefully recorded in his papers. Finally, the observations of BSD concerning strange meteorological conditions, such as days of unusual dry fog and haze that occurred in the years following the Laki eruption, are described in detail in Trigo et al. (2010). However, no one has yet used BSD's meteorological observations to assess the late 18th century climate of RJ. We want to stress here the importance that original observational data have to improve our understanding of past weather conditions. In South America specifically, few instrumental series have been found, and for this reason there are correspondingly few climate studies. Nevertheless, climatically, this region is of great importance for understanding the climate dynamics of the SH (Neukom et al. 2009).

2 Metadata and instruments

2.1 Metadata

Bento Sanches Dorta (Coimbra, Portugal, 1739 - São Paulo, Brazil, 1794) was an astronomer sent to Brazil by the King of Portugal on a geographical mission. His main task in his appointment to Brazil was to determine, as precisely as possible, the actual limits of the

Portuguese colony in this vast South American territory (Carvalho 1985). He was a member of the Royal Academy of Sciences of Lisbon and published numerous papers in their “Memorias”.

BSD was influenced by the meteorological knowledge of his time (Alcoforado et al. 2012). Besides his cartographic and astronomical duties, he was keen to make additional meteorological observations. He particularly devoted time and effort to obtaining many daily (and sub-daily) measurements with the best accuracy attainable at the time. For this purpose, he observed seven times per day, from 06:00 to 18:00 every two hours during the period 1781–1783. Then, with the arrival of the barometer, he began to observe eight times per day from August 1784 until December 1788 (Sanches Dorta 1799a, p. 346). There were some days or months in which BSD made no meteorological observations. This was the case in December 1783 and January 1784, on several days in 1787, and from June until October 1788. Figure 1 shows an example of BSD's work, containing a printed page of the meteorological diary corresponding to February 1785.

He computed monthly averages from the observations taken at different hours of the day, in particular, the mean temperature and pressure in the morning, at midday, and in the afternoon. These values were calculated as the arithmetic mean of all the observations made. In the diary, he also noted the maximum and minimum temperatures. However he admitted that he did not know if these values were correctly measured because, as mentioned above, he only checked the thermometer at some pre-defined hours throughout the day. He thus could not know the actual temperature between observations and in the remaining hours, particularly during the evening and night hours when no observations were made (Sanches Dorta 1812a, p. 74).

In addition to these quantitative observations, BSD was interested in gathering relevant qualitative information describing the state of the sky. In his words: “The four qualities of the day, namely clear, variable, cloudy, and overcast, shape the years when they add to 365” (Sanches Dorta 1812b, p. 115). In this sense, he defined a “clear day” as one in which there are no clouds in the sky during the 24 h. A “variable day” was one when the middle of the sky is cloudy but another part of the sky is clear, in other words, partly cloudy with clear skies in between (Sanches Dorta 1797b, p. 360). He noted the monthly mean number of days of thunder, rain, fog, aurora australis, zodiacal light, and clear, variable, and cloudy days. Indeed, at the end of each year, BSD summarized all the weather patterns observed during that year, describing the extreme and/or interesting events together with the date on which they occurred.

He measured other important weather parameters such as rainfall and evaporation, and computed the monthly mean values of these variables. Finally, he recorded the wind direction on an 8-directional compass from which he derived the monthly mean wind directions for the morning and for the afternoon (Sanches Dorta 1812a, p. 76).

Figure 2 summarizes some of the most important characteristics related to the observations made by BSD, namely the variables observed, the number of observations per day, and the availability of these records (daily or monthly) throughout the 8-year-long period of observations

2.2 Instruments

The instruments he used for his astronomical and meteorological observations were part of a collection that the King of Portugal sent to the Portuguese Army in Brazil to carry out the demarcation of South America between Portugal and Spain (Sanches Dorta 1797a). In the initial collection of instruments, there was no barometer, the delivery of which was delayed. It finally arrived from Europe in February 1784. Concerning this aspect, BSD states: “This year (1784) stands out over the other years because I can use the barometer. In the other

380 MEMORIAS DA ACADEMIA REAL

DIARIO METEOROLOGICO.
FEVEREIRO de 1785.

Dias do mez.	Vent. domin.		Thermometro.			Quantidade de chuva.	Quantidade de vapor.	Estado do Ceo.
	manh.	tarde.	manh.	meio dia.	tarde.			
1	Var.	Var.	82,83	86.	87.	0,3	3,5	Var., trovões, e chuva. O mar luminoso.
2	N. E.	S. E.	81.	85.	84,25	0,25	4,6	Var., trovões, e algum orv.
3	N. O.	S. E.	79,16	81,5	80,9	7	.	Cob., e chuva.
4	Var.	S. E.	76,66	77,5	78,02	0,2	1	Cob., nevoa, e orvalho.
5	N. O.	S.	77,16	79,5	80.	.	1	Cob., e nevoa.
6	Var.	O.	78.	79,5	81,25	2	.	Cob., nevoa de manhã, de tarde chuva.
7	Var.	Var.	79,5	82.	82,9	.	3	Var., nevoa, e trovoada.
8	L.	S. O.	79,83	80,5	80,75	0,3	1,5	Var., nev. com seu orvalho.
9	N. O.	N. O.	79,16	81,5	82.	.	4,5	Nub., nev., e relampagos.
10	N. O.	S. E.	78,5	80.	81,6	4	.	Var., nev., depois trovões, e chuva.
11	S. E.	S. E.	78,5	80.	80,5	4	.	Idem.
12	N. O.	Var.	76,83	78.	78.	4	.	Cob., nevoa de manhã, depois chuva.
13	N. O.	S. E.	76.	76.	76,4	6	.	Idem.
14	N.	S. E.	75,16	77.	78,6	.	1	Nub., e nev. de manhã.
15	Var.	S. E.	77,33	81.	81,75	0,2	0,5	Var., nev., e orv. Neste dia appareceo hum fenomeno, que descreverei em outra parte.
16	N. O.	S. E.	78.	80,5	82,25	.	2	Nub. A Lua com sua corôa amarela.
17	N. O.	S. E.	78.	80,5	82.	.	2	Cob.
18	N. O.	S. E.	77,5	80,5	82,75	.	2,5	Ser.
19	N. O.	S. E.	79.	82.	84.	.	4	Ser. De noite relampagos.
20	N. O.	N.	80.	83.	83.	0,25	0,8	Var. com seu orv.
21	N. O.	Var.	77.	78.	79,4	2	.	Var., e chuva.
22	N. O.	S. E.	79,5	83,5	83,25	.	1,5	Nub. A Lua com corôa branc.
23	N. O.	S. E.	79.	81,5	82,75	.	2	Var.
24	N. O.	Var.	80.	83,5	83,75	.	3,5	Ser. De noite relampagos.
25	N. O.	S. O.	80,41	84.	83.	.	4	Nub. De tarde trovoada.
26	N. O.	Var.	78,33	81.	80,9	9	.	Cob., nev., e chuva. O mar muito levantado.
27	S. O.	S. O.	78,33	78,5	78.	13	.	Cob., e chuva.
28	Var.	S. O.	77.	78,5	78,6	18	.	Nub., e chuva.

DIA-

Fig. 1 Printed page of Dorta's weather observations of February 1785 (Sanches Dorta 1799b, p. 380)

Variable		Years							
		1781	1782	1783	1784	1785	1786	1787	1788
Temperature	Morning								
	Midday								
	Afternoon								
	Maximum								
	Mean								
	Minimum								
	Every 2h								
Pressure	Morning								
	Midday								
	Afternoon								
	Maximum								
	Mean								
	Minimum								
	Every 2h								
State of Sky (Num. days)	Clear								
	Variable								
	Cloudy								
	Thunder								
	Storm								
	Fog								
	Aurora Australis								
	Zodiacal light								
Wind	Morning								
	Afternoon								
Total precipitation									
Total evaporation									

Fig. 2 Available data from BSD's papers (*white*: unavailable; *yellow*: monthly data; *red*: daily data). There are no data from December 1783 and January 1784. There are pressure data during 1784 after August. There are no data from June 1788

years I did not take pressure data because this instrument was absent from the collection” (Sanches Dorta 1799a, p. 346). The instruments were placed “in the chamber [‘camera’] of my rooms”, located 50 hand-spans (“palmas”, see below for what we used as the modern equivalent) and 4 in. above sea level. This ‘camera’ had three windows open towards the southwest (Sanches Dorta 1797b, p. 346), and was situated on the Castle Hill of the city. It should be stressed that the site of the observatory used by BSD, close to the old town centre, no longer exists as a consequence of major changes in the topography of the old centre of Rio de Janeiro during the last 200 years. The great expansion of the city included filling in a major portion of the old Bay with soil. Also, the original steep hills (the city’s castle was on one of them) have been excavated and eroded.

BSD noted that his meteorological diary was incomplete because he had no anemometer, electrometer, hygrometer, or eudiometer readings (Sanches Dorta 1812a, p. 70). Although he indicated on one occasion that he had a Sasseur hygrometer (Sanches Dorta 1812a, p. 71), there are no data on humidity in his papers.

2.2.1 Thermometer

The mercury thermometer used by BSD had a Fahrenheit scale. BSD knew the difference between Fahrenheit and Réaumur scales, and he preferred to use the former because “The Fahrenheit method is more accurate and also because the British physicists (and other wise persons) adopted it long ago” (Sanches Dorta 1797b, p. 346–347). He also knew the relationship between boiling point and atmospheric pressure.

Similarly to the standard procedure of many 18th-century observers, BSD took readings of temperature simply from an indoor thermometer hung in a fireless room where the windows were always opened (Sanches Dorta, 1797a, p. 346), and hence, the thermometer was situated in the shade and facing the Sun of a well-ventilated room. About the device he said, “It was made in England by Nairne and Blunt: it has to be admitted that it is rather small” (Sanches Dorta 1812a, p. 73). Another important fact is that the device was placed in the shade and oriented towards the south (Sanches Dorta 1812a, p. 73).

2.2.2 Barometer

The barometer was designed and made by Joaõ Jacinto de Magalhães (1722–1790) of London. It had two scales: French and English inch. At that time, observations of atmospheric pressure were made with mercury barometers graduated in Paris inches and lines. Normally, the Paris inch was divided into 12 lines, each line being further subdivided either into tenths or twelfths (Kington 1988). Specifically, BSD used the French scale (Sanches Dorta 1799a, p. 346).

It is important to note that Magalhães made serious attempts to improve many aspects of the barometer. He was really careful to prevent air bubbles entering the tube. He also suggested new barometer models on which the meteorologist could observe the set of values with greater precision (Malaquias and Fernandes 2003). Finally, he went to great lengths to improve the portability of the instruments. Magalhães wanted the European scientific community to be able to evaluate and review his innovations at the same time as the instruments were being used in South America. To further this objective, he published four papers in the “Observations sur la Physique” (Magalhães 1782), also known as the Journal of Father Rozier, in which he described the barometers.

2.2.3 Rain gauge and evaporation pan

BSD said about the rain gauge that he used in 1786: “The rain gauge that I am using is a hollow cylinder made of varnished sheet metal: it is 14”8” tall and 5”6” in diameter. It is covered with a funnel lid which has the same diameter, with a hole in the middle of the lid which allows the water to fall into the cylinder and allows me to draw the scale with which I measure the amount of water that is coming in: this scale is indicated by a buoy that is made of thin tin sheet, and that is free to float within the cylinder because it is only 4”8” in diameter. I always keep the buoy floating, and I have been keeping a note of the quantity of water that the cylinder holds before the beginning of the rain. It is situated at the highest part of the house in which I am living. At that point, it is impossible to register water that has not fallen from the sky. It is not possible for the water to evaporate because it is always covered. In any case, I measure the height of the rain every morning” (Sanches Dorta 1812a, p. 75).

In 1787, he began to use a new, taller and wider rain gauge. About the new rain gauge, BSD said: “The rain gauge that I have used this year is a hollow brass cylinder: it is 15”3” tall and 7”5” in diameter. The remaining devices that I have used are the same instruments I talked about in the 1786 Weather Diary” (Sanches Dorta 1812b, p. 112).

BSD also describes the instrument he uses to measure evaporation: “The evaporation pan is similar to the rain gauge that I described in the previous note; the difference between the two is that the rain gauge is always closed, and the evaporation pan is always open and filled with water up to 14”; for this reason in this device 8” are empty. The evaporation pan is situated in the highest place of the house too, and is exposed to the solar rays: every morning I measure the quantity of water that is contained in the evaporation pan, and I pour in the water needed to

reach 14°; in this manner, I always maintain the same quantity of water” (Sanches Dorta 1812a, p. 75).

3 The climate of the 1780s in Rio de Janeiro

In the recent past, the history of meteorology and meteorological observations in South America has been practically ignored. In this last decade there have been some pioneering studies with a geographically expanded scope using early European colonial archives (e.g., Prieto et al. 2000; Vargas et al. 2000; García-Herrera et al. 2007). In general, there have been very few works systematically addressing the development of the physical sciences in South American countries (Neukom et al. 2009; Prieto and García-Herrera 2009). Nonetheless, the arrival of new Portuguese and Spanish colonialists represents a unique opportunity to reconstruct some aspects of the early history of meteorology and climatology.

3.1 Temperature

As the years passed, BSD improved his thermometer readings and increased their frequency. In his paper relative to the year 1781, he provides only the monthly averages of the daily mean, maximum, and minimum temperatures. In 1782, BSD continued to record this same information, while adding the monthly mean temperature for every two hours (7 or 8 readings per day). From 1783 until 1788, he also recorded the daily morning, midday, and afternoon temperatures. All the readings are fairly consistent, and there are no missing observations except for the period between June and October 1788. This gap in the data is certainly related to BSD's move from Rio to São Paulo, because he continued his measurements in São Paulo after October 1788.

The thermometer scale included every degree (°F) from 0 to 212, and each degree was further subdivided into ten parts. These original Fahrenheit temperature readings will here be converted to the Celsius scale (°C).

We shall use the meteorological observations from 1961 until 1991 that were recorded at the meteorological station of the National Institute of Meteorology in Brazil (INMET), called the Rio de Janeiro station (RJ). Prior to any variability analysis we checked the homogeneity of the BSD. To do that, it was used a method based on t and F tests and implemented in the R program RHTestV2 (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml>) (Wang 2003). We looked at both monthly and daily series, no significant breakpoints have been found (at the 5 % significance level). Therefore, it was possible to consider all the series as homogeneous time series, and no corrections were applied to the records.

Figure 3 shows the daily morning (08:00 local time) temperature readings from 1783 until 1788 together with the mean (and the $\pm\sigma$ and $\pm 2\sigma$ values) of the modern RJ minimum temperature records. The temperature observations of BSD usually remain within the expected ranges of temperature values. The morning temperatures for 1783–88 cluster relatively near the same values as in the modern period, although in summer and spring they tend to be nearer the lower values of the modern data. Nevertheless, there are some higher readings in the summer months and lower readings in the winter. Although it is difficult to appreciate, there are more daily points recorded by BSD that are above the current average daily temperatures. Here one has to bear in mind that one is plotting modern minimum temperatures against morning temperature readings (at 08:00) from the 1780s, so that clearly, and as indeed one observes, the former data would be expected to be lower than the latter. Moreover, it

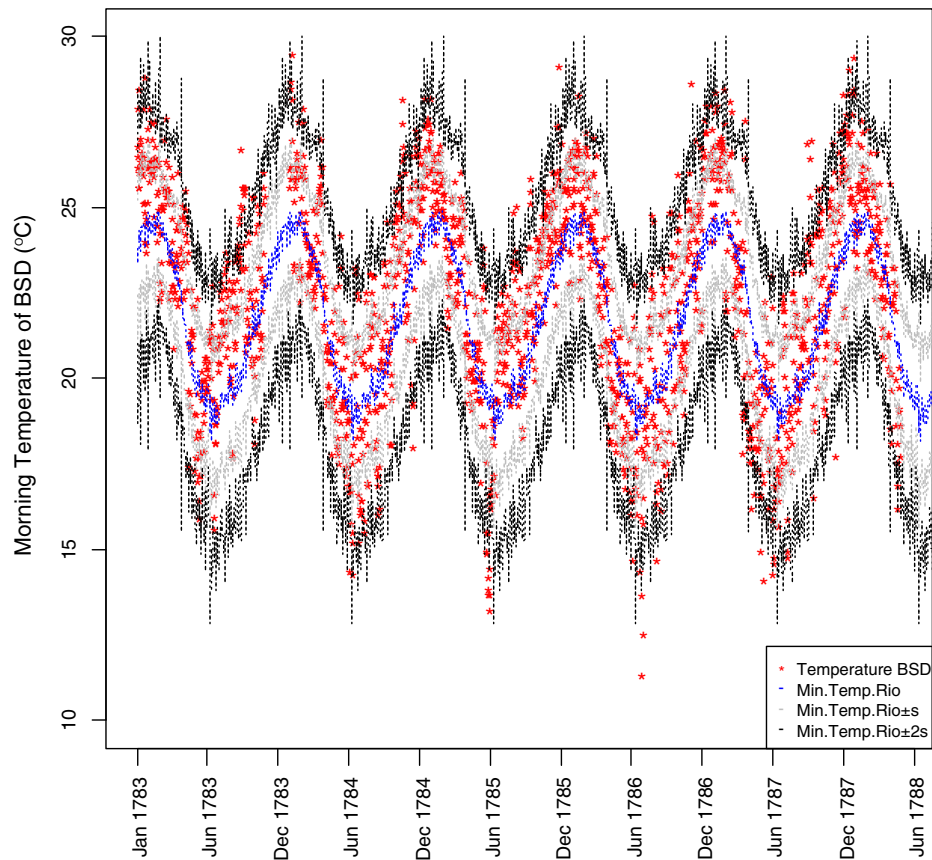


Fig. 3 Daily temperature values for morning observations, taken at 08:00, converted to °C, for 1783–88, shown with the average modern (1961–2006) minimum daily temperature (*dotted blue line*), mean minimum temperature $\pm 1\sigma$ (*dotted grey lines*) and $\pm 2\sigma$ (*dotted black lines*)

is important to emphasize that the records of BSD are useful for the relative (rather than absolute) examination of climate variations.

BSD lists the records of the mean, maximum, and minimum monthly temperatures from August 1781 until June 1788 in RJ. We plot those values in Fig. 4, together with the mean (and $\pm\sigma$ and $\pm 2\sigma$) from the modern RJ records. It is worth noting that there is excellent agreement between the mean monthly temperatures of the 1780s and the monthly values of the late 20th century. In particular, the mean monthly temperatures that BSD took lie within the expected range. Nevertheless, the readings of the 1780s tend to be relatively slightly lower than recent winter temperature values. One observes in Fig. 4 that, as BSD noted, 1787 was the coolest year, and 1785 was the hottest.

The evolution of the monthly averages of the minimum and maximum temperatures are plotted in Fig. 4. Although most of BSD's readings fall within the expected range, there are some exceptions during the 8 years. From the original documents it is possible to infer that the maximum and minimum temperature values correspond to values recorded at a fixed hour. In fact, that could explain some differences existing between the recorded extreme temperature values and the modern maximum and minimum ones. In particular, the

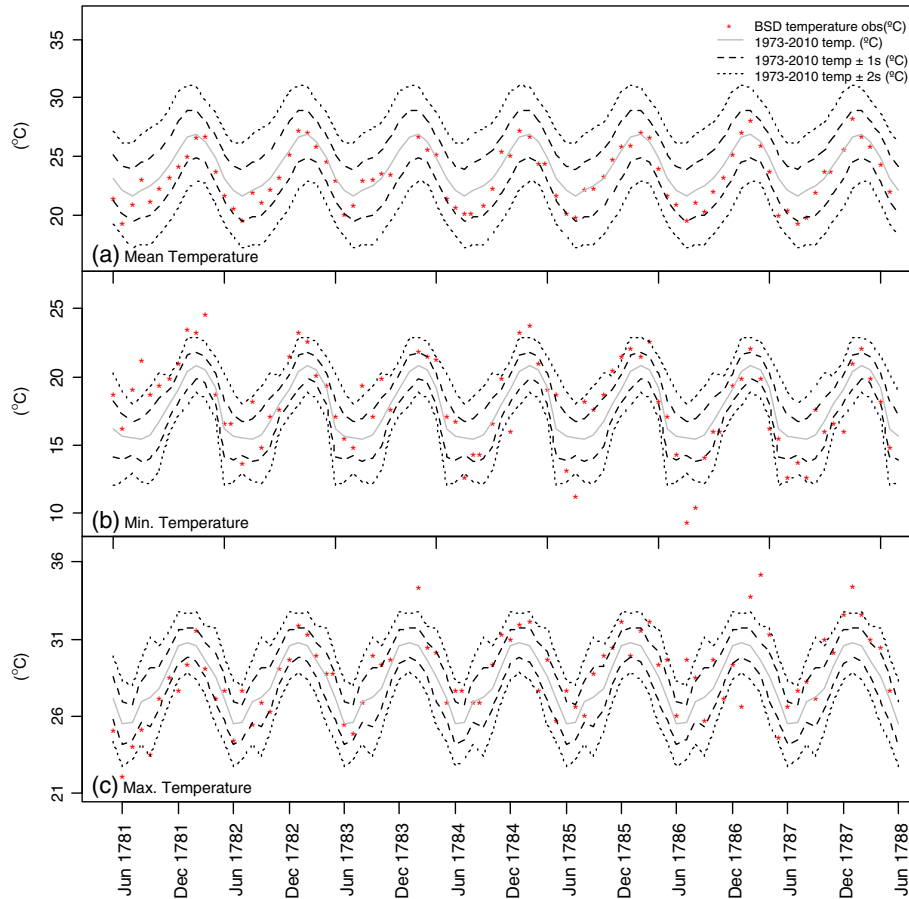


Fig. 4 (a) Mean, (b) minimum, and (c) maximum monthly temperature for 1781–88 (red dots), including average modern (1961–2006) mean, minimum, and maximum monthly temperature (solid grey line), $\pm 1\sigma$ (dashed black lines) and $\pm 2\sigma$ (dotted black lines)

minimum temperatures in the winters of 1785, 1786, and 1787 were very low. This is the same conclusion that we drew previously in considering the minimum daily temperature. The opposite was the case in the summers of 1781 and 1785: the minimum monthly temperatures were relatively higher than in the late 20th century. There is good agreement (Fig. 4) with the expected values apart from some exceptional cases: in June 1781 the maximum temperatures were lower and in early 1784, 1787, and 1788 the maximum temperatures were relatively higher than currently. In the remaining months, the maximum temperatures were generally similar in both summer and winter.

Overall, therefore, one can deduce that the relative differences between the maximum temperatures in summer and the minimum temperatures in winter (i.e., between the different seasons extremes) were similar in the 1780s to those now. Nevertheless, with respect to the small difference in the historical extreme temperatures and the modern ones, one must again bear in mind that historical maximum and minimum temperature values corresponded only to the hours in which he could take measurements (Sanches Dorta 1812a, p. 74), since BSD had no min-max thermometer. Nevertheless, unfortunately, it is not possible to estimate the

likely difference between the recorded values and the modern maximum and minimum or the type of biases possibly introduced since modern temperatures data at fixed hour are not available. Furthermore, to estimate that likely difference between the recorded values and the modern ones, it is important to keep in mind (a) the location of the instrument indoor in a fireless room, and (b) the thermal capacity of the building structure. The effect of indoor placement of instruments was discussed by Cocheo and Camuffo (2002) and Bergström and Moberg (2002). Nevertheless, in our case, it is not possible to check the type of the biases that were introduced by the situation of the instrument according the procedure used by these authors.

The Brazilian Atlantic coastline is characterized by a tropical climate, even though this classification is limited to a relatively narrow coastal belt (Peel et al. 2007). BSD came from Lisbon to RJ. In Portugal, the seasonal cycle differs dramatically from RJ. It has hot, dry summers followed by mild, wet winters. Indeed, Lisbon has a more marked seasonal temperature cycle than RJ, with cooler winters and hotter summers than RJ. One might speculate that it was possibly for this reason that BSD did not write anything in his journal about the extreme temperatures reached in Brazil, whether in winter or in summer, throughout the entire period. Since he was used to withstanding higher and lower temperatures before he arrived, he opted not to record these facts as extreme events. His observation was simply that: “The climate of the city and its proximity to the Tropic cause the temperatures to be high” (Sanches Dorta 1812b, p. 114).

With such a small sample, it is impossible to tell if this is evidence for climate change or normal interannual variability. Nevertheless, the instrumental data points to the occurrence of relatively cold winters but summers that today would be classified as normal.

3.2 Pressure

Pressure data began to be reported soon after the barometer arrived in RJ in August 1784. BSD began to measure the maximum, minimum, mean morning, mean midday, and mean afternoon monthly pressures. In particular, daily morning, midday, and afternoon pressure values are available in BSD's papers from 1785 until the end of the period.

As is well known, it is necessary to apply corrections to the observed heights in mercury column barometers in order to derive the true atmospheric pressure value (Middleton 1964). The most important corrections are related to: (i) temperature, (ii) gravity, (iii) instrumental effects, and (iv) the expansion of the barometer and the measuring scale.

We have converted the original recordings of the barometer readings in Paris inches and lines into hPa. We used BSD's temperature observations from 1784 to 1787 to correct for the effects of thermal expansion. As the thermometer and the barometer were situated indoors in the 'camera' of his room, we assumed that the temperature readings corresponded exactly to the temperature of the barometer. The equation that we applied to get the pressure data corrected was:

$$C_t = \frac{H(\lambda - \alpha)}{1 + \alpha t} t,$$

where α is the volumetric thermal expansion coefficient for mercury (value used is $1.818 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), λ is the linear thermal expansion coefficient of the brass (valued used is $0.184 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), t is the temperature in $^\circ\text{C}$, H is the pressure data in hPa, and C_t is the correction of pressure data in hPa. These corrected barometric values had to be reduced to standard

gravity. The value for gravity at Rio de Janeiro was estimated by the theoretical value of gravity at 22.54° S, using the equations:

$$h_n = \frac{h_0 \cdot g(\phi, z)}{g_n},$$

$$g(\phi, z) = g_{\phi, 0} - 3.86 \cdot 10^{-6} z + 1.18 \cdot 10^{-6} (z - z') \quad \text{and}$$

$$g_{\phi, 0} = g_n (1 - 2.64 \cdot 10^{-3} \cos 2\phi + 5.8 \cdot 10^{-6} \cos^2 2\phi),$$

where ϕ is the latitude in degrees, z is the altitude above sea level in the place of the observation (in metres), z' is the mean altitude of the region, g_n is the normal Earth's gravity (valued used is 9.80665 m/s²), h_0 is the pressure data in hPa, and h_n is the pressure data corrected in hPa. BSD informed in his papers that he situated the barometer 50 span¹ and 4 in. above the sea level, so we know in this form the latitude above sea level in the place of the observation (z).

The quality of BSD's 18th century data was evaluated by comparison with modern data (1973 to 2010 with the exception of 1982 to 1996 when there is no valid data available) from the meteorological station of the Santos Dumont Airport (ASD) of RJ.

The BSD pressure data were lower in value than the modern data, but followed the same pattern. It must be borne in mind that the place in which BSD took his pressure data was different from the location of ASD. Also, different barometers were used in the two cases. We therefore used a least squares fitting procedure to adjust the observed data. The agreement between BSD's daily pressure records and the modern data is quite good (Fig. 5). Nevertheless, in 1785 the pressures were higher than today, especially in summer and autumn. The contrary was generally the case during the winters, especially in July 1786 when the pressures were clearly lower than the modern mean pressure. This suggested that cooler conditions may have prevailed at that time. One notes no major differences between BSD's data and the current ASD pressure data.

BSD's papers also give the mean, maximum, and minimum monthly pressures at RJ from August 1784 until May 1788. To compare the mean (and $\pm\sigma$ and $\pm 2\sigma$) pressures with the modern RJ data, we corrected BSD's data for temperature and to a standard value of gravity based on the adjustment described above (Fig. 5b). In general, BSD's winter pressures are lower than their modern winter counterparts. In the other months, however, the data are similar to the modern values at ASD. In sum, the mean monthly pressures in the past, except in the specified years, were not so different from those today. A synthesis of the maximum and minimum pressures for the 5 years under study is presented as [Electronic Supplementary Material](#).

3.3 Rainfall

BSD measured rainfall and evaporation. From May 1781 until June 1788, he kept a record of the monthly amounts of rainfall and evaporated water. From January 1783 until June 1788, in his papers he added observational tables of the daily values of these parameters. There are no data after June 1788. The original monthly and daily rainfall and evaporation data are in inches and lines (Sanches Dorta 1812a, p. 75), and here we have converted them into mm. BSD recorded a hailstorm on only one day, 11th August 1784.

Besides rainfall and evaporation, BSD also recorded the number of rainy days per month. We used this information to make a comparison with modern observations. It is important to note that the minimum amount of rainy water that BSD annotated in his papers was 2.54 mm (1 in., *1 linha de polegada*, in ancient units). We based in this quantity of rainy water to

¹ We take 1span=23.5 cm.

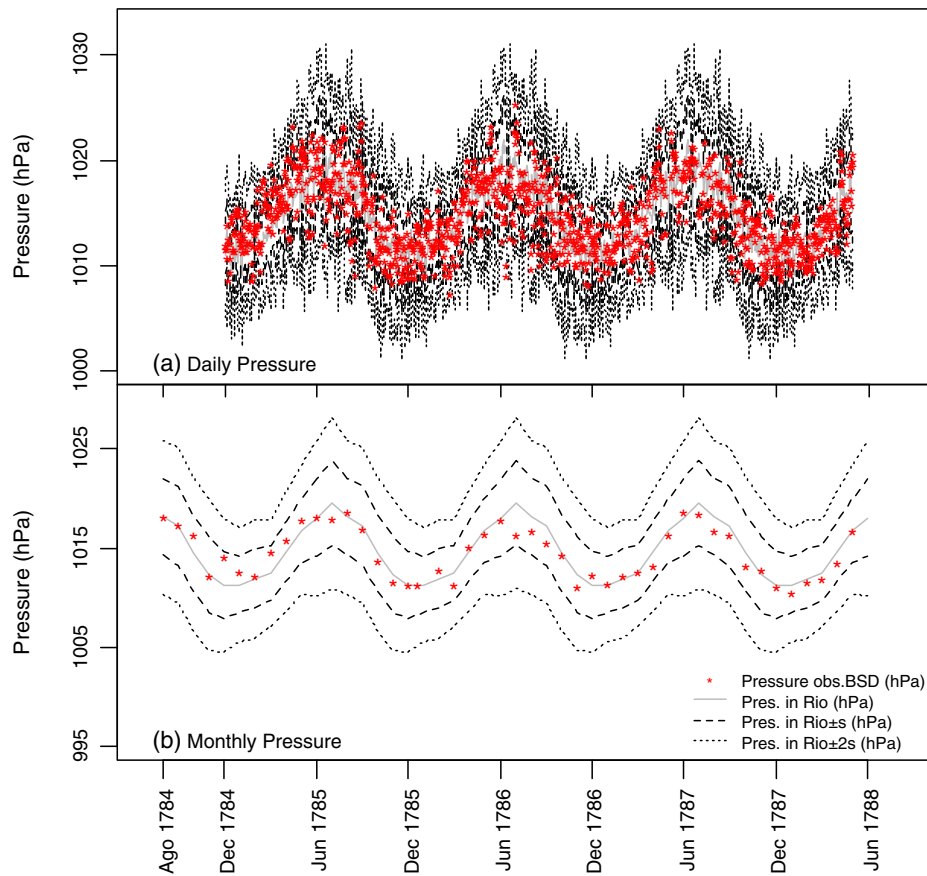


Fig. 5 **a** Mean daily pressure values and **b** mean monthly pressure values (including all corrections applied, converted to hPa) for 1785–88. The modern (1973–2010) mean pressure value (*solid grey line*), and mean pressure value $\pm 1\sigma$ (*dashed black lines*) and $\pm 2\sigma$ (*dotted black lines*) are also shown in both panels

define “rainy days”. Figure 6 shows the number of rainy days in a month for the periods from 1783 until 1788 and from 1961 until 2006, with the exception of 1983–2003 when there is no valid data available. These values were more or less similar for all the months in comparing the 1780s with 1961–2006 (Fig. 6), and also that they varied within each year. As expected, the modern ASD data present greater variability since the calculations are made using far more observations than BSD's 8 years of data. In any case, it is interesting to note that the 1780s also present a large inter-annual variability and a relatively large range of values. September, October, and November in the 1780s were months with more rainy days and higher rainfall than any of the corresponding months in the modern data since the early 1960s. The contrary is the case for June – there were fewer rainy days during this month for all years during the 1780s than during 1961–2006.

It has to be acknowledged that the analysis represented in Fig. 6 is insufficient to allow any robust statement concerning significant changes in rainy days between the late 18th century and today. Indeed, one must not forget that there are various differences to consider in how rainfall was measured and rainy days were counted. Recorded rainfall in the different seasons in each year from 1781 until 1788 is listed as [Electronic Supplementary Material](#).

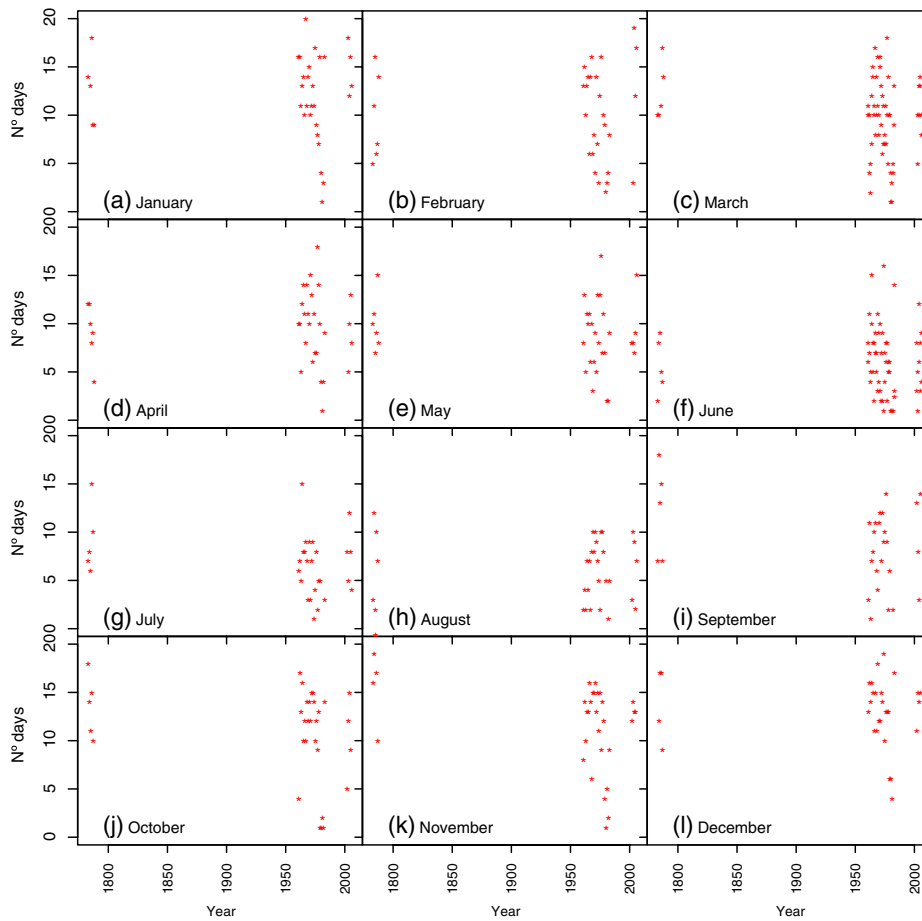


Fig. 6 Monthly number of rainy days in (1783–88) and (1961–2006)

The rainy season corresponds to summer (December–January–February) and the dry season to winter (June–July–August). The year 1785 was the rainiest of the period 1781–1788. The annual accumulated rainfall in RJ is reported to be approximately 1000 mm (Griffes 2007). This is confirmed by the data we have been using from the RJ Airport (ASD) which we calculated as giving a mean annual value for the period 1961–2006 of 1068.5 ± 324.9 mm. Thus one can say that the 1780s, when the mean annual rainfall for all the years was 1141.3 ± 62.7 mm, were slightly rainier than recent years. Nevertheless, the historical annual values lie well within the expected range. The year 1785 was especially rainy, as BSD noted in his papers. Finally, one must bear in mind the characteristic tropical climate of RJ, and that its area is subject to the influence of the drier, more stable Atlantic tropical air mass from the south (Bonell et al. 1993).

3.4 Wind

As BSD had no anemometer, his wind data does not include wind speed. Moreover, the location of his observatory inside the city hampered any attempt to obtain wind strength

information based on the “natural device” (Sanches Dorta 1812b, pp. 114) of the movement of the leaves of trees. Nevertheless, he was meticulous with respect to wind direction. His papers report the morning and afternoon monthly average wind directions during the period 1781–1788, and from 1783 to 1788 also the daily morning and afternoon wind directions. Moreover, he indicated from 1782 to 1788 each year's predominant wind direction. BSD considered the standard compass 8-wind directions. Also, he often referred to “variable winds” (Var) (Sanches Dorta 1812a, p. 76). Although BSD did not clarify in his papers the procedure used to determine the predominant monthly wind directions, it is likely to consider that he computed the mode of the wind daily distribution every month. That would explain why he sometimes provides two different predominant wind directions in a month.

He described the strength of the wind generically as being slight or calm. This would reflect the sheltered nature of the ports of RJ which may never experience gales. He explicitly linked SW winds with rainfall over the area, and sometimes with intense rain: “Here, rain is rare if there is no SW wind” (Sanches Dorta 1812b, pp. 113–114). He describes SE winds as being the most constant in the city. Indeed, the inhabitants of RJ had a name for this kind of permanent wind: “Viento de Viração”. About this typical wind, BSD said: “This is the most beneficial wind in the country, it makes RJ fresher, and causes the temperature to fall” (Sanches Dorta 1812b, p 114).

[Electronic Supplementary Material](#) contains data on the predominant morning and afternoon wind directions from 1781 to 1788. Variable and NW winds were the commonest in the morning, and SE winds in the afternoon. Today it is known that the South Atlantic Anticyclone governs the overall wind patterns in the tropics. This is consistent with the data that BSD presented in his papers. The commonest wind directions in RJ during the 8 years of measurement were Var (50 %) and NW (25 %) in the morning and SE (68.75 %) in the afternoon.

Data on the percentage frequencies of the monthly wind directions in the morning and in the afternoon from 1781 to 1788 are listed as [Electronic Supplementary Material](#). In all months, but especially in January, March, and October, variable wind directions prevailed in the mornings. NW winds have a strong influence too, and now one sees that this corresponds mainly to the months of February, April, and June. This wind direction, however, is less noted in the modern record, possibly a reflection of the changed topography of these areas since the 1780s. SE winds predominate in the afternoons, except in June and July, when other common wind directions are Var winds and S winds, and Var winds respectively. That was to be expected given the SE Trade Winds flow on the easternmost Brazilian coast.

3.5 Seasonal and inter-annual variability

Having assessed the broad scale agreement between the meteorological data of the 1780s and the modern data, we shall next examine the inter-annual variability and the seasonal cycles contained in BSD's data. [Electronic Supplementary Material](#) included our calculations of the mean temperature and pressure for each individual season from 1781 until 1788 using BSD's data, and, for the purpose of comparison, the mean seasonal temperature for the SDA meteorological station at the RJ Airport from 1961 until 1990, and from 1973 until 2010 for the mean seasonal pressure. [Electronic Supplementary Material](#) included a table that shows the monthly averages of temperature, pressure, and the amount of rain water for the 8 years, and a figure showing the temperature and pressure monthly averages, and the monthly amount of precipitation from 1780 until our days.

Overall, most seasons during the 1780s were relatively cooler than the recent past's average, with various exceptions in summer and spring. The winter season may have been

prolonged through cooler autumns and springs. Similarly, the seasonal pressure in summer was relatively higher in the 1780s than in the late 20th century, although BSD's data for the other seasons correspond to near-normal pressures, with just a few exceptions.

The 1782–83 summer was the coolest of the period measured (1.4°C below the modern average). In the other years, however, the summer temperatures were relatively as warm as currently. The value of the 1785–1786 summer pressure was relatively higher than the recent average summer pressure. The 1788–89 summer was the hottest of the 1780s, the mean temperature being 0.6°C higher than average of today's summers.

In general, the autumns were cool relative to the average of the late 20th century. In March, April, May 1785, rainfall was abundant and the temperature was low. The corresponding monthly average pressure was high, a fact that appears to be contradictory. Nevertheless, that autumn was affected by an intense storm which contributed substantially to the total rainfall of that month (Sanches Dorta 1799b). In the autumn of 1787, the mean temperature was low (1.5°C below the average). This corresponded to a period of relatively low pressure, suggesting that relatively cool and wet conditions may have persisted during these months. The warmest autumn was that of 1783, although it was relatively cooler than the average modern autumn.

With respect to the winters, although all the winters of the late 1780s were relatively cooler than today, that of 1787 was substantially so, being 2°C below the average winter temperature of the late 20th century. Moreover, the corresponding pressure was 1.2 hPa lower than the recent past average. One can deduce that cool and wet conditions may have prevailed at that time. For the 1785 winter, one notes that although the pressure was essentially the same as the current average, the temperature was relatively lower.

Finally, the average spring temperatures during this period, except for 1783 and 1785, were slightly relatively cooler than the late 20th century. The pressure values differed little, however, from the modern average. The spring of 1786 was the coolest of the 1780s, the mean temperature being 1.4°C below the current average. Although the warmest spring was that of 1785, it was only 0.3°C above the current average, and the pressure was only 0.5 hPa beneath the mean pressure of 1960–2004. Hence this 1785 spring was relatively similar to a current spring in the area.

4 Conclusions

Temperature, pressure, rainfall, and wind data from RJ were analyzed for the period 1781–88 using the papers written by BSD who arrived there roughly 230 years ago. The records display a clearly distinct seasonal cycle and daily variability perfectly compatible with those obtained using modern-day instruments (taken from two meteorological stations in RJ). They also present a considerable inter-annual variability. Accepting that BSD was a meticulous observer of weather and climate, the results of the present study suggest that his records are useful for the relative (rather than absolute) examination of climate variations. [Electronic Supplementary Material](#) presents a summary of BSD's descriptions for each year of observation, together with the principal annual climatic characteristics that he recorded.

Clearly, this early set of instrumental and documental data provides an excellent opportunity to consolidate and expand one's understanding of the climate of RJ at the end of the 18th century, and to put current seasonal and inter-annual variability in a longer context. In particular, BSD's observations can be considered especially useful for studies of the past climate within the context of large climate reconstruction efforts for the entire Atlantic (García-Herrera et al. 2005) and for South America (Neukom et al. 2010).

All of BSD's data point to the winters from 1781 until 1788 being relatively cool. 1786 was the year with the lowest minimum monthly temperature and the highest value of the maximum pressure. The highest monthly maximum temperatures were reached in 1784, the lowest in 1782. The extreme temperatures were more marked in the 1780s than currently. The annual total rainfall in the 1780s was close to the current values observed at the ASD (RJ airport) meteorological station.

Furthermore, we have to mention the description of an abnormally high incidence of days with unusual dry fog and haze during the years 1784–1786 in RJ. This would be associated with the climatic effects of the Laki fissure volcanic event (Trigo et al. 2010).

Acknowledgments This work was partially supported by the Spanish Ministry of Environment (MMAMRM200800050083542, Salvá-Sinobas project) and the Junta de Extremadura.

References

- Alcoforado MJ, Vaquero JM, Trigo RM, Taborda JP (2012) Early Portuguese meteorological measurements (18th century). *Clim Past* 8:353–371
- Auer I (2001) Long climatic series from Austria, history and climate: memories of the future? Kluwer Academic Press, New York
- Beck C, Jacobeit J, Jones P (2007) Frequency and within-type variations of large-scale circulation types and their effects on low-frequency climate variability in Central Europe since 1780. *Int J Climatol* 27:473–491
- Bergström H, Moberg A (2002) Daily air temperature and pressure series for Uppsala (1722–1998). *Clim Chang* 53:213–252
- Bonell M, Hufschmidt M, Gladwell J (1993) Hydrology and water management in the humid tropics, hydrological research issues and strategies for water management. Cambridge University Press, Cambridge
- Carvalho R (1985) A astronomia em Portugal no século XVIII. Instituto de Língua e Cultura portuguesa, Lisboa
- Cocheo C, Camuffo D (2002) Corrections of systematic errors and data homogenisation in the daily temperature Padova series (1725–1998). *Clim Chang* 53:77–100
- García-Herrera R, Können GP, Wheeler DA, Prieto MR, Jones P, Koek FB (2005) CLIWOC: a climatological database for the World's Oceans 1750–1854. *Clim Chang* 73:1–12
- García-Herrera R, Díaz HF, García RR, Prieto MR, Barriendos D, Moyano R, Hernández E (2007) A chronology of El Niño events from primary documentary sources in Northern Peru. *J Climate* 21:1948–1962
- Griffes C (2007) South Atlantic Ocean and Indian Ocean. ProStar Publications, Annapolis
- Jones P (2008) Historical climatology – a state of the art review. *Weather* 63:181–185
- Jones P, Osborn T, Briffa K (2001) The evolution of climate over the last millennium. *Science* 292:662–667
- Jones P, Briffa KR, Osborn TJ, Lough JM, van Ommen TD, Vinther BM, Luterbacher L, Wahl ER, Zwiwers FW, Mann ME, Schmidt GA, Ammann CM, Buckley BM, Cobb KM, Esper J, Goosse H, Graham N, Jansen E, Kiefer T, Kull C, Küttel M, Mosley-Thompson E, Overpeck JT, Riedwyl N, Schulz M, Tudhope AW, Villalba R, Wanner H, Wolff E, Xoplaki E (2009) High-resolution palaeoclimatology of the last millennium: a review of current status and future prospects. *Holocene* 19:3–49
- Kington J (1988) The weather of the 1780s over Europe. Cambridge University Press, Cambridge
- Luterbacher J, Dietrich D, Xoplaki E, Grosjean M, Wanner H (1999) European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science* 303:1499–1503
- Magalhães M (1782) Sur un baromètre nouveau, inventé par M. Magellan, Observatoires et Memories sur la Physique, sur L'Histoire Naturelle et sur les Arts et Métiers. Février 108–125, Mars 194–212, April 257–273, Mai 348–356, 1782
- Malaquias I, Fernandes M (2003) Contributos de João Jacinto de Magalhães para o desenvolvimento da meteorologia. 3ª Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG. Selenova Artes Gráficas Lda., Lisbon
- Middleton W (1964) A history of the barometer. Johns Hopkins Press, Baltimore
- Neukom R, Prieto MR, Moyano R, Luterbacher J, Pfister C, Villalba R, Jones P, Wanner H (2009) An extended network of documentary data from South America and its potential for quantitative precipitation reconstructions back to the 16th century. *Geophys Res Lett*. doi:10.1029/2009GL038351

- Neukom R, Luterbacher J, Villalba R, Küttel M, Frank D, Jones P, Grosjean M, Wanner H, Aravena JC, Black DE, Christie DA, D'Arrigo R, Lara A, Morales M, Soliz-Gamboa C, Srur A, Urrutia R, von Gunten L (2010) Multiproxy summer and winter surface air temperature field reconstructions for southern South America covering the past centuries. *Clim Dynam*. doi:10.1007/s00382-010-0793-3
- Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol Earth Syst Sci*. doi:10.5194/hess-11-1633
- Prieto MR, García-Herrera R (2009) Documentary sources from South America: potential for climate reconstruction. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 281:196–209
- Prieto MR, Herrera R, Dussel P (2000) Archival evidence for some aspects of historical climate variability in Argentina and Bolivia during the 17th and 18th centuries. In: Volkheimer W, Smolka P (eds) *Southern Hemisphere paleo- and neoclimates*. Springer-Verlag, Berlin
- Sanches Dorta B (1797a) Observações Astronomicas feitas junto ao Castelo da Cidade do Rio de Janeiro para determinar a Latitude, e Longitude da dita Cidade. *Memorias da Academia Real das Sciencias de Lisboa* 1:325–344
- Sanches Dorta B (1797b) Observações Meteorologicas feitas na Cidade do Rio de Janeiro. *Memorias da Academia Real das Sciencias de Lisboa* 1:345–378
- Sanches Dorta B (1799a) Observações Astronomicas, e Meteorologicas feitas na Cidade do Rio de Janeiro no anno de 1784. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa* 2:347–368
- Sanches Dorta B (1799b) Observações Astronomicas, e Meteorologicas feitas na Cidade do Rio de Janeiro no anno de 1785. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa* 2:369–401
- Sanches Dorta B (1812a) Observações Astronomicas, e Meteorologicas feitas na Cidade do Rio de Janeiro no anno de 1786. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa* 3:68–107
- Sanches Dorta B (1812b) Observações Astronomicas, e Meteorologicas feitas na Cidade do Rio de Janeiro no anno de 1787. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa* 3:108–153
- Sanches Dorta B (1812c) Taboas, e Diario Meteorologico pertencientes, no Anno de 1788. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa* 3:154–182
- Sanches Dorta B (1812d) Diario Physico-meteorologico de Outubro do anno de 1788 da Cidade de S. Paulo na America Meridional e Oriental. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa* 3:183–187
- Sanches Dorta B (1812e) Diario Physico-meteorologico de Novembro do anno de 1788 da Cidade de S. Paulo na America Meridional e Oriental. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa* 3:188–192
- Sanches Dorta B (1812f) Diario Physico-meteorologico de Dezembro do anno de 1788 da Cidade de S. Paulo na America Meridional e Oriental. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa* 3:193–197
- Slonosky V (2002) Wet winters, dry summers? Three centuries of precipitation data from Paris. *Geophys Res Lett* 29:311–314
- Slonosky V (2003) The Meteorological Observations of Jean-François Gaultier, Quebec, Canada: 1742–56. *J Climate* 16:2232–2247
- Trigo RM, Vaquero JM, Stothers RB (2010) Witnessing the impact of the 1783–1784 Laki eruption in the Southern Hemisphere. *Clim Chang* 99:535–546
- Van Engelen AFV, Buisman J, IJnsen F (2001) A millennium of weather, winds and water in the Low Countries. In: Jones P, Ogilve AEJ, Davies TD, Briffa KR (eds) *History and climate: memories of the future?* Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp 101–124
- Vaquero JM, Trigo RM (2005) Results of the Rio de Janeiro magnetic observations 1781–1788. *Ann Geophys* 23:1881–1887
- Vaquero JM, Trigo RM (2006) Identification of possible intense historical solar storms during the years 1781–1788 inferred from aurorae and geomagnetic observations in Rio de Janeiro. *Sol Phys* 235:419–432
- Vaquero JM, Trigo RM, Gallego MC (2005) A “lost” sunspot observation in 1785. *Astronomische Nachrichten* 326:112–114
- Vargas G, Ortlieb L, Rutllant J (2000) Historical alluvial episodes in Antofagasta, Chile, and their relationship with El Niño/Southern Oscillation events. *Revista Geológica de Chile* 27:155–174
- Wang XL (2003) Comments on “Detection of Undocumented Change-points: A Revision of the Two-Phase Regression Model”. *J Climate* 16:3383–3385

3.5. Las primeras observaciones meteorológicas registradas a gran altitud:

Antisana, 1846, D.C. Aguirre (Farrona et al., 2015)

En este estudio se presentan las variables meteorológicas mensuales (temperatura, presión y precipitación) tomadas en Antisana (Ecuador) a 4060 m sobre el nivel del mar desde diciembre 1845 a diciembre 1846 por el Dr. Carlos Aguirre Montúfar, y publicadas en las Actas de la Academia de Ciencias Naturales, en París (Comptes Rendus de l'Académie des Sciences) (Aguirre, 1851). Cabe indicar que el Antisana es un estratovolcán situado en el norte de los Yes, en Ecuador, a 50 kilómetros al sur este de Quito, con un extenso glaciar del que depende el suministro de agua de la zona.

Para ello, se procedió a la procura documental en archivos históricos. En este caso se han encontrado los resúmenes de las observaciones realizadas por el propio observador, tras el envío de los mismos a dicha Academia. Han sido además localizadas otras fuentes que hacen referencia a los mismos, y que corroboran la validez de la información registrada por Carlos Aguirre (véase Boussingault, 1880).

Tras la búsqueda y selección de las fuentes, se procedió a la posterior digitalización de los registros, la cual fue realizada de forma manual. A partir de entonces, se examinaron las observaciones meteorológicas históricas. Desafortunadamente, no se dispone de muchos metadatos. No obstante, al ajustar y comparar las observaciones de Carlos Aguirre con la climatología actual se observa una buena correlación entre ambas, aclarando así posibles dudas sobre la homogeneidad de los datos.

Puesto que la zona de estudio se encuentra bajo la influencia de la Oscilación del Sur, nos preguntamos si durante el periodo de estudio se produjo alguna intensificación de la misma. Las reconstrucciones de eventos ENSO realizadas hasta ahora detectan un posible suceso durante el periodo en el que Carlos Aguirre realizó sus observaciones. En consecuencia, estos registros adquieren más valía aún por el papel que desempeñan en la detección de un evento de este tipo. Así, atendiendo a las observaciones del científico, se puede indicar que tuvo lugar un evento La Niña en aquel año, atendiendo a las gries precipitaciones registradas en el Antisana.

Cabe destacar que, hasta donde llega nuestro conocimiento, este conjunto de datos proporciona las primeras observaciones instrumentales continuas recogidas a más de 4.000 m sobre el nivel del mar, con las peculiaridades que este gran valor de altitud les confiere. Las mismas permiten profundizar en el conocimiento de la variabilidad climática en América del Sur. Además, estudios

de este tipo demuestran que los registros meteorológicos preinstrumentales también son útiles para la comprensión del cambio climático en zonas de gran altitud.

The first meteorological observations at a tropical high elevation site: Antisana, 1846

A.M.M. Farrona^{1,2}, F. Domínguez-Castro^{3,4}, M.C. Gallego¹ and J.M. Vaquero⁵

1 Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Extremadura, Badajoz, Spain

2 Instituto de Física de Cantabria (UC – CSIC), Avda. de los Castros, S/N, 39005, Santander, Spain

3 Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

4 Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito, Ecuador

5 Departamento de Física, Centro Universitario de Mérida, Universidad de Extremadura, Mérida, Spain

Abstract

Antisana is a stratovolcano with an associated glacier located in the Ecuadorian Andes. Dr. Aguirre made meteorological readings every day, at every hour from the sunshine to the night, from December 1845 to December 1846 at the Antisana using a meteorological station at 4060 masl. Unfortunately, only the monthly average data have been preserved. These meteorological data are studied and compared with the closer modern stations, particularly using monthly values of temperature, rainfall and pressure. According to these data, the year 1846 was rainy and cold in comparison with the current climate. Moreover, these observations have been useful to solve a debate about a possible El Niño event in 1846. The high precipitation in Antisana and Quito in 1846 discards the occurrence of an El Niño event. The probable occurrence of a La Niña event is discussed. These data are the earliest known systematic instrumental meteorological observations taken above 4000 masl.

1. Introduction

Early instrumental measurements have a crucial importance to the understanding of the climate variability at secular time scale and the reconstruction of past climatic conditions. They have been a useful tool to analyse the climate of the pre-instrumental era (Jones et al. 2009; Brázdil et al. 2005; 2010). In particular, they are essential to discriminate between the role played by the natural forcing and the anthropogenic activity in the current climate variability (IPCC 2013). Moreover, early instrumental observations can validate ocean-atmosphere models, covering a long period of time, and are being used to construct high time-resolution climatic reconstructions. Some notable examples are the projects ADVICE (Luterbacher et al. 1999), IMPROVE (Camuffo and Jones 2002), HISTALP (Auer et al. 2007), MILLENIUM (Brázdil et al. 2010a), and ERACLIM (<http://www.era-clim.eu/>). Indeed, if they were taken at a high altitude site, they could be very useful to document and study the effects of climate change at high elevation site (Pepin et al. 2015). The majority of the early instrumental observations

have been recovered in Europe, North America, and, more recently, some Chinese regions. There are well-preserved collections of historical documents in these geographical zones. However, early instrumental records at high altitude are really scarce. Here, it is possible to point out the HISTALP project, which includes the compilation and study of historical instrumental time series of the Greater Alpine region (Auer et al. 2007). These authors studied meteorological series like Jungfrauoch (3580 masl; from 1930 to nowadays) and Gr. St Bernhard (2472 masl; from 1818 to nowadays), among others series.

We must note that early meteorological observations are very scarce in Central and South America. Moreover, they are not continuous in time and were obtained often without a proper shelter. Only few meteorological stations were installed in late 18th and early 19th centuries (Trigo et al. 2010; Farrona et al. 2012) and none was installed at high altitude until recent years. Since the last fifteen years, scientific community has been making great efforts to understand the relationships between different aspects of changes in climate and glacier evolution (Favier et al. 2004; Kaser 2001; Thompson 2000; Thompson et al. 2006; Pepin et al. 2015; Vuille et al. 2015). At present, the state of the climate monitoring in mountainous regions is very poor, and the observations are relative disperse (Beniston et al. 1997; Beniston 2003; Rangwala and Miller 2012).

The aim of this work is to present monthly meteorological variables taken in Antisana, above 4000 masl from December 1845 to December 1846 by Dr. Carlos Aguirre Montúfar (hereafter CAM). It should be stressed that this dataset provides (to the best of our knowledge) the earliest known 1-year-long continuous instrumental meteorological observations above 4000 masl. As CAM mentions: “they probably were the first continuous instrumental meteorological observations made an altitude equal to the Mont Blanc” (Aguirre 1851). The Antisana is a stratovolcano situated in the northern Andes, in Ecuador, at 50 km South East of Quito. It is the fourth highest volcano in Ecuador, with 5704 masl. It must not be forgotten the role that the glaciers of the Andes (specially the tropical ones as Antisana) play assuring year-round flows for agriculture, potable water, power generation, and ecosystem integrity (Vergara et al. 2007). Tropical glaciers are widely studied by its importance to understand the relationship between different characteristics of the changes in climate and glacier evolution. It is thought that global warming affects to tropical glaciers and that the warming rate is amplified with

elevation (Favier et al. 2004; Kaser 2001; Thompson 2000; Thompson et al. 2006; Pepin et al. 2015).

2. History, metadata and instruments

2.1. About the history

From 1822 until 1831, the French scientist Jean Baptiste Boussingault explored many parts of Colombia and Ecuador, to describe their natural characteristics from a modern scientific point of view. He recorded in his memories the aim of the final stage of his journey was to explore the volcanoes located between Popayan and Quito. The Antisana volcano was one of them (Espinosa 1991). Nevertheless, unfortunately, Boussingault caught the ophthalmia occasioned by the reflection of the sun rays in the snow during the ascension to Antisana. For this reason, he found his purpose to be impracticable, and he had to come back to Quito. Several years later, he found a younger scientist who accepted to continue with this endeavour. He was CAM, a distinguished student in the Central School of Quito (Boussingault 1880). Probably, they knew each other through Alexander von Humboldt. Boussingault and Humboldt wrote to each other over their entire lives (Hampe 2002). In 1802, Humboldt was welcomed to Quito by the father of CAM, Juan Pío Montúfar. Humboldt was accompanied in his expedition through Quito province by Carlos Montúfar y Larrea, the uncle of CAM (Hampe 2002). We can highlight that Hampe (2002) indicated that “there was found a document *Rapport sur les observations météorologiques faites à Antisana* (printed in 1851), in the personal legacy of Baron: SB Nachlass Humboldt, Gr. Kasten 12, Nr. 25”.

On December 1845, CAM moves to Antisana with two assistants. He situated his instruments in a camp located at 4060 masl. CAM said that “it was situated at 25 miles east-southeast of Quito and 1160 meters above the city” (Aguirre 1851). The geographical coordinates are: 0° 31' 00" S 78° 13' 54" W (see Figure 1a) (Aguirre 1851a). CAM also indicated: “the farm was not at the summit of a mountain or in a narrow mountain range’s pass. It could be an ancient lake, probably” (Aguirre 1851). He stands out that this place was a bad place to live: cold climate, hard fog, continuous rainfall, frequent snow days, and frosty nights.

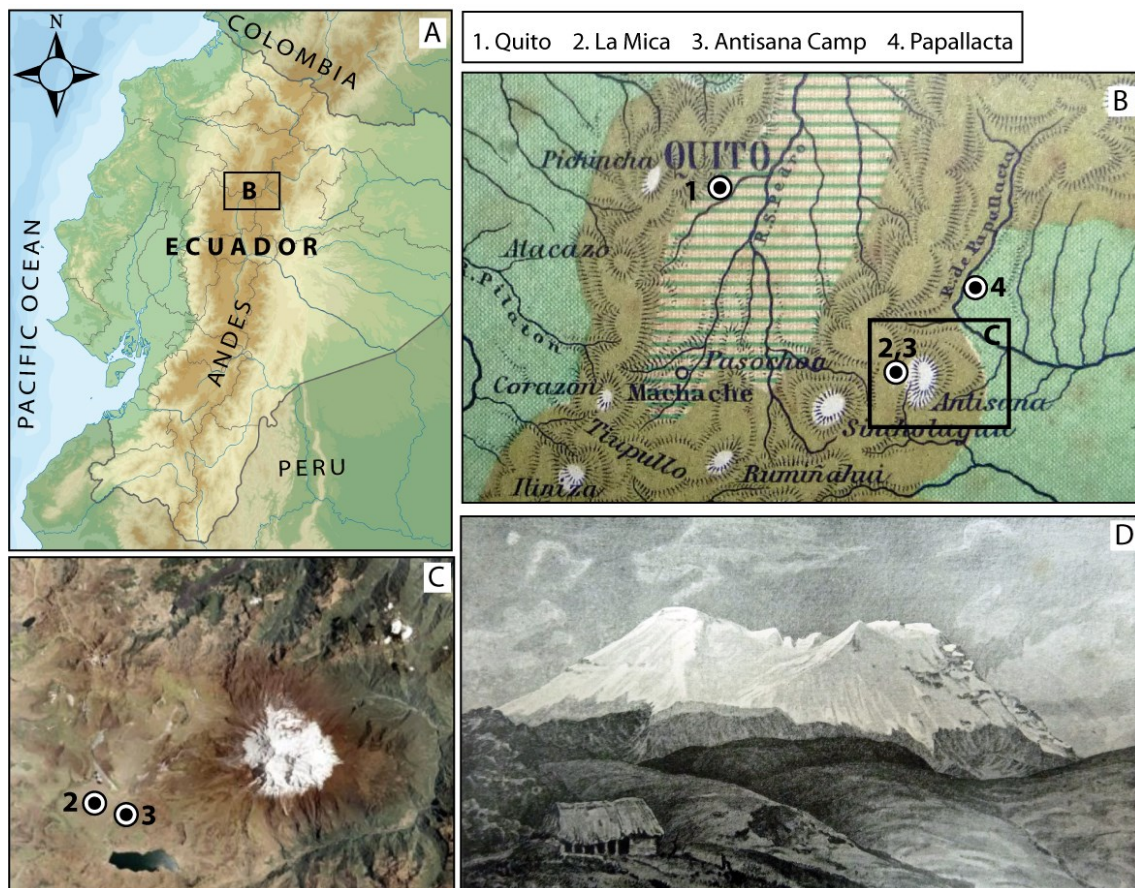


Figure 1. Study area and locations of the meteorological stations used. (A) General map of Ecuador. (B) Detail of the study area with the location of the meteorological stations (modified from Wolf, 1892). (C) Aerial photo of Antisana volcano (2011). (D) Engraving of the Antisana volcano with the “Humboldt House” at the end of 19th century from Wolf (1892).

With all this information seems really probably that CAM took the measurements in the surroundings of the place currently known as “Humboldt House”, a camp to store the cattle. Figure 1b shows a picture of the Antisana with the “Humboldt House” made at the end of the 19th century by Theodor Wolf (Wolf 1892).

2.2 Metadata

On 19th May 1851, CAM presented his meteorological observations at the Permanent Secretariat of the Academy of Natural Sciences in Paris. Some of these records were also published by Boussingault (1880). CAM included (i) monthly mean values of temperature (in Celsius scale) and atmospheric pressure (in mmHg), (ii) monthly amounts of rainfall (in cm), and (iii) solar declination between December 1845 and December 1846. Indeed, CAM noted the number of days of thunder, rain, fog, snow, hail, and storm in that year. Although he had a hygrometer, he only pointed out that the

instrument almost always showed 74°, without other kind of information about the hygrometer.

CAM took meteorological readings every day, at every hours, from the sunshine into the night (even, sometime, all night) (Aguirre 1851). Although he did not explain how he computed the monthly temperature and pressure averages, we consider that he used the observations taken at different hours of the day. Mean temperature values computed from the observations taken from 6 a.m. until 6 p.m. and from the maximum and the minimum temperature in each month are shown in Boussingault (1880). In both cases, these mean values were calculated as the arithmetic mean of the observations (first case) and the extreme values (second case). Nevertheless, none match with the data showed by CAM (Aguirre 1851). We suspect that, in his document, CAM shown the arithmetic mean of all the available observations at different hours. On the other hand, the author indicated the minimum and maximum value of temperature recording, and the date.

CAM also showed the monthly mean value of atmospheric pressure (Aguirre 1851). These values were probably calculated using the same mathematical procedure. In order to obtain the biggest daily pressure variation, he also corrected the maximum and minimum pressure for thermal expansion. Finally, CAM also showed in his document the monthly mean variation of pressure in millimetres (Aguirre 1851).

CAM specified that rainfall was measured with great regularity including rain, snow, sleet, and hail. Although the amount of precipitation was recorded in all the period, we have not rainfall data for the last trimester of 1846. Nevertheless, it is specified that CAM took these records properly. Unfortunately, the manuscripts were lost (Aguirre 1851) and the rainfall data for October-December are not available.

It is worthy of mention that there are simultaneous meteorological records taken in Antisana and Quito (phenomena and precipitation data) published by Boussingault (1880).

2.3. Instruments

Unfortunately, there is not so much information about the instruments used by CAM. According to Boussingault (1880), we know that he used a Saussure hygrometer and a

barometer by Bunten. We also know that he located the rain gauge at 1 meter above the ground and at a suitable distance from the house.

All the instruments were previously compared with the standard ones at the Paris Observatory (Boussingault 1880). Moreover, CAM found a systematic difference of 50 mm Hg between the measurements of his barometer and the standard barometer of the Paris Observatory. In any case, he corrected this systematic error. Indeed, he applied temperature corrections to the observed heights in the mercury column of his barometer.

Finally, we stress that CAM was so meticulous that he determined the boiling point of water and the temperature of the water stream that flows next to the farm each twenty-four hours (Boussingault 1880).

3. Temperature, rainfall and pressure

3.1. Monthly Temperature

Figure 2a shows the monthly mean temperature records by CAM (Table 1), compared to the monthly mean temperatures for 2000-2013. These current meteorological observations have been recorded at the station called La Mica at 4000 masl and very close (only 2 km of distance) to the place where CAM took his readings. The coordinates of both stations are 0° 31' 13" S 78° 13' 25" W (Mica station) and 0° 31' 00" S 78° 13' 54" W (CAM station) (see Figure 1a). La Mica started to operate in 1996 (only with precipitation measurements) when the municipal water company built a water reservoir near to the Antisana volcano to supply water to Quito.

In particular, the mean monthly temperatures that CAM took lie within the expected range. Nevertheless, the readings of July and August tend to be relatively slightly lower than recent temperature values with a difference equal to -1.39°C and -1.11°C respectively. However, the monthly mean temperature of December 1845 was relatively higher than in the first years of 21th century (+1.23°C). Nevertheless, he declared that the mean monthly temperatures in Antisana present greater differences than ones in the plateaus of Bogotá and Quito. The mean temperature from 1845-46 was 5.06 ± 1.1 °C, a value very similar to the current one (5.0 ± 3.4 °C for the available period 2000-2013). Here, we have to keep in mind that someday CAM did not take meteorological data at

night. So, probably the real monthly temperature was lower than the recorded ones. Therefore, it has to be acknowledged that the analysis represented in Figure 2a is insufficient to allow any robust statement concerning to significant changes in monthly mean temperature between the years 1845/46 and nowadays.

3.2. Rainfall

Aguirre was measuring the rainfall from December 1845 until December 1846. He kept a record of the monthly amounts of rainfall, although we have not the rainfall data taken in the last trimester of 1846. The original monthly rainfall data are in cm, and here we have converted them into mm.

Figure 2b shows the monthly amount of precipitation in the period December 1845 – August 1846 by CAM. Some recent rainfall data are available in the surroundings of CAM station. For the periods 1995–2009 and 1998-2003, data from La Mica station (LM) and Papallacta station (P) (at 0° 21' 54" S 78° 8' 41" W, 3150 masl) are available.

According to these data, December 1845- June 1846 was a very rainy period in comparison to current monthly rainfall. The monthly amount of precipitation that Aguirre recorded was always higher than the current means values. In fact, the amount of precipitation that was accumulated in the period from December 1845 to August 1846 was 1823 mm, whereas in our days (1963/2014) the mean total amount of precipitation from December to August is 592.3 mm and 1125.9 mm in La Mica and Papallacta stations, respectively. Therefore, the difference was very high. Figure 2b also reveals and confirms a great rainfall variability that characterizes this region. The amount of precipitation recorded in these two current stations separated by twenty kilometres approximately follows a pattern totally different. It is due because Papallacta station is more exposed to the humid air that comes from Amazonia (Drumond et al. 2014). In any way, no real dry season exists on Antisana, since at least 75 mm of precipitation falls in each month. In particular, August 1846 attracts our attention: it was a very wet month. Moreover, if we look carefully the Figure 2b, August has a bear trend nowadays in the amount of precipitation, both in Papallacta and La Mica stations.

Here, it is important to cite the statements made by CAM (Aguirre 1851). He specified that, despite the fact that it was supposed at Antisana's height, it rains profusely there. In fact, in order to substantiate it, CAM compared the normal amount of precipitation

for a year in Antisana with other places. Thus, CAM specified in Aguirre (1851) “nine months of observations are sufficient to demonstrate that in Antisana it rains much more than it could be expected, considering the height and temperature of the station”. Previous research studies made CAM believe that precipitation decrease with increasing altitude. Nevertheless, as he showed in his paper “at sea level, there are some places where were taken 200-300 centimetres of annual amount of precipitation”. For example, in Marmato mines (1426 masl) 154-171 cm were recorded; and in Bogotá (2640 masl) were usually recorded 100 cm (Aguirre 1851). Hence, CAM was surprised when he recorded 182 cm in Antisana (4060 masl) as amount of precipitation for nine months. Thus, one can say that the period 1845-46 was much rainier than recent years. Nevertheless, the historical annual values lie well within the expected range, considering the extreme values recorded in Papallacta.

As has been previously mentioned, at the same time, rainfall records were taken in Quito from December 1845 to June 1846 (Boussingault 1880). The quality of these rainfall data was evaluated by comparison with modern data (1881 to 1998) from the meteorological station of Quito Observatory (00° 12' 40" S 78° 30' 00" W and 2850 masl).

As it is possible to see in Figure 2c, the early values of rainfall data were higher than the modern ones, but followed the same pattern (except the values of February and March). This agrees with the record taken by CAM in Antisana. The amounts of precipitation that was accumulated within those 7 months, both in Antisana and Quito, are very similar: 1153 mm and 1166 in Antisana and Quito respectively, whereas the mean total amount of precipitation from December to June in the period 1963-2014 was equal to 801.3 mm (Papallacta station), 473.2 mm (La Mica station), and 858.9 mm (Quito). Thus, we can here deduce that the period 1845/46 was much rainier than recent years.

3.3. Pressure

Fortunately, CAM listed mean daily pressure data (mm Hg) from December 1845 until December 1846 (Aguirre 1851). Moreover, he indicated the diurnal pressure variation and the time in which maximum and minimum daily pressure was recorded. In the same way, CAM also gives the mean monthly pressure and the monthly diurnal pressure variation at Antisana from that year (Aguirre 1851).

We have converted the original values of the barometer readings from mmHg into hPa. As previously we have explained, CAM applied temperature corrections to pressure data. Thus, these corrected barometric values had to be reduced to standard gravity. The value for gravity at Antisana was estimated by the theoretical value of gravity at 0° 31' 00" S 78° 13' 54" W and 4060 masl , using the equations:

$$h_n = \frac{h_0 \cdot g(\varphi, z)}{g_n}$$

$$g(\varphi, z) = g_{\varphi,0} - 3.86 \cdot 10^{-6} z + 1.18 \cdot 10^{-6} (z - z')$$

$$g_{\varphi,0} = g_n \left(1 - 2.64 \cdot 10^{-3} \cos 2\varphi + 5.8 \cdot 10^{-6} \cos^2 2\varphi \right)$$

where φ is the latitude in degrees, z is the altitude above sea level in the place of the observation (in metres), z' is the mean altitude of the region, g_n is the Earth's gravity (9.80665 m/s²), h_0 is the pressure data (in hPa), and h_n is the corrected pressure data (in hPa). Moreover, pressures records were reduced to the sea level using the equation:

$$P_o = \frac{P_n}{e^{\frac{g \cdot z}{R_d \cdot T_o}}}$$

Where R_d is the specific gas constant of dry air (287.04 J kg⁻¹ K⁻¹), P_o is the pressure data at sea level (in hPa), and P_n is the pressure data recorded and corrected (in hPa), and T_o is 288.15 K (+15°C), assuming constant temperature.

Figures 2d and 2e show the daily and monthly pressure readings from December 1845 until December 1846 respectively. Unfortunately, it is not possible to obtain current pressure data for Antisana to compare them because in Ecuador there are very few meteorological stations with barometers. Note that the daily pressure is changeable and uniform through the year and the diurnal variation of the pressure is very small.

Nevertheless, it was possible to obtain modern data of pressure for Quito (Figure 2f). Therefore, we could to compare the monthly pressure data of Quito taken in 1845/46 with the current meteorological observations of the station called “Quito Aeropuerto-DAC” (78° 29' 6" W 0° 8' 24" S and 2760 masl). Note that monthly pressure data of Antisana and Quito follow the same pattern. Moreover, June 1846 was the month in

which the pressure was the highest in Antisana, whereas the pressure of December 1846 was the lowest. In Quito the early values lie well within the expected range, considering extreme values, although in July the pressure was too high (0.45 hPa highest than the current maximum July pressure).

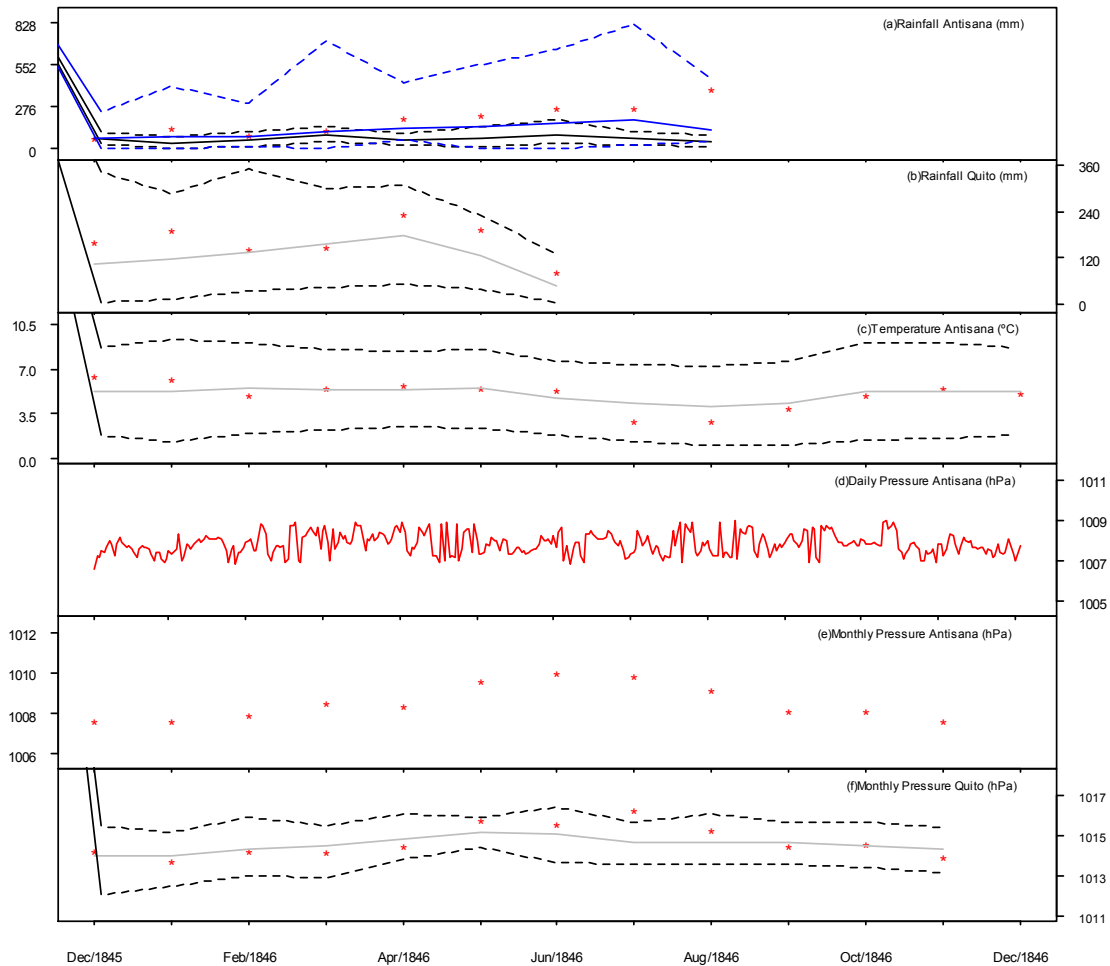


Figure 2. (a) Mean monthly temperature from December 1845 to December 1846 (red dots) including average modern (2000–2013) mean (solid line) and extreme maximum and minimum monthly temperature (dashed grey lines). (b) Mean monthly rainfall for Dec. 1845– August 1846 in Antisana (red dots), including modern mean monthly rainfall (solid lines) and maximum and minimum rainfall (dashed lines) from Papallacta (blue lines) and La Mica (black lines). (c) Mean monthly rainfall for Dec. 1845– June 1846 in Quito (red dots), including modern (1881–1989) mean (grey line) and maximum and minimum (dashed lines) monthly rainfall. (d) Mean daily pressure for Dec. 1845– June 1846 in Antisana (red line). (e) Mean monthly pressure for Dec. 1845– June 1846 in Antisana (red dots). (f) Mean monthly pressure for Dec. 1845– June 1846 in Quito (red dots), mean monthly pressure for 1961 – 1995 in Quito (solid grey line), and maximum and minimum monthly pressure for 1961–1995 in Quito (dashed black lines).

4. An event of La Niña in 1845/1846?

It has been recognized that the impact of ENSO are very important for glaciers in the area of the tropical Andes. There is a general agreement indicating that a significant fraction of the precipitation variability is related to the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) in these places (e.g. Francou and Pizarro 1985; Aceituno 1988; Vuille et al. 2000; Garreaud and Aceituno 2001).

Coastal northern Peru and southern Ecuador are the most directly areas impacted by the El Niño events (Francou et al. 2004). Specifically, as Jornelly et al. (2007) summarized the most contrasting situations observed in the Antisana glacier are caused by El Niño and La Niña phenomena.

During the El Niño (hot phase of ENSO), the increase in temperature and the deficit of solid precipitation favours the occurrence of rains at altitudes, which along with a slight reduction in cloudiness, maintaining the albedo values permanently low. Consequently, increased melt rates characterize El Niño periods (Francou et al. 2004). On the other hand, the cold phases of ENSO (La Niña events) are characterized by cold temperatures, abundant snowfall, and, to a lesser degree, more constant winds and high humidity (Francou et al. 2004; Vicente-Serrano et al. 2015).

In the past, several sequence of documentary chronology of El Niño events has been proposed (Hamilton and Garcia 1986; Quinn et al. 1987; Quinn 1992; Quinn and Neal 1992; Quinn 1993; Ortlieb 1994; Ortlieb 1995; García-Herrera et al. 2008). Ortlieb (2000) detected a possible El Niño or La Niña event in 1846, just when CAM was recording his meteorological data. Ortlieb (2000) performed a search of documents considering evidences from northern Peru and southern Ecuador and using some secondary sources. Specifically, he based this particular suggestion on several historical documents (Basadre 1894; Adams 1905; Labarthe 1914). Other authors did not record this event (Quinn 1987; García-Herrera et al. 2008). Nevertheless, the three works agree with El Niño/La Niña event occurred in 1844/45.

Taking into account the meteorological records of CAM, we can deduce that there was not an El Niño event in 1846. Nevertheless, according to the rainfall data, there could be possible a La Niña event. Although temperature records from December 1845 to

December 1846 lie well within the expected range, the monthly amount of precipitation was always higher than the current values. This leads us to believe that the effects of a La Niña event in the Antisana volcano should have caused the increase of precipitation. Moreover, here, it is important to remember that CAM did not always take meteorological data at night. So, probably the CAM real monthly temperature was lower than the recorded ones, which agrees with the characteristic low temperature in the region during La Niña event.

5. Conclusions

The instrumental observations by CAM show that temperature and pressure of the period Dec 1845 – Dec 1846 in the Antisana appear to fall within the generally expected range of climate variability for the twentieth century. Nevertheless, that period was very rainy in comparison with current precipitation. In this place, this fact could be explained by a La Niña event, when cold temperatures and abundant snowfall and precipitation are characteristic.

These early observations by CAM are of great interest because they can provide rare and not expected information about the climate and climatic variability at a daily resolution for this place of South America. This case study serves as an example to prove that antique meteorological records are very important to the understanding of climate change, specifically at high elevation sites, and helpful to characterize present and past climatological features in the mountainous zones.

Acknowledgements

Authors are in debt with the INAMHI and LMI GREATICE for the current data of several meteorological stations. This work was supported by the PROMETEO project Secretariat of Higher Learning, Science, Technology and Innovation (Ecuador Government) and the project PIS-14-03EPN.

6. References

- Aceituno P (1988) On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector, Part I: Surface climate. *Mon Weather Rev* 116:505–524
- Adams J (1905) Caudal, procedencia y distribución de aguas de la Provincia de Tumbes y los Departamentos de Piura y Lambayeque. *Boletín del cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú*, Lima
- Aguirre C (1851) Rapport sur les observations météorologiques faites à l'Antisana, par M. Carlos Aguirre. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 32:741 – 755

- Aguirre C (1851a) Observaciones meteorológicas hechas en Antisana, por D. C. Aguirre. *Revista de los progresos de las ciencias exactas, físicas y naturales*, 2:526-532
- Auer I, Böhm R, Jurkovic A, Lipa W et al (2007) HISTALP – Historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760-2003. *Int J Climatol* 27:17-46
- Basadre M. (1884). *Riquezas Peruanas*, Lima
- Beniston M., Díaz HF, Bradley RS (1997) Climatic change at high elevation sites: an overview. *Climatic Change* 36:233-251
- Beniston M (2003) Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. *Climatic Change* 59:5-31
- Boussingault JB (1849) *Viajes científicos a los Andes ecuatoriales*, París
- Brázdil R, Pfister C, Wanner H et al. (2005) Historical climatology in Europe – the state of the art. *Climate Change*, 70:363–430.
- Brázdil R, Dobrovolný P, Luterbacher J et al. (2010). European climate of the past 500 years: new challenges for historical climatology. *Climate Change*, 101:7–40
- Brázdil R, Wheeler D, Pfister C (2010a) European climate of the past 500 years based on documentary and instrumental data. *Climate Change*, 101:1–6
- Camuffo D, Jones PD (2002) *Improved Understanding of Past Climatic Variability from Early Daily European Instrumental Sources*. Dordrecht
- Drumond A, Marengo J, Ambrizzi T et al. (2014) The role of the Amazon Basin moisture in the atmospheric branch of the hydrological cycle: a Lagrangian analysis. *Hydrol Earth Syst Sc* 18:2577-2598
- Espinosa A (1991) La misión Boussingault (1822-1831), sus resultados y su influencia en la ciencia colombiana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ACCEFYN)* 18:15-22
- Farrona AMM, Vaquero JM, Gallego MC, Trigo RM (2012) The Meteorological Observations of Bento Sanches Dorta, Rio de Janeiro, Brazil: 1781-1788. *Climatic Change* 115:579-595
- Favier V, Wagnon P, Ribstein P (2004) Glaciers of the outer and inner tropics: A different behaviour but a common response to climatic forcing. *Geophys Res Lett* 31:L16403
- Francou B, Pizarro F (1985) El Niño y la Sequía en los Altos Andes Centrales (Peru y Bolivia). *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines* 14:1–18
- Francou B, Vuille M, Favier V, Cáceres B (2004) New evidence for an ENSO impact on low-latitude glaciers: Antizana 15, Andes of Ecuador, 0°28'S. *J Geophys Res* doi:10.1029/2003JD004484
- García-Herrera R, Díaz HF, García RR et al (2008) A Chronology of El Niño events from primary documentary sources in northern Peru. *J Climate* 21:1948-1962
- Garreaud R, Aceituno P (2001) Interannual rainfall variability over the South American Altiplano, *J Climate* 14:2779–2789
- Hamilton KP, García R (1986) El Niño/Southern Oscillation events and their associated midlatitude teleconnections 1531–1841. *Bull Amer Meteor Soc* 67:1354–1361
- Hampe T (2002) Carlos Montúfar y Larrea (1780-1816), el quiteño compañero de Humboldt. *Revista de Indias* 62:711-720
- Jones PD, Briffa KR, Osborn TJ et al (2009) High-resolution palaeoclimatology of the last millennium: a review of current status and future prospects. *The Holocene* 19:3–49
- Jomelli V, Ginot P, Rabatel A et al (2007) The Little Ice Age in the tropical Andes. In: *Is it the end of snowy heights? Glaciers and climatic change in the Andean*

- Community. Published by the General Secretariat of the Andean Community, IRD, UNESCO and the Spanish International cooperation Agency, Lima
- Knobloch E (2015) Alexander von Humboldt - Jean-Baptiste Boussingault, Briefwechsel. Berlín
- Kaser G (2001) Glacier climate interaction at low latitudes. *J Glaciol* 47:195–204
- Labarthe PA (1914) Las avenidas extraordinarias en los ríos de la costa. *Informes y Memorias de la Sociedad de Ingenieros del Perú* 16:301-329
- Luterbacher J, Schmutz C, et al (1999) Reconstruction of monthly NAO and EU indices back to A.D. 1675. *Geophys Res Lett* 26:2745–2748.
- Ortlieb L (1994) Las mayores precipitaciones históricas en Chile central y la cronología de eventos “ENSO” en los siglos XVI-XIX. *Revista Chilena de Historia Natural* 67:11 7-139
- Ortlieb L (1995) Eventos El Niño y episodios lluviosos en el Desierto de Atacama: El registro de los Últimos dos siglos. *Bulletin de l’Institut Français d’Études Andines* 24:519-537
- Ortlieb L, Hocquenghem AM, Minaya,A (1995) Toward a revised historical chronology of El Niño events registered in western South America. XIV INQUA Congress, Berlin
- Ortlieb L (2000) The documentary historical record of El Niño events in Peru: an update of the Quinn record (sixteenth through nineteenth centuries). In: Diaz H, Markgraf V (Eds.) *El Niño and the Southern Oscillation: Multiscale Variability and Global and Regional Impacts*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 207-295
- Pepin N, Bradley RS, Diaz HF et al (2015) Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature* 5:424-430
- Quinn WH, Neal VT, Antúnez & Mayolo S (1987) El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *J Geophys Res*, 2:14449-14461
- Quinn W.H (1992) A study of Southern Oscillation-related climatic activity for A.D. 622- 1900 incorporating Nile River flood data. In Diaz HE and Markgraf V (eds.), *El Niño: Historical and Paleoclimate Aspects of the Southern Oscillation*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 119-149
- Quinn WH, Neal VT (1992) The historical record of El Niño evgnts. In Bradley R S, Jones P D (eds.). *Climaate Since A.D. 1500*. Routledge, London, pp 623-648
- Quinn WH (1993) The large-scale ENSO event, the El Niño, and other important features. *Bulletin de l'Institut français d'études andines* 22:13-34
- Rangwala I, Miller JR (2012) Climate change in mountains: a review of elevation-dependent warming and its possible causes. *Climatic Change* 114:527-547
- Thompson LG (2000) Ice core evidence for climate change in the Tropics: implications for our future. *Quaternary Sci Rev* 19:19–35
- Thompson LG, Mosley-Thompson E, Brecher H et al (2006) Glaciological evident of abrupt tropical climate change: past and present.
- Trigo RM, Vaquero JM, Stothers RB (2010) Witnessing the impact of 1783-1784 Laki eruption in the Southern Hemisphere. *Clim Change* 99.535-546.
- Vergara W, Deeb AM, Valencia AM, et al(2007) Economic impacts of rapid glacier retreat in the Andes, *Eos, Transactions American Geophysical Union*, doi 10.1029/2007EO250001
- Vicente-Serrano S, Aguilar E, Martínez R et al (2015) The complex influence of ENSO on droughts in Ecuador. *Clim Dynam*, submitted
- Vuille M, Bradley RS (2000) Mean annual temperature trends and their vertical structure in the tropical Andes. *Geophys Res Lett* 27:3885–3888

Vuille M, Franquist E, Garreaud R, et al (2015) Impact of the global warming hiatus on Andean temperature. *J Geophys Res Atmos*, doi:10.1002/2015JD023126
Wolf T (1892) *Geografía y Geología del Ecuador*. Leipzig

CONCLUSIONES

Los fenómenos atmosféricos han condicionado y condicionan al ser humano desde su origen. Aunque no es hasta principios del siglo XVII cuando surgen los primeros instrumentos meteorológicos que permitirían realizar observaciones y, por tanto, los primeros estudios en el ámbito, existen otros muchos tipos de fuentes, conocidos como proxies, que proporcionan información sobre el tiempo que caracterizó a las épocas previas y los eventos extremos y/o poco frecuentes que se sucedieron. La paleoclimatología es la rama de la ciencia que se encarga de estudiar dichos proxies (Bradley, 1999).

Enmarcado en este ámbito de investigación, nos encontramos con la climatología histórica. Esta rama de conocimiento centra su actividad en la recuperación y análisis de información meteorológica y climática obtenida exclusivamente en fuentes documentales históricas (Brázdil, 2005; Carey, 2012; Mauelshagen, 2014).

Existe una cantidad ingente de fuentes documentales que contienen evidencias de variaciones climáticas o información sobre sucesos extremos, por poco frecuentes, guardadas y ubicadas en la actualidad en archivos históricos, bibliotecas, colecciones... En la Sección 2, se detallaron las diversas clasificaciones de las mismas de acuerdo con su contenido y su origen (Pfister et al., 2008; Brázdil et al., 2010).

Desplazándonos en la línea temporal, nos encontramos con la rama conocida en la actualidad como la Climatología del Período Instrumental Moderno o Periodo preinstrumental. Esta subárea de conocimiento centra sus estudios en las observaciones instrumentales y descripciones de eventos climáticos o geofísicos, recogidos en el periodo previo a la creación de redes meteorológicas coordinadas entre el siglo XIX (Pfister et al., 2008).

Las series de registros susceptibles de ser analizadas desde un punto de vista cuantitativo aportan información muy valiosa para conocer la fluctuación que algunas variables meteorológicas (como la temperatura, la presión y la precipitación) han experimentado a lo largo del tiempo (Pfister et al., 1999; Dobrovolný et al., 2010). No obstante, el estudio de las mismas está condicionado a la homogeneidad de las series.

En la actualidad, existe una amplia red de estaciones meteorológica más o menos reciente, cuyo origen data a finales del siglo XIX. Junto con la creación y puesta en marcha de las mismas, se establecieron una serie de normas procedimentales de observación relativas a horarios, uso y colocación de la instrumentación. Ello ha permitido que, en la actualidad, la comunidad investigadora disponga de series homogéneas que se pueden comparar entre sí (Middleton 1964; 1966).

En este trabajo se han presentado varios estudios enmarcados en el ámbito de la Climatología Histórica, relativos a recuperación de series de observaciones meteorológicas y eventos poco frecuentes de la época preinstrumental. Hemos podido comprobar cómo el contenido informativo de estos documentos es muy rico, tanto desde un punto de vista histórico como desde una perspectiva científica. Por un lado, nos dan información de primera mano del desarrollo de la ciencia de entonces y su contexto. Por otro, permiten reconstruir con cierto grado de fiabilidad el comportamiento de las variables climáticas, así como entender las variaciones sufridas en el clima en el transcurso del tiempo. Por último, las descripciones de eventos poco frecuentes por entonces acontecidos aportan luz sobre la naturaleza, intensidad y características de los mismos.

Es evidente que estos registros y descripciones nos ofrecen una excelente oportunidad para consolidar y ampliar nuestra comprensión del clima a lo largo del siglo XVIII y XIX, y conocer de primera mano eventos poco frecuentes que, por aquel entonces, se sucedieron. En concreto, los registros y descripciones de eventos poco frecuentes presentados en estos trabajos de Brasil, España, y Ecuador, son realmente útiles para estudiar el clima y sus anomalías en el pasado, así como para determinar la intensidad y el carácter de dichos sucesos en estas zonas geográficas específicas. A continuación, se exponen las principales conclusiones extraídas en cada uno de ellos, de forma independiente:

- Farrona et al. (2011): La Tormenta Solar de Carrington, acontecida en agosto de 1859, fue de tal intensidad que sus efectos se hicieron visibles a bajas latitudes. Así lo corrobora el conjunto de relatos recogidos en fuentes periodísticas españolas de las ciudades de Sevilla, Granada, Tortosa, Madrid y algunas otras ciudades del norte y oeste de la península, que han sido rescatados y estudiados en este trabajo. De esta forma, se pone de manifiesto cómo estas fuentes nos permiten recomponer el desarrollo y la fortaleza de eventos poco frecuentes como la Tormenta de Carrington, suceso que puso inicio al desarrollo de una nueva área de estudios, relativa al análisis de las relaciones del sistema Sol-Tierra.
- Farrona y Vaquero (2012): En la actualidad, la naturaleza de los conocidos como rayos globulares sigue siendo desconocida. Descripciones como la presentada en este trabajo, realizada por el geógrafo portugués Bento Sanches Dorta, aporta información que permiten comprender y explicar fenómenos de este tipo. Así, este estudio viene a corroborar la relevancia que tienen registros históricos, como éste, para el análisis de eventos poco frecuentes y/o extremos.

- Farrona et al. (2015): A través de una comparativa de las medidas de temperatura y presión tomadas en el volcán Antisana (Ecuador) a 4060 m sobre el nivel del mar, entre diciembre 1845 y diciembre 1846, con registros instrumentales modernos, podemos observar cómo los valores termométricos y barométricos parecen estar dentro del rango esperado. Sin embargo, los registros de precipitación nos revelan que ese año fue especialmente lluvioso, si lo comparamos con la precipitación mensual actual. Esto nos lleva a pensar que un posible episodio de La Niña pudo darse ese año. Así, este tipo de estudios nos sirven de ejemplo para demostrar que los registros meteorológicos de la época preinstrumental resultan de enorme importancia para describir la variabilidad climática del pasado, ayudando a determinar la frecuencia e intensidad de determinados episodios de sucesos, en este caso ENSO.
- Farrona et al. (2012): A partir del análisis de los datos de temperatura, presión, precipitación, y viento, recogidos por Bento Sanches Dorta, entre 1781-88 en Río de Janeiro, comparados con observaciones recopiladas en el período de referencia, observamos que dichos datos son de gran utilidad para el estudio de la variabilidad climática, ampliar nuestro conocimiento sobre el clima de esta región a finales del siglo XVIII, y para tener un mayor conocimiento de la variabilidad estacional e interanual. Por otro lado, cabe destacar la descripción por parte del científico portugués de unos sucesos anómalos relacionados con la persistencia de niebla seca, inusual e intensa, asociada con los efectos climáticos de la erupción del volcán Laki en Islandia (Trigo et al. 2010).

Como previamente fue especificado, se ha realizado también una importante contribución en dos trabajos relativos a recuperación de series de observaciones en la Península Ibérica y Latinoamérica (véase anexo I y II), datadas en el siglo XVIII y XIX. Esto ha permitido incrementar el número de series disponibles de forma considerable, siendo alguna de ellas especialmente interesante por su longitud temporal y su periodicidad.

El conocimiento del clima del pasado nos da pistas e indicios de su posible comportamiento futuro. Por ello, series de este tipo, con las que se puede estudiar la variabilidad climática del pasado a diferentes escalas temporales, son enormemente útiles para entender y prever cómo variará el clima en un futuro no muy lejano. Profundizar en ello nos permitirá percibir y ser conscientes del efecto antropogénico, es decir, la influencia del ser humano sobre el sistema climático terrestre. Por último, estos registros climáticos presentados pueden servir de gran utilidad para mejorar los modelos que, en la actualidad, tratan de simular el clima futuro. Igual

que existen modelos que simulan el tiempo a corto plazo, otros tratan de reproducir posibles cambios a una escala temporal larga. La validación de los mismos se puede realizar comprobando cómo dichos modelos imitan las variaciones conocidas en los períodos previos. Para ello, la información registrada en estas series, resulta fundamental.

Por otro lado, cabe resaltar la utilidad que estos estudios, principalmente relativos a episodios extremos y eventos poco frecuentes, pueden llegar a tener para organismos públicos y privados. Así, desde un punto de vista preventivo, la información aportada puede ser de gran utilidad para estas instituciones con el objeto de asegurar una mejor gestión del desarrollo económico y social.

A su vez, cabe indicar que estas investigaciones, además de poner a disposición de la comunidad investigadora nuevas series de registros en España y Latinoamérica, también implica un reconocimiento a la labor realizada por aquellos científicos que, durante los siglos XVIII y XIX, dedicaron gran parte de su tiempo a esta labor, contribuyendo así al desarrollo de la ciencia en estos países.

Trabajos de este tipo, de forma simultánea, revelan retos y oportunidades para futuras investigaciones que pueden afrontarse mediante esta disciplina. Así, en el transcurso de estos estudios, se pone al descubierto y se toma conciencia de la cantidad de lagunas geográficas que existen en la actualidad en este ámbito y, a la par de la abundante información relativa al tiempo y al clima que podemos encontrar en archivos históricos que permitirían resolver este problema. A día de hoy, a pesar del avance experimentado en Climatología Histórica en los últimos tiempos, la disciplina tiene grandes posibilidades de desarrollo, por dos motivos principales. Por un lado, cabe resaltar la cada vez mayor relevancia que tiene profundizar en el conocimiento del cambio climático, la variabilidad climatológica, y la frecuencia de eventos extremos. Por otro, existe una cantidad ingente de fuentes documentales con información de carácter climática y/o ambiental que está aún sin explotar. En consecuencia, existe una demanda y una inclinación creciente por recuperar observaciones instrumentales de buena calidad que aporten información sobre las condiciones climáticas en el pasado. Esto nos apremia a mirar con una perspectiva positiva hacia el futuro de la disciplina y su evolución.

ANEXOS

ANEXO I. Primeros registros meteorológicos españoles (1780-1850)

Con este artículo se pone a disposición de la comunidad investigadora un conjunto series de observaciones meteorológicas de la época preinstrumental, registradas en 16 ubicaciones diferentes de la Península Ibérica, siendo algunas especialmente importantes por su resolución (diaria) y extensión temporal (decadal). En concreto, las ubicaciones de las series recuperadas son: Ferrol, la Coruña, Santiago de Compostela, Bilbao, Palencia, Badajoz, Soria, Zaragoza, Madrid, Mallorca, Valencia, Carcaixent, Sevilla, Granada, Málaga, Cádiz. Para ello, se ha realizado una intensa búsqueda en archivos históricos, cubriendo una vasta cantidad de tipologías en cuanto a fuentes documentales se refiere.

En concreto, la aportación realizada por la doctoranda en este trabajo está vinculada con la recuperación, digitalización y análisis inicial de las series de Valencia y Zaragoza.

- Valencia (1804-1850): Los registros diarios estaban contenidos en periódicos de la época (Diario de Valencia, Diario Mercantil de Valencia y Diario Oficial de la Universidad de Valencia). Se tratan por tanto de fuentes individuales y directas. Las variables meteorológicas registradas fueron temperatura, presión, humedad, dirección de viento y estado del cielo. Desafortunadamente, se dispone de escasos metadatos con los que estudiar los registros recopilados.
- Zaragoza (1798-1800). Al igual que en el caso anterior, las observaciones (temperatura y presión diaria) fueron publicadas en un periódico (Diario de Zaragoza). De la misma manera, podemos indicar que estamos ante fuentes individuales y directas. Los metadatos disponible de esta serie también son escasos. Se desconoce información sobre el observador, el lugar de observación y los instrumentos utilizados para ello.

En su caso, tras la recuperación de las mismas, se procedió a su digitalización manual. Un análisis preliminar de los registros fue realizado para estudiar los posibles errores de transcripción y/o repetición de valores de forma consecutiva. No obstante, para este estudio, dichas series no se estudió la homogeneidad de dichas series.

En concreto, cabe destacar que la serie de Valencia junto con la de Madrid, debido a su prolongación temporal, ha servido para mejorar el conocimiento de los efectos en nuestra península de la erupción del Volcán Tambora en abril de 1815. Así, a través de una visualización de las anomalías, previamente calculadas para ambas series, se observa cómo durante el verano del año 1816 se produjo un descenso notable de las temperaturas (anomalía negativa).

Aunque para esta investigación las series no hayan sido estudiadas en término de homogeneización y/o calibración, cabe resaltar la valía del trabajo desarrollado por tres motivos. Por un lado, se ha procedido así a la recuperación de una vasta cantidad de datos meteorológicos de la Península Ibérica, desconocidos hasta el momento, datados entre 1780-1850, aumentando así de forma considerable la disponibilidad de registros meteorológicos para este período. Por otro, cabe indicar que la propia inercia del trabajo realizado, en cuanto a búsqueda de series se refiere, ha dado lugar a que, en el transcurso del estudio se haya ido forjando y desarrollando un mayor conocimiento sobre la historia y la evolución de la meteorología en la península. Por último, señalar que la recuperación de este tipo de registros ha servido también para arrojar luz sobre el impacto sobre el clima de España de la erupción del volcán Tambora.

Early Spanish meteorological records (1780–1850)

F. Domínguez-Castro,^{a*} J. M. Vaquero,^a F. S. Rodrigo,^b A. M. M. Farrona,^c M. C. Gallego,^a
R. García-Herrera,^{c,d} M. Barriendos^{e,f} and A. Sanchez-Lorenzo^{g,h}

^a Department of Physics, Universidad de Extremadura, Badajoz, Spain

^b Department of Applied Physics, Universidad de Almería, Almería, Spain

^c Departamento Física de la Tierra II, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain

^d Department of Sedimentary Geology and Environmental Change, Geosciences Institute IGEO (CISC-UCM), Madrid, Spain

^e Department of Modern History, Universidad de Barcelona, Barcelona, Spain

^f Catalan Institute of Climate Sciences (IC3), Barcelona, Spain

^g Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zurich, Zurich, Switzerland

^h Department of Physics, Universidad de Girona, Girona, Spain

ABSTRACT: This article summarizes recent efforts on early instrumental data recovery in Spain conducted under the Salvà-Sinobas project. We have retrieved and digitized more than 100 000 meteorological observations prior to 1850 in Spain. This data set contains measurements of air temperature, atmospheric pressure, wind direction and state of the atmosphere in 16 places located in Iberia and the Balearic Islands. Most of the observations are made on a daily basis. However, monthly and annual information has also been retrieved. The time coverage of the series is not homogeneous, with the earliest records starting in Seville in 1780. Prior to this work only two series were available in Spain (i.e. Cadiz and Barcelona), so this data set represents a great advance in the early data availability for Spain. Due to the lack of metadata in most of the series, their interpretation must be made with caution. Copyright © 2013 Royal Meteorological Society

KEY WORDS Iberian Peninsula; early meteorological observations; air temperature; atmospheric pressure; wind; rainfall

Received 28 December 2012; Revised 13 March 2013; Accepted 30 March 2013

1. Introduction

The meteorological observations made during the early instrumental period allow us to extend climate data records prior to the industrial revolution at local and regional scales. Moreover, early instrumental series are very useful to extend the overlapping periods with proxies, allowing a better calibration. The early instrumental series, when adequately verified, corrected and homogenized, are useful to understand rare and extreme events. So, the early instrumental observations (EIOs) have received much attention, with a large number of series being retrieved over the last three decades over the world.

Europe is the continent where more EIO have been recovered due to the fact that it holds the richest historical archives. Thus, different initiatives have been developed with the objective of rescuing them as the ADVICE (Luterbacher *et al.*, 1999) IMPROVE (Camuffo and Jones, 2002), HISTALP (Auer *et al.*, 2007), MILLENIUM (Brázdil *et al.*, 2010) and ERA-CLIM (<http://www.era-clim.eu/>) projects. As a consequence, the EIO series available in Europe start in the

17th and 18th centuries (see Manley, 1974; Camuffo *et al.*, 2010; Cornes *et al.*, 2012; Camuffo and Bertolin, 2012; Brázdil *et al.*, 2012 and references therein). In other parts of the world the effort and possibilities to recover long EIO series has been smaller. Nevertheless, some initiatives have reported some interesting series, e.g. in Japan (Können *et al.*, 2003; Zaiki *et al.*, 2006), South Korea (Wang *et al.*, 2007), Canadian Arctic (Przybylak and Vizi, 2005), the United States (Baron, 1995; van der Schrier and Jones, 2008; Burnette *et al.*, 2010), India (Sontakke and Singh, 1996; Allan *et al.*, 2002; Sontakke *et al.*, 2008), Australia (Gergis *et al.*, 2009), Brazil (Farrona *et al.*, 2012) and Africa (Gallego *et al.*, 2011; Nicholson *et al.*, 2012).

However, some European regions are still poorly covered by EIO. This is the case of the Iberian Peninsula, where the EIO series available are: Barcelona 1780–1989 (Rodríguez *et al.*, 2001), Cadiz 1786–1996 (Wheeler, 1995; Barriendos *et al.*, 2002; Gallego *et al.*, 2008; Rodrigo, 2012), Gibraltar 1777–2010 (Wheeler, 2006; Wheeler, 2007; Wheeler, 2011; Wheeler and Bell, 2012), Lisbon and some short series in Portugal (Alcoforado *et al.*, 2012; Dominguez-Castro *et al.*, 2012). These EIOs are insufficient to characterize a territory with high climate variability due to its geographical position and its complex topography.

* Correspondence to: F. Domínguez-Castro, Universidad de Extremadura, Departamento de Física, Avenida de Elvas s/n, 06006, Badajoz, Spain. E-mail: f.dominguez.castro@gmail.com

The main aim of this article is to present and make available the EIO recovered in the Iberian Peninsula in the framework of the Salvà-Sinobas project (<http://salva-sinobas.uvigo.es/index.php/>). We show series from 16 locations, among them, some covering a long period with daily resolution, as Madrid (1784–1850) or Valencia (1804–1850).

The article is organised as follows: the second section gives an overview of the development of the meteorology in Spain and explains the main characteristics of the documentary sources where EIO can be found. The third section describes for each of the 16 new series, the time span, observers, variables and metadata, when available. Finally, discussion and conclusions are provided.

2. Historical context

Meteorology experienced significant progress in Europe during the second half of the 17th century. However, in Spain it started to develop only during enlightenment. A good example is that, although the first network of weather stations was established in Europe in 1654 (Rete Medicea), the first Spanish official initiative of this kind occurred in 1858 (Anduaga Egaña, 2012).

After the War of the Spanish Succession (1701–1714) there were some initiatives in pre-enlightenment scholars, also known as ‘novatores’, for the promotion of scientific research and meteorological observations. Francisco Fernández de Navarrete, physician to Philip V, had the intention to make a network of meteorological observers in Spain but his initiative would not have continuity (García and Giménez, 1985; García Hourcade, 2002).

In the late 18th century, at the peak of the enlightenment, the nascent economic and cultural recovery and attitude of the monarchy allowed the development of activities related to meteorological observation in different areas:

The Spanish Army and Navy: The Spanish Armada generated a movement of interest in astronomy and meteorology aspects due to its obvious application in trans-oceanic navigation. In the city of Cadiz a renewal movement created the School of Midshipmen with an astronomical observatory (Lafuente and Sellés, 1988; González González, 1992). Alejandro Malaspina (1754–1809) and the Minister of Marine in 1790 presented a proposal to create a network of meteorological observatories. This project, like many other initiatives, would be blocked by the Napoleonic Wars (García and Giménez, 1985). Despite many difficulties, the Navy observations in Cadiz were consolidated thanks to the enlightened professional environment existing in the city and the construction of the Royal Navy Observatory in San Fernando (Barriendos *et al.*, 2002).

The Royal Astronomical Observatory of Madrid (1790) was a statewide initiative that had the help of Navy officers from Cadiz. However, the Napoleonic Wars also disrupted this initiative and would only continue its activity since the mid-19th century (López Arroyo, 2004).

Agricultural meteorology and economic societies: In the late 18th century, patriotic societies began to proliferate in Spain receiving the name of *Sociedades Económicas de Amigos del Pats*. These societies promoted science strongly related to the productive sectors of the country. Therefore, they were interested in meteorology as a support to promote agriculture (Anduaga Egaña, 2012).

Physicians and medical societies: Spanish enlightened physicians were aware of the weather observing initiatives in Europe and its institutional coordination. The second half of the 18th century was relatively peaceful, enabling exchange and dissemination of scientific journals worldwide. A considerable number of doctors started to observe weather in their localities. Facilities were often modest, but their work was methodologically sound using good instruments.

The absence of institutions coordinating effectively the activities of scientists and physicians prevented the actual development of the observations. Additionally, some situations were not favourable for preservation of the observational records. In the transition from 18th to 19th centuries, Spain experienced a traumatic war against revolutionary France (1793–1795), the war against Portugal (1801), the war against the UK (this time allied with France, 1804–1808) and the war against Napoleon (1808–1814). The scientific activities were drastically affected, with destruction of documentation and facilities in war zones. The economic and social situation in Spain did not improve during the first half of the 19th century. In fact, a dynastic conflict originated two civil wars (1833–1840 and 1846–1849).

These factors explain the scarcity of systematic meteorological observations and the problems in accessing the original records. So, very often, local press, compilations and transcriptions are the only available sources, but they do not provide access to basic information about metadata. As a consequence, the preserved documentation is scarce, fragmentary and kept in precarious conditions. The result is a set of widely scattered meteorological series, with short periods of observations, fragmented and with no homogeneous characteristics: each observer had different instruments and working procedures with no continuity in time. For these reasons, tracing and collecting these data is a very time consuming task.

3. Meteorological observations in Spain (1750–1850)

EIO from 16 locations have been retrieved in the framework of the Salvà-Sinobas project. Figure 1 shows their spatial distribution.

Figure 2 shows the variables and length of the rescued series. The covered period ranges from few years (Ferrol, Soria and Badajoz) to several decades (Madrid, Valencia and Cadiz). The comparison of these series with current standard observations is problematic due



Figure 1. Location of the early instrumental series rescued in Spain.

to the inexistence of overlapping with modern series. Anyway, as shown later, the 100 000 or more daily data rescued can be very helpful to characterize specific climatic events or periods in the past. It is also important to note that most of the series are the first known observations for these locations. All of them are freely accessible in the Salvà-Sinobas web page (<http://salvasinobas.uvigo.es/index.php/eng/>) and in international databases as The International Surface Pressure Databank (<http://reanalyses.org/observations/international-surface-pressure-databank>) and the International Surface Temperature Initiative (<http://www.surface temperatures.org/>). Next we provide a description of every rescued series using a geographical order from N to S and W to E.

3.1. Ferrol

We have located a meteorological record from El Ferrol, from 22 April 1788 to 5 November 1788. Air temperature, weather description, wind force and direction were recorded daily. The observation time is not known, but it is probably at midday. The observer was Manuel Díaz de Herrera, a Spanish Navy Officer. Our source is a manuscript book entitled 'Diario de las Observaciones Astronomicas hechas, en este Observatorio del Ferrol, por los oficiales destinados en él' preserved at the Archive of the Royal Navy Observatory of San Fernando (ARNOSF) (Box 131. Signature 17209).

There are two different readings of temperature. The main reading is made with a 'wine spirit' thermometer with Reaumur scale. Daily readings are available from April 29th until September 4th with some gaps. The other reading is short and was taken with a metal thermometer that was located in a Thiout pendulum. However, both

the thermometer readings seem to be erroneous. In fact, Herrera wrote (5 November 1788) 'The thermometer that exists in this observatory is useless' and (29 May 1788) 'the metal thermometer is messed up'.

3.2. La Coruña

Monthly instrumental observations from January 1844 to December 1846 have been found in 'Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar' (Madoz, 1847). A table in volume 7 shows: mean air temperature in Celsius scale; mean atmospheric pressure in Spanish inches and in metres; rainy days; cloudy days; clear days; dominant wind direction and amount of days with this dominant wind direction.

The observer was Benito Sotelo, a medical doctor and Chair of Mathematics in the 'Consulate' so called school of pilots. He took the readings twice a day at 9 a.m. and 12 p.m. in the Panaderas street (current location of the Provincial Museum of Arts).

3.3. Santiago de Compostela

Two years of records at Santiago de Compostela (1849–1850) were published by Antonio Casares (1850, 1851). He was the first holder of the Chair of Chemistry at the University of Santiago. Besides meteorological records, he conducted applied research in industry, agriculture and medicine. Moreover, he was a pioneer in chemical analysis and spectroscopy in Spain.

The readings were made four times per day at 9 a.m., 12 p.m., 3 p.m. and 6 p.m. (Local Solar Time, LST) but only monthly data are available. The measurements include atmospheric pressure [minimum (min), maximum (max) and mean], air temperature (min, max and mean)

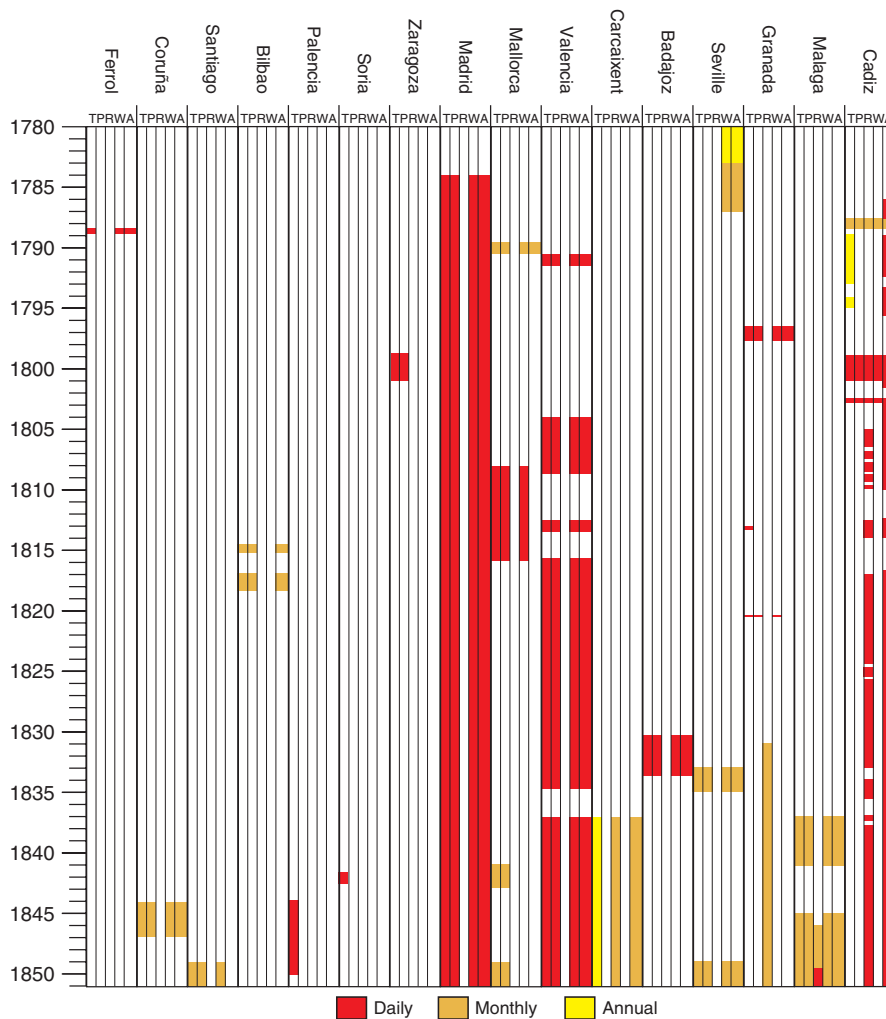


Figure 2. Temporal coverage of the Iberian early instrumental series. Variables: T, air temperature; P, atmospheric pressure; R, rainfall; W, wind direction; A, state of the sky.

and number of rainy days. However, we have little information on metadata. Atmospheric pressure is measured in millimetre and air temperature in Celsius.

3.4. Bilbao

José Joaquín de Ferrer was a Spanish astronomer. We have located a manuscript book with geodetic observations made by Ferrer, including some pages with meteorological readings taken at Bilbao. The book is entitled ‘Observaciones astronómicas y geodésicas’ and is preserved in the ARNOSF with the signature 17270.

Monthly records are available for two periods: August 1814–February 1815 and December 1816–April 1818. The recorded variables are air temperature (min, max and mean), atmospheric pressure (min, max and mean), number of rainy days and number of snow days. Unfortunately, there are no metadata about instruments or methodology and only numerical tables are available.

3.5. Palencia

These measurements were found in a folder in the Archives of the Royal Academy of Medicine of Madrid

(ARAMM) (signature 12-8-Molina-31). This manuscript contains meteorological information from different places and dates, some of them studied in this article i.e. Soria (see next subsection). These manuscripts were compiled by Manuel Rico Sinobas.

The measurements are daily air temperature observations in Reaumur scale from 1 January 1844 to 11 December 1849 with a small gap from 4 May 1844 to 15 November 1844. The measurements were taken two times a day, at dawn (from 5 a.m. to 8:30 a.m., being 7:30 a.m. the most common time) and at night at 11 p.m. The observer and the precise location of the observatory are unknown.

3.6. Soria

These meteorological observations were extracted from a Manuel Rico Sinobas’s manuscript (ARAMM, signature 12-8-Molina-31). Temperature measurements in Soria were taken three times a day (6 a.m., 2 p.m. and 11 p.m.) from 6 July 1841 to 31 March 1842. The record is continuous except for a small gap from 16 January 1842 to 1 February 1842. These measurements appear without

any reference to the instrument used or measurement procedures. However, a comparison (not shown) with the modern observations (1943–2011) of Soria station ($41^{\circ}46'30''\text{N}$; $2^{\circ}28'59''\text{W}$) makes clear that the scale used in the early measurements is Reaumur.

3.7. Zaragoza

The daily meteorological data appear in the newspaper 'Diario de Zaragoza' from 30 December 1798 to 31 December 1800. For unknown reasons, the publication of the meteorological observations was stopped in 1801.

Details of the observatory location and instruments are unknown. The Newspaper mastheads showed the meteorological data in small diary tables. Three-daily measurements of atmospheric pressure and air temperature, taken at 7 a.m., 2 p.m. and 10 p.m. (LST) were included. However, there were some months in which temperature and pressure observations were not made. Temperature data show gaps during the second half of the years 1798 and 1800; pressure from March 1798 until March 1798, from May 1799 until December 1789, and in the first half of 1800.

Temperature data were taken in Reaumur scale and observations of atmospheric pressure were made with a barometer graduated in Paris inches and lines.

3.8. Madrid

The observations retrieved here come from two sources:

Rico Sinobas Manuscripts: Manuel Rico Sinobas was doctor in Physics and Medicine. He was member of the Royal Academy of Exact, Physics and Natural Sciences (since 1852) and of the Royal Academy of Medicine (from 1861). Rico Sinobas was the first to recognize the potential of the documentary sources in the study of climate in Spain. He compiled early instrumental measurements and natural hazards.

In this subsection we focus on his compilation of instrumental series from Madrid, (ARAMM, manuscripts Manuel Rico Sinobas, signatures 12-8-Molina-4/26, 23 vols.). These manuscripts are meteorological observations that Rico Sinobas transcribed from different documents. Frequently, it is difficult to know the observer, the precise location of the observatory or the observational methodology. In general, three periods can be identified:

1786–1804: These records are very discontinuous with important gaps. Pedro Alonso Salanova was responsible for the measurements during the first years (García Couto, 2011). Since 1790 they were made under the direction of Salvador Jiménez Coronado. The measurements during the last years of the period were taken by Juan López de Peñalver in the *Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro*.

1803–1829: This is the most complete and uniform period, with very short gaps. On the other hand we have no information about the observers or the place where the measurements were taken.

1830–1850: Another period with important gaps and discontinuities. During the 1830s the measurements were

taken in the 'Conservatorio de Artes' in the Turco Street 9 and 10 (currently, Marques de Cubas Street). During the early 1840s the observations were made by Mr. Campo in the Astronomical Observatory in the Retiro's Park ($40^{\circ}24'30''\text{N}$; $4^{\circ}44'97''\text{W}$). During the last years of this period the measurements were infrequent and it is unclear where were taken.

Newspapers readings: The gaps in the Rico Sinobas compilation have been filled with daily observations from newspapers.

The first measurements appeared in 1784 in the 'Memorial Literario, Instructivo y Curioso de la Corte de Madrid' founded by Pedro Pablo Trullenc and Joaquín Ezquerria. The Memorial frequently published articles from different sciences such as botany, physics, chemistry, geology, ... The daily meteorological measurements were taken at 7 a.m. or 8 a.m. and were followed by a qualitative summary of the meteorological conditions and a report of the diseases during the month. The meteorological variables reported were atmospheric pressure, air temperature, wind direction and state of the atmosphere.

In 2 September 1786 meteorological measurements started to appear in the mastheads of the daily newspaper 'Diario curioso economico y comercial'. This newspaper was edited by Santiago Thewin, a German naturalized Spanish with his office at Puerta del Sol. Although its name and editors were changing, e.g. 'Diario de Madrid', 'Diario de avisos de Madrid' or 'Diario Oficial de Avisos de Madrid' the newspaper provides meteorological observations until 1917 when it disappeared.

Overall, the meteorological measurements of the newspapers show a similar pattern with three daily observations (mainly 7 a.m., 12 p.m. and 5 p.m.) of air temperature, atmospheric pressure, wind direction and state of the atmosphere (cloudy, rainy, clear, ...), but no metadata appear in the text. Sometimes, but not always, the values of the variables are coincident with the Rico Sinobas records.

3.9. Mallorca

Monthly summaries of meteorological observations are recorded in the 'Semanario Económico', from November 1789 to September 1790. They consist of air temperature (max and min) in Reaumur degrees, atmospheric pressure in French inches and lines and number of clear, cloudy, windy, rainy and snowy days. Monthly predominant wind directions are also recorded.

The newspapers 'Diario de Mallorca' (1808–1814), 'Diario de Palma' (1811–1813) and 'Diario Balear' (1814–1815) published daily data taken at 7 a.m., 12 p.m. and 5 p.m. of air temperature (Reaumur), atmospheric pressure (French inches and lines) and wind direction (8 points), but a preliminary quality check indicates that the data are not very reliable (gaps, repetition of data in successive days, etc.).

Data published in 'Revista Balear' (1843–1844) seem more reliable. This weekly journal published a summary

of monthly amount of rainfall and number of rainy days corresponding to 1841–1842, and daily data taken at 6 a.m. 12 p.m. and 10 p.m. from 29 October 1843 to 24 August 1844. These data are air temperature (Reaumur) and atmospheric pressure (French inches and lines).

In 1854, the medical doctor Fernando Weyler y Laviña, published a medical topography (Weyler y Laviña, 1854) dedicated to the Balearic Islands. In this book, the author included a chapter devoted to meteorology, with monthly summaries of air temperature (max and min) in Reaumur degrees, atmospheric pressure in French inch and lines and relative humidity for the period 1849–1853. This text also contains seasonal summaries of amount of rainfall and number of rainy days for the period 1830–1835, as well as comments on some extreme events recorded in Mallorca during the 1840s.

3.10. Valencia

The first evidence of meteorological observations in the city of Valencia is dated in mid-18th century. These EIO should be attributed to Manuel Rosell y Viciano, a physicist and ecclesiastic from the order of Saint Augustine (Justo Pastor, 1830). Unfortunately, it was not possible to locate these observations in the civil and religious archives of the city.

It is necessary to wait until 1790 for new evidence of meteorological observations in Valencia. They were included in the newspaper entitled ‘*Diario de Valencia*’ (1790–1835) since the beginning of its daily publication on 29 June 1790. For unknown reason the observations were not included since 29 May 1791 until 1 January 1804.

The observer was Francisco Antonio Espinós, a local clockmaker of Valencia who made the observations from his house at the Santa Catalina square in the city centre. A detailed description of the observatory is not provided, but some metadata about the observations and instrument are described in different days of the publication.

Initially, four-daily observations taken at 8 a.m., 1 p.m., 4 p.m. and 8 p.m. LST were published in tables included in the first or second page of the newspaper. On 29 September 1790 the last two observations were replaced by one at 5 p.m. LST. Afterwards, the tables remain with three times per day with slight changes in the hours of the observations. Each daily observation included five variables: air temperature (Reaumur scale), atmospheric pressure (in inches and lines), humidity (with a hygrometer made by the observer and expressed in 24 degrees of humidity, see description below), wind direction (in 32-point compass) and state of the atmosphere (e.g. clear, cloudy, windy, rainy, etc.). Equally, for some days a brief text appeared below the table describing an extreme weather event (e.g. storms, snowfalls, etc.), and, until 1808, rainfall data (in inches and lines).

On 10 April 1804, in the *Diario de Valencia* Espinós described his hygrometer. It was a remaking of the type invented by Francesco Folli (1624–1685) in 1660 (Figure 3). This hygrometer is based on the physical principle that a paper strip shrinks or stretches when relative

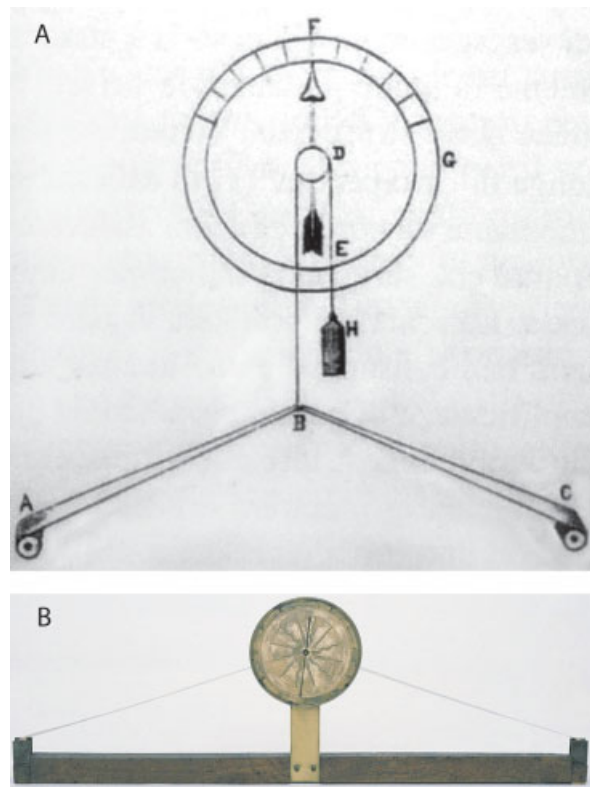


Figure 3. (A) Drawing of the Folli hygrometer (from Borchì and Macii 2009), (B) Folli's paper-ribbon hygrometer (by courtesy of Museo Galileo, Firenze, inv. 2434).

humidity changes. The earliest detailed description of the instrument was made by Vincenzo Viviani (1622–1703) in 1665 (Borchì and Macii, 2009). Espinós improved the sensitivity of the Folli hygrometer including a gear composed of two cogwheels having 30 and 10 cogs, respectively to magnify the strip dimensional changes. The improvement increased by three times the sensitivity of the Folli hygrometer. The scale of the Espinós hygrometer was divided in 24 degrees, i.e. 12 for humidity and 12 for dryness.

The observations were suddenly stopped on 10 August 1834, which was justified because the observer was temporarily indisposed. Nevertheless, the observations were missing until the end of the ‘*Diario de Valencia*’ on 6 May 1835. Espinós cannot be found any more in the census of Valencia, which suggests that he probably died around these dates.

Meteorological observations appeared again in 1837 in the newspaper entitled ‘*Diario Mercantil de Valencia*’ (1833–1872). Curiously, the table with the data contains the same format (three-daily observations and variables) as in the previous newspaper, the Folli hygrometer was also used. Consequently, one reasonable hypothesis is that a relative, colleague or disciple of Espinós continued the meteorological observations in the city of Valencia. In 1841, the Folli's hygrometer is replaced by a Saussure's instrument. This series was published anonymously until 15 June 1863. Since then, the newspaper included the

official meteorological observations made at the University of Valencia, which in fact was established 5 years before, in 1858.

These observations, jointly with those from Madrid help to improve our knowledge of the Tambora effects in Iberia. The Tambora eruption took place in April 1815, and the most identifiable impact in the meteorology of Europe was an important decrease in temperatures during the summer of 1816 (Harington, 1992). The impact of the Tambora eruption in the Iberian Peninsula weather was studied by Trigo *et al.* (2009). They found a cold anomaly of 2–3 °C in July and August of 1816 (with the 1871–1900 period used as reference) in four Iberian series.

Figure 4 shows the monthly anomalies of the midday measurements of the new raw series of Madrid (used only partially by Trigo *et al.*, 2009) and Valencia around 1816. The monthly departures have been calculated for the periods 1803–1829 (Madrid) and 1815–1834 (Valencia). The observations during these periods come from only one documentary source and show the same times of observation and variables during the whole period. So, we consider that the methodology of observation was the same during both periods.

As we expect, the ‘year without summer’ is clearly recorded in both series (Madrid and Valencia) showing a significant negative departures during the summer of 1816.

It is remarkable that both series show similar trends during the overlapping period (June 1816–December 1829). The temperature drop during the summer of 1816 is clear in Valencia and probably affected all the SE of Iberia. In Madrid and Valencia there are negative departures since June 1815–December 1816, but the largest departures occurred during July and August 1816. It is interesting to note that Valencia in September shows a departure as great as in July and August but in Madrid the temperature had already recovered.

3.11. Carcaixent

Salvador Bodí y Congrós made systematic meteorological readings from 1837 to 1879 in Carcaixent (close to Valencia). A manuscript book written by Bodí y Congrós is preserved in the Library of the University of Valencia. We have consulted a partial modern edition (Bodí y Congrós, 1986), which reproduces all the meteorological data of the manuscript. Unfortunately, others manuscripts with the original meteorological records taken by Bodí y Congrós are lost.

Bodí y Congrós provides some metadata on their instruments. The thermometer was always the same. It has Reaumur scale, although a Celsius scale was added. He indicates that the rain gauge had a zinc glass of about 30 cm height. He used a thin rod made of walnut wood that was marked in millimetres to measure the height of the water column.

Only three long series can be recovered from the unique manuscript preserved: (1) annual absolute maximum and minimum air temperatures (1837–1851), (2)

monthly number of clear days in the morning and afternoon (1837–1879) and (3) monthly precipitation (1837–1879).

3.12. Badajoz

The earliest known instrumental records of Badajoz appeared in the newspapers ‘Diario de Badajoz’ (from 1 March 1830 to 29 June 1833) and ‘Boletín Oficial y de Avisos de Estremadura’ (from 30 June to 19 July 1833). The Captain General José Sanjuan founded this publication ‘as a means to propagate the improvements of human intelligence’. However, a complete collection of these newspapers has not been preserved (Pulido and Nogales, 1989) and the existing collections show some gaps.

The meteorological variables recorded are air temperature, atmospheric pressure, wind direction and state of the atmosphere. Three daily meteorological observations were recorded at 7 a.m., 12 p.m. and 5 p.m. in winter and at 6 a.m., 12 p.m. and 6 p.m. in summer. We have no information about the exposure conditions of the meteorological instruments and no description of the instruments is available.

Temperature data were recorded on a Reaumur scale with an error of ± 1 °R. Pressure data were given in inches and lines, with an error of ± 0.5 lines. However, we do not know what kind of inches was used. Sixteen points were distinguished for wind direction. Moreover, the source established six categories (clear, cloudy, partially cloudy, mist, rain and snow) to describe the state of the atmosphere.

3.13. Seville

There are various texts related to Seville at the end of the 18th century, written by Nieto de Piña (Nieto de Piña 1785, 1786, 1787) a medical doctor, member of the Academy of Medicine of this city. The author describes the appearance of different diseases during the period 1784–1786, relating them with the rainfall regime during the previous years. Although rainfall quantitative measurements are not provided, the number of annual rainy days and the predominant wind direction observed in the city during the period 1778–1782 are recorded. After this date, since January 1783, his description is more detailed, with monthly resolution until December 1786. During the last year, he provides temperature data and storms of certain critical days.

There is a article published in 1851 by Miguel Colmeiro (1816–1901), member of various scientific societies and author of numerous botany treatises with monthly data from Seville published in the newspapers corresponding to the years 1833, 1834, 1849 and 1850 (Colmeiro, 1851). Data are monthly mean minimum and maximum temperature (Reaumur), mean pressure (French inches and lines), mean relative humidity (%), number of rainy days and predominant wind direction.

These data increase the evidence of the unusual weather at the beginning of the 1780s in the Iberian

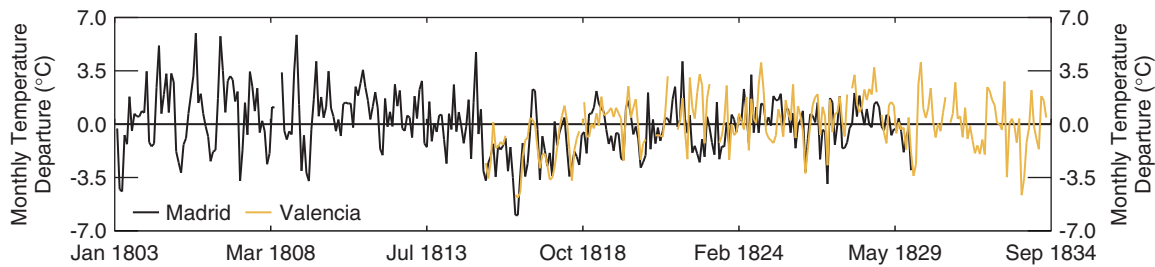


Figure 4. Temperature departure of Madrid with respect to the average of the 1803–1829 period and for Valencia with respect to the 1815–1834 period.

Atlantic coast detected by Alcoforado *et al.* (2012). In fact, Kington (1988) established almost 25 years ago that the 1780s contained extreme precipitation anomalies. Brázdil *et al.* (2010) have pointed catastrophic floods in Central Europe during the winter and spring of 1783–1784, due to heavy rains and snowmelt, and flooding in southern France due to continuous rains. This anomalous winter 1783/1784 has been related to the eruption of the Laki since 8 June 1783 to February 1784. It provoked a widespread sulphuric aerosol cloud (i.e. dry fog) that effected livestock, vegetation and people in Europe causing important social and economic impacts (Highwood and Stevenson, 2003; Thordarson and Self, 2003). But it is not clear that the Laki eruption was the cause of the anomalous climate during this period. According to D'Arrigo *et al.* (2011) the anomalous weather could be explained by the occurrence of a negative North Atlantic Oscillation in combination with El Niño-Southern Oscillation warm event and not by the Laki eruption.

Alcoforado *et al.* (2012) shows the available annual precipitation series in Portugal for the 1780s (i.e. Lamego, Mafra and Lisbon, all of them seaside towns). The three locations show an extremely rainy period between 1784 and 1789. These observations are in accordance with the monthly rainy days of Gibraltar (Wheeler and Bell, 2012) and the Nieto de Piña data shown in Figure 5.

The number of monthly rainy days in Gibraltar and Seville for the period 1783–1786 are highly correlated. The Pearson correlation coefficient is equal to 0.86 (p -value < 0.001). So thanks to these new evidences we know heavy precipitation was also recorded inland during 1783–1786.

3.14. Granada

The meteorological measurements have been extracted from the 'El Mensajero' newspaper, published in Granada from 2 June 1796 to 28 September 1797. It was edited by the mathematician Francisco Dalmau, author of a topographic map of the city published in 1796 (Dalmau, 1796), and member of the Academy of Science of Barcelona. This journal appeared twice a week, on Monday and Thursday. Meteorological information consists in daily data taken at noon of air temperature (Reaumur scale with an error of $\pm 1^\circ\text{R}$),

atmospheric pressure (inches and lines, error ± 0.5 lines), wind direction (16-point compass) and state of the atmosphere, such as cloudiness, rainfall, storms, fogs, etc. The meteorological data cover without gaps, the period between 28 May 1796 and 25 September 1797.

In the first decades of the 19th century, we have found very short records corresponding to newspapers. The 'Diario de Granada. El Publicista' was published since 1 November 1812, and it has meteorological data for the period between 8 January 1813 and 26 February 1813. Data are air temperature taken at 12 p.m. with a Reaumur thermometer (error $\pm 0.1^\circ\text{R}$). The 'Diario Constitucional de Granada' started on 24 March 1820, and it only contains meteorological data corresponding to the month of July 1820. In this case data (air temperature in Reaumur scale with an error $\pm 0.5^\circ\text{R}$, atmospheric pressure in French inches and lines, error ± 0.5 lines and wind direction with an 16-point compass) were taken three times a day, at 7 a.m., 12 p.m. and 3 p.m. The main problem is the lack of information on the conditions of observation, the methods and instruments used by each observer and their precise location.

We also recovered the monthly rainfall days in Loja (Granada province) from 1831 to 1854 (Due Rojo, 1944). The observational record was kept by Victoriano Caro y Nogales, priest of the Santa Catalina de Loja church during the observational period.

3.15. Málaga

In 1852, V. Martínez y Montes, member of the Academies of Medicine of Madrid, Granada, and Málaga, published his topography on Málaga (Martínez y Montes, 1852). In this text he includes meteorological data of the city, with detailed descriptions of metadata. Among the observations he includes data published in local newspapers, observations made by Guillermo Shortliffe (British medical doctor who lived in Málaga during 30 years) and himself. Air temperature data are presented by the author in Celsius scale, atmospheric pressure in French inches and millimetre of mercury and rainfall in Spanish inches and millimetre. Other observations (wind direction and state of the atmosphere) are presented in tables indicating the monthly frequency. Data correspond to the period 1837–1848 with a gap in 1842–1844, for all the variables except rainfall. For rainfall, the author includes total amounts from

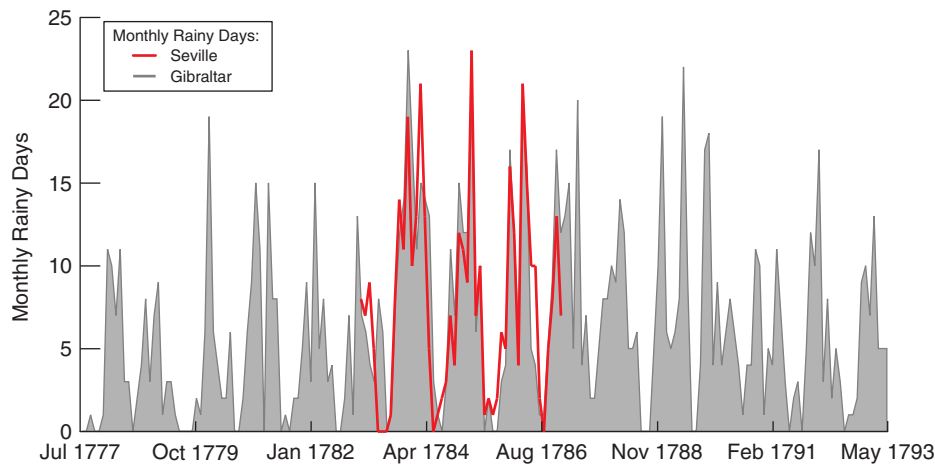


Figure 5. Monthly rainy days from Seville (red line, newly rescued data) and Gibraltar (grey area, provided by Wheeler and Bell, 2012).

September to December and from January to August from 1846 to 1851, and daily amounts from September 1849 to August 1851.

Temperature measurements (1837–1848) were taken three times a day (7 a.m., 12 p.m. and 5 p.m.) ‘in the middle of the city, in the shadow in the open air’. Monthly and annual mean values were obtained using the procedure explained by Kaemtz (1843), based on the difference between daily maximum and minimum temperature.

Temperature measured by Shortliffe was used by numerous scientific works of the mid-19th century (see McDougall, 1851; Rochester, 1851; Lee, 1855; Scoresby-Jackson, 1862).

Atmospheric pressure data are presented as monthly mean of the complete period (1837–1848). A French barometer was used, located indoor in the middle of the city, and ‘some’ metres above sea level. The author indicates that the ‘reduction to zero temperature was not made, because the differences would be very small’.

Wind direction was observed in the harbour of the city and using the weathercock of the cathedral tower (in the middle of the city). An 8-point compass was used, and the source includes the monthly frequency in the same time period.

3.16. Cadiz

There are some works in the literature dedicated to study early instrumental series in Cádiz, but most of them focus on temperature, pressure or wind data (Wheeler, 1995; Barriendos *et al.*, 2002; Gallego *et al.*, 2008; Rodrigo 2012).

We have rescued the rainfall and days of rain of the Royal Navy Observatory of San Fernando, the Urrutia brothers record in Cadiz centre and some newspapers like *Diario Mercantil*, *El Globo*, *El Comercio*, *El Nacional*, *Nuevo Defensor del Pueblo*, *Redactor General* and *El Tiempo* (from a detailed description of the documentary sources consulted see Barriendos *et al.*, 2002). The distance between the observatories is only 10 km. The series

retrieved are daily rainfall in millimetres from 1805 with some gaps in the early years 1810–1812, 1814–1816, 1833 and 1835–1836. Previous to these dates we have retrieved the days of rain from 1786 to 1805 with important gaps in 1787–1788, 1792, 1795–1798 and 1802.

The gap of 1787–1788 has been partially filled at monthly resolution thanks to the newspaper *Memorial Literario* that shows monthly meteorological data from Cádiz from December 1787 to March 1788 taken by Sánchez Buitrago. Data consist in a brief monthly summary of the evolution of barometric (French inches and lines) and temperature (Reamur degrees) readings, indicating absolute monthly maximum and minimum values, as well as predominant wind and atmospheric conditions (cloudiness, rainy days, fog and storm days).

Other meteorological observations have been rescued from Arejula (1806). This book is a complete description of the development of a yellow fever epidemic at the beginning of the 19th century. It includes a long chapter showing daily meteorological observations corresponding to 1799 and 1800 (air temperature, atmospheric pressure, wind direction and state of the atmosphere), taken in the city by a private observer called Josef María Chacón at midday, and data from January to October 1803, taken by Aréjula (same variables but taken three times a day). He added tables comparing with previous data from 1789 to 1794 (except 1793) but they only show the absolute maximum temperature of each year.

4. Discussion and conclusions

As one of the final results of the Salvà-Sinobas project, we have presented in this paper the recovery of a large amount of weather data for the period 1780–1850 in Spain that increases the availability of meteorological data for this period. Following the completion of the project the number of available series has increased considerably (see Figure 2). In fact, we have rescued three long series, Madrid (air temperature, atmospheric pressure, state of the atmosphere and wind direction, three

times per day), Valencia (air temperature, atmospheric pressure, state of the atmosphere, humidity and wind direction, three times per day), and the daily precipitation of Cadiz. These series have an almost complete coverage of the period 1790–1850. Additionally, 13 shorter series have been rescued, allowing time intervals with up to eight contemporary meteorological series (i.e. during the 1840s).

The main problem with the recovered series is the lack of information on instruments and methods of observation, mainly because most of the series are based on data collected from daily newspapers of the time. Another problem is that in Spain no long homogenized series exist, i.e. prior to 1850, to be used for comparison. Therefore, it is impossible to perform data correction and homogenization. However, this type of data are useful for some specific weather and climate studies, e.g. Trigo *et al.* (2009) for the year without summer in Iberia, Alcoforado *et al.* (2012) on the relationship between the NAO index and precipitation in Iberia in the 18th century, Vaquero *et al.* (2008) and Dominguez-Castro *et al.* (2012) analysing tropical hurricanes similar to Vince 2005.

In this article, a considerable progress has been made in the availability of meteorological observations prior to 1850 in Spain. But this work is also an acknowledgement to all the observers who took these measurements during the 18th and 19th centuries. This task was made by official or private initiatives but ever with a great dedication, in times of important difficulties for the development of science in Spain. So we are very proud of making visible the work of these observers two centuries later. Their work has allowed us to generate an early instrumental data base that represents a breakthrough in the availability of data from this period in Spain.

Acknowledgements

This work has been financed by the Ministry of the Environment, Rural and Maritime Affairs of Spain ‘Salvà-Sinobas project: Climatic Variability Characterization in the Iberian Peninsula during the Period 1750–1850’ (ref. 200800050083542) and the Spanish Science and Innovation Ministry (AYA2011-25945). The last author was supported by a postdoctoral fellowship from the ‘Generalitat de Catalunya i del programa Cofund de les Accions Marie Curie del 7è Programa marc d’R+D de la Unió Europea’ (2011 BP-B 00078). We would like to thank all the staff of the archives and libraries cited in the text, whose help made this work possible. We would also like to thank the two anonymous reviewers for their positive and constructive comments.

References

Alcoforado MJ, Vaquero JM, Trigo RM, Taborda JP. 2012. Early Portuguese meteorological measurements (18th century). *Climate of the Past* **8**: 353–371.

- Allan RJ, Reason CJC, Carroll P, Jones PD. 2002. A reconstruction of Madras (Chennai) mean sea-level pressure using instrumental records from the late 18th and Early 19th centuries. *International Journal of Climatology* **22**: 1119–1142.
- Anduaga Egaña A. 2012. *Meteorología, ideología y sociedad en la España contemporánea*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas: Madrid.
- Arejula JM. 1806. Breve descripción de la fiebre amarilla padecida en Cádiz y pueblos comarcanos en 1800, en Medinasidonia en 1801, en Malaga en 1803, y en esta misma plaza y varias otras del reino en 1804. Biblioteca de Andalucía, Sgn.: ANT-XIX-614.
- Auer I, Böhm R, Jurkovic A, Lipa W, Orlik A, Potzmann R, Schöner W, Ungersböck M, Matulla C, Briffa K, Jones PD, Efthymiadis D, Brunetti M, Nanni T, Maugeri M, Mercalli L, Mestre O, Moisselin J-M, Begert M, Müller-Westermeier G, Kveton V, Bochnicek O, Stastny P, Lapin M, Szalai S, Szentimrey T, Cegnar T, Dolinar M, Gajic-Capka M, Zaninovic K, Majstorovic Z, Nieplova E. 2007. HISTALP—historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760–2003. *International Journal of Climatology* **27**: 17–46.
- Baron WR. 1995. Historical climate records from the northeastern United States, 1640 to 1900. In *Climate Since A.D. 1500*. Routledge: New York; 24–91.
- Barriendos M, Martín-Vide J, Peña JC, Rodríguez R. 2002. Daily meteorological observations in Cádiz-San Fernando. Analysis of the documentary sources and the instrumental data content (1786–1996). *Climatic Change* **53**: 151–170.
- Bodí y Congrós S. 1986. *El Clima de la Ribera en el siglo XIX*. Ayuntamiento de Carcaixent: Carcaixent.
- Borchi E, Macii R. 2009. *Meteorologia a Firenze. Nascita ed Evoluzione*. Pagnini Editore: Firenze.
- Brázdil R, Demarée GR, Deutsch M, Garnier E, Kiss A, Luterbacher J, Macdonald N, Rohr C, Dobrovolný P, Kolár P, Chromá K. 2010. European floods during the winter 1783/1784: scenarios of an extreme event during the ‘Little Ice Age’. *Theoretical and Applied Climatology* **100**: 163–189. DOI: 10.1007/s00704-009-0170-5
- Brázdil R, Zahradníček P, Pišoft P, Štěpánek P, Bělnová M, Dobrovolný P. 2012. Temperature and precipitation fluctuations in the Czech Republic during the period of instrumental measurements. *Theoretical and Applied Climatology* **110**: 17–34. DOI: 10.1007/s00704-012-0604-3
- Burnette DJ, Stahle DW, Mock CJ. 2010. Daily mean temperature reconstructed for Kansas from early instrumental and modern observations. *Journal of Climate* **23**: 1308–1333.
- Camuffo D, Bertolin C. 2012. The earliest temperature observations in the world: the Medici Network (1654–1670). *Climatic Change* **111**(2): 335–363.
- Camuffo D, Jones P. 2002. Improved understanding of past climatic variability from early daily European instrumental sources. *Climatic Change* **53**(1–4): 2002.
- Camuffo D, Bertolin C, Barriendos M, Dominguez-Castro F, Cocheo C, Enzi S, Sghedoni M, Valle A, Garnier E, Alcoforado MJ, Xoplaki E, Luterbacher J, Diodato N, Maugeri M, Nunes F, Rodriguez R. 2010. 500-year temperature reconstruction in the Mediterranean Basin by means of documentary data and instrumental observations. *Climatic Change* **101**: 169–199.
- Casares A. 1850. Meteorología. Observaciones hechas en Santiago el año de 1849. *Revista de los progresos de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* **1**: 19–22.
- Casares A. 1851. Resumen de las observaciones meteorológicas hechas en la universidad de Santiago en el año de 1850. *Revista de los progresos de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* **2**: 105–107.
- Colmeiro M. 1851. Observaciones hechas en Sevilla sobre la florecencia y los estados atmosféricos bajo cuyo influjo se verifica. *Revista de los Progresos de las Ciencias* **2**: 555–572.
- Cornes RC, Jones PD, Briffa KR, Osborn TJ. 2012. Estimates of the North Atlantic Oscillation back to 1692 using a Paris-London westerly index. *International Journal of Climatology* **33**(1): 228–248. DOI: 10.1002/joc.3416
- D’Arrigo R, Seager R, Smerdon JE, LeGrande AN, Cook ER. 2011. The anomalous winter of 1783–1784: was the Laki eruption or an analog of the 2009–2010 winter to blame? *Geophysical Research Letters* **38**: L05706.
- Dalmau F. 1796. *Mapa topográfico de la ciudad de Granada*. Archivo Municipal Ayuntamiento de Granada, Sgn.: 005.001.003.
- Dominguez-Castro F, Trigo RM, Vaquero JM. 2012. The first meteorological measurements in the Iberian Peninsula: evaluating the storm of November 1724. *Climatic Change*. DOI: 10.1007/s10584-012-0628-9

- Due Rojo A. 1944. Un curioso documento meteorológico del siglo XIX. *Revista de Geofísica* **8**(2): 422–427.
- Farrona AMM, Trigo RM, Gallego MC, Vaquero JM. 2012. The meteorological observations of Bento Sanches Dorta, Brazil: 1781–1788. *Climatic Change* **115**: 579–595. DOI: 10.1007/s10584-012-0467-8
- Gallego D, García-herrera R, Calvo N, Ribera P. 2008. A new meteorological record for Cádiz (Spain) 1806–1852: implications for climatic reconstructions. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* **112**(12): D12108. DOI: 10.1029/2007JD008517
- Gallego MC, Domínguez-Castro F, Vaquero JM, García-Herrera R. 2011. The hidden role of women in monitoring nineteenth-century African weather: instrumental observations in Equatorial Guinea. *Bulletin of the American Meteorological Society* **92**: 315–324.
- García Couto MA. 2011. *Iberian Climate Atlas*. Agencia Estatal de Meteorología: Madrid.
- García L, Giménez JM. 1985. *Notas para la Historia de la Meteorología en España*. Instituto Nacional de Meteorología: Madrid.
- García Hourcade JL. 2002. *La Meteorología en la España ilustrada y la obra de Vicente Alcalá Galiano*. Biblioteca de Ciencia y Artillería: Segovia.
- Gergis J, Karoly D, Allan R. 2009. A climate reconstruction of Sydney Cove, New South Wales, using weather journal and documentary data, 1788–1791. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal* **58**(2): 83–98.
- González González FJ. 1992. *El Observatorio de San Fernando (1831–1924)*. Ministerio de Defensa: Madrid.
- Harington CD. 1992. *The Year without a Summer?: World Climate in 1816*. Canadian Museum of Nature: Ottawa.
- Highwood EJ, Stevenson DS. 2003. Atmospheric impact of the 1783–1784 Laki eruption: part II climatic effect of sulphate aerosol. *Atmospheric Chemistry and Physics* **3**: 1177–1189.
- Justo Pastor F. 1830. *Biblioteca valenciana de los escritores que florecieron hasta nuestros días: con adiciones y enmiendas a la de D. Vicente Ximeno*. Imprenta y librería de Ildenfonso Mompie: Valencia.
- Kaemtz LF. 1843. *Cours complet de Meteorologie*. Adolphe Delahays: París.
- Kington J. 1988. *The weather of the 1780s over Europe*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Können GP, Zaiki M, Baede APM, Mikami T, Jones PD, Tsukahara T. 2003. Pre-1872 extension of the Japanese instrumental meteorological observation series back to 1819. *Journal of Climate* **16**: 118–131.
- Lafuente A, Sellés M. 1988. *El Observatorio de Cádiz (1753–1831)*. Ministerio de Defensa: Madrid.
- Lee E. 1855. *Spain and its climates with a special account of Malaga*. WJ Adamas: London.
- López Arroyo M. 2004. *El Real Observatorio Astronómico de Madrid (1785–1975)*. Ministerio de Fomento: Madrid.
- Luterbacher J, Schmutz C, Gyalistras D, Xoplaki E. 1999. Reconstruction of monthly NAO and EU indices back to AD 1675. *Geophysical Research Letters* **26**(17): 2745–2748.
- Madoz P. 1848–1850. *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar*, Vol. 7. La Ilustración: Madrid.
- Manley G. 1974. Central England temperatures: monthly means 1659 to 1973. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **100**: 389–405.
- Martínez y Montes V. 1852. *Topografía médica de la ciudad de Málaga*. Malaga: Imprenta Ramón Franquelo.
- McDougall A. 1851. The temperature of Malaga, considered as a place of residence for invalids. *Medical Times* **23**: 145–147.
- Nicholson SE, Dezfuli AK, Klotter D. 2012. A two-century precipitation dataset for the continent of Africa. *Bulletin of the American Meteorological Society* **93**: 1219–1231.
- Nieto de Piña CJ. 1785. *Historia de la epidemia de calenturas benignas que se experimentó en Sevilla desde principios de Septiembre hasta fines de Noviembre de 1784*. Imprenta Mayor: Sevilla.
- Nieto de Piña CJ. 1786. *Memoria de las enfermedades que se experimentaron en la ciudad de Sevilla en el año de 1785*. Imprenta Mayor: Sevilla.
- Nieto de Piña CJ. 1787. *Memoria de las enfermedades experimentadas en la ciudad de Sevilla en el año de 1786*. Imprenta de Vazquez Hidalgo y Compañía: Sevilla.
- Przybylak R, Vizi Z. 2005. Air temperature change in the Canadian arctic from the early instrumental period to modern times. *International Journal of Climatology* **25**: 1507–1522.
- Pulido M, Nogales T. 1989. *Publicaciones periódicas extremeñas 1808–1988*. Badajoz: Diputación Provincial.
- Rochester TF. 1851. Malaga as residence for consumptive persons. *New York Journal of Medicine* **7**: 349–355.
- Rodrigo FS. 2012. Completing the early instrumental weather record from Cádiz (Southern Spain): new data from 1799 to 1803. *Climatic Change* **111**: 697–704. DOI: 10.1007/s10584-011-0174-x
- Rodríguez R, Barriendos M, Jones PD, Martín-Vide J, Peña JC. 2001. Long pressure series for Barcelona (Spain). Daily reconstruction and monthly homogenization. *International Journal of Climatology* **21**(13): 1693–1704.
- van der Schrier G, Jones PD. 2008. Daily temperature and pressure series for Salem, Massachusetts (1786–1829). *Climatic Change* **87**: 499–515.
- Scoresby-Jackson RE. 1862. *Medical Climatology*. John Churchill: London.
- Sontakke NA, Singh N. 1996. Longest instrumental regional and all India summer monsoon rainfall series using optimum observations: reconstruction and update. *The Holocene* **6**: 315–331.
- Sontakke NA, Nityanand S, Singh HN. 2008. Instrumental period rainfall series of the Indian region (AD 1813–2005): revised reconstruction, update and analysis. *The Holocene* **18**(7): 1055–1066.
- Thordarson T, Self S. 2003. Atmospheric and environmental effects of the 1783–1784 Laki eruption: a review and reassessment. *Journal of Geophysical Research* **108**(D1): 4011. DOI: 10.1029/2001JD002042
- Trigo RM, Vaquero JM, Alcoforado MJ, Barriendos M, Taborda J, García-Herrera R, Luterbacher J. 2009. Iberia in 1816, the year without summer. *International Journal of Climatology* **29**: 99–115. DOI: 10.1002/joc.1693
- Vaquero JM, García-Herrera R, Wheeler D, Chenoweth M, Mock CJ. 2008. A historical analog of 2005 hurricane Vince. *Bulletin of the American Meteorological Society* **89**(2): 191–201.
- Wang B, Jhun JG, Noon BK. 2007. Variability and singularity of Seoul, South Korea, rainy season (1778–2004). *Journal of Climate* **20**: 2572–2580.
- Weyler y Laviña F. 1854. *Topografía de las Islas Baleares y en particular de la de Mallorca*. Imprenta de Pedro José Gelabert: Palma de Mallorca.
- Wheeler D. 1995. Early instrumental weather data from Cádiz: a study of late eighteenth and early nineteenth century records. *International Journal of Climatology* **15**: 801–810.
- Wheeler D. 2006. The Gibraltar climatic record: part 1—the history of weather observations. *Weather* **61**: 36–39.
- Wheeler D. 2007. The Gibraltar climatic record: part 2—precipitation. *Weather* **62**: 99–104.
- Wheeler D. 2011. The Gibraltar climatic record: part 3—temperature. *Weather* **66**: 259–265.
- Wheeler D, Bell A. 2012. The Gibraltar climatic record—Part 4. The earliest records. *Weather* **67**(9): 240–245.
- Zaiki M, Können GP, Tsukahara T, Jones PD, Mikami T, Matsumoto K. 2006. Recovery of nineteenth-century Tokyo/Osaka meteorological data in Japan. *International Journal of Climatology* **26**: 399–423.

ANEXO II. Algunas aportaciones a la base de datos EMERLA: Registros meteorológicos de Brasil y Cuba (Farrona 2014; 2015)

El proyecto EMERLA tiene como principal objetivo localizar series de observaciones meteorológicas preinstrumentales de Latino América, registradas en los siglos XVIII y XIX. Su especial relevancia radica en que representa el primer gran esfuerzo colaborativo realizado para la recuperación de registros meteorológicos de la época preinstrumental en este amplio territorio. En concreto se han localizado series en 10 países latinoamericanos diferentes: México, Cuba, Panamá, Guatemala, Colombia, Ecuador, Perú, Brasil, Chile y Argentina, de resolución desde diaria a anual. Específicamente, la labor desempeñada por la doctoranda en este estudio está vinculada a la recuperación, digitalización manual y tratamiento inicial de las series de Brasil (Farrona, 2014) y la digitalización de la serie de Cuba (1871-1905) (Farrona, 2015).

Así, a través de una intensa búsqueda y rastreo en hemerotecas del país brasileño (la mayoría digitales), han sido recuperadas series de cuatro puntos geográficos distintos (Río de Janeiro, Pernambuco, Bahía y São Paulo). Todas las fuentes, a pesar de tener origen diverso (periódicos, memorias, o diarios) son individuales y directas. De todas ellas, se tiene un registro diario, aunque para algunos casos concretos, y en períodos específicos, la periodicidad de los datos es mensual. En cuanto a los metadatos, por lo general, se conoce un mínimo de información de cada serie. Todas las fuentes recogen como mínimo registros de temperatura, en varias ocasiones tomadas con diferentes instrumentos de forma simultánea, y presión. También se tienen observaciones de viento, humedad, precipitación y estado del cielo, aunque no están presentes en todas las series recuperadas (ver Farrona et al. 2014 para más detalle).

Por otra parte, bajo el paraguas de EMERLA, la doctoranda también ha realizado una labor intensa de digitalización manual de la serie de Cuba. En concreto, fueron transcritos los valores diarios correspondientes a temperatura (máxima, mínima y media), presión (media), humedad y precipitación para el período comprendido entre 1871-1905 (Farrona, 2015).

Como previamente fue indicado, este estudio viene a representar el punto de partida en cuanto a recuperación de series preinstrumentales latino y sudamericanas se refiere. Por ello, para este trabajo específico, estas series no han sido analizadas en términos de homogeneidad. A su vez, esta investigación contribuye en el desarrollo del conocimiento acerca del progreso de la meteorología, como disciplina, en los diversos países estudiados. Contribuye igualmente a indagar y discernir sobre la percepción que los científicos y la población en general de aquella

época pudiera tener sobre esta rama de la ciencia y sus repercusiones, ligadas principalmente a la medicina.

A better understanding of the climate at Brazil during the 19th century based on instrumental observations

A.M.M. Farrona^{1,2}

¹Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Extremadura, Badajoz, Spain

²Instituto de Física de Cantabria (UC – CSIC), Avda. de los Castros, S/N, 39005, Santander, Spain

Abstract

Historical meteorological data analyses are needed to support a wide range of scientific research studies and application. In situ records of temperature and pressure are essential to studies of climate variability and change. Recently, there have been major advances in the field of historical climatology. Nevertheless, it is important to note that instrumental observations in the Southern Hemisphere (SH) are significantly poorer than in the Northern Hemisphere (NH). The objective of the present work is to contribute to have a better understanding of the climate at Brazil during the nineteenth century using a recently re-discovered comprehensive dataset. To this end, we examined the historical meteorological observations published in several source of the period. In this form, this study contributes to improve our understanding of past weather conditions and the climate dynamics of the SH.

The first qualitative descriptions of the meteorological conditions record in Brazil were made by Jesuits or reporters in the XVI – XVII century. Father Carin, was one of them. In his travel to Bahia, Pernambuco, Rio de Janeiro and São Vicente described the main meteorological conditions (Cardim, 1980). Others naturalists and missionary, as Claude d' Abbeville, Andre Thevet, Yves d'Evreux and Jorge Macgrave left his references to the climate of Brazil too (Sant'anna Neto, 2003; Oliveira, 2009).

In the 18th century appeared the first instrumental series of measurements of atmospheric parameters. The Father Ignacio Sermatoni took the first instrumental measurements in Brazil, specifically in Barcelos (1754 – 1756). Unfortunately, these meteorological records have been not found (Girão, 2012). Furthermore, the earliest known 8-year-long continuous instrumental meteorological observations for any South American site, and most probably for the entire SH in the 18th century (Jones et al. 2009), were provided by Bento Sanches Dorta in Brazil (Farrona et al., 2012).

The systematic use of instruments for measuring the common atmospheric events only started in Brazil in the 19th century, with the arrival of Portuguese Court in 1808 and the European travelling. As Oliveira (2009) indicates, in the first half of that century, it is only possible to find “*series of observations collected in isolated and scattered*

locations, without interconnections". It was above all in the last four decades of 19th century when the interest in climatology was increased in Brazil.

An important event to the advance of this area of knowledge in Brazil was the creation, by Dom Pedro I, on October 13, 1827, of the Imperial Observatory in Rio de Janeiro. However, it was not until the year 1844 that the first meteorological observations appear in the archives of the Observatory (Sant Anne, 2003). Years later, from 1851 to 1887, meteorological records were regularly published by the institution (Oliveira, 2009). In this form, at the end of XIX century, weather stations were established across the country (Girão, 2012).

Isolated meteorological series recorded at the end of XVIII century and in the first half of XIX, in various locations in Brazil, have been found. In this contribution, as it is possible to read below, these series are described.

Rio de Janeiro:

1781 – 1788: Bento Sanches Dorta (hereafter BSD) made daily weather observations for the period 1781–1787, in Rio de Janeiro, and in 1788 in São Paulo, which he published in the earliest tomes of the Portuguese Academy of Sciences (“Memorias da Academia de Ciências de Lisboa”) (Sanches Dorta 1797a-b, 1799a-b, 1812a-f). As Farrona et al (2012) explained, “*During the period 1781-1783, he observed seven times per day, from 06:00 to 18:00 every two hours. Then, from August 1784 until December 1788, when the barometer arrived, the Portuguese began to observe eight times per day (Sanches Dorta 1799a, p. 346). There were some days or months in which BSD made no meteorological observations. This was the case in December 1783 and January 1784, on several days in 1787, and from June until October 1788*”.

BSD described the state of the sky too. He measured other important weather parameters such as rainfall and evaporation. Finally, he recorded the wind direction on an 8-directional compass.

The instruments he used for his astronomical and meteorological observations were part of a collection of the King of Portugal. He gave a detailed explanation about all the instruments that he used (thermometer, barometer, rain gauge and evaporation pan). They were placed in the chamber of his rooms, which had three windows open towards the southwest.

February 1813 – December 1814: The previous work was continued for the period 1813-1814 by M.J Araujo, a brigadier who published his meteorological data in *The Patriota's journal*. He provided daily temperature (Fahrenheit), pressure record and

information of the state of the sky (Araujo 1813a-f, 1814a-d). Unfortunately, there are no metadata about instruments or methodology and only numerical tables are available. Comparing these data with others recording in Rio de Janeiro, although, the observation time is unknown, we can think that it is probably at midday. Another possibility is that they calculated the mean of the recording data and then published these values. Others contemporaries meteorologists affirm that M.J. Araujo took meteorological data for 30 years (Rodrigues, 1846). Nevertheless, these records have not been found.

31 May 1821 – 21 October 1822: The daily meteorological data appear in the newspaper “*Diario do Rio de Janeiro*” from 31 May 1821 to 21 October 1822. Details of the observatory location and instruments are unknown. The Newspaper masthead showed the data in small tables. Three daily measurements of atmospheric pressure and air temperature taken at 7 a.m., 12 a.m. and 5 p.m. were included. Temperature data were taken in Reaumur and Fahrenheit scale and observations of atmospheric pressure were made with a barometer graduated in Paris and French inches and lines.

1836 – 1838: These meteorological observations were extracted from the “*Revista Médico fulminense*”, the Imperial Academy of Medicine journal. They were taken by Dr. Francisco Freire Allemão de Cysneiro, a botanist teacher and president of the Academy in the third trimester of 1832 and in 1838 (<http://www.dichistoriasaude.coc.fiocruz.br/iah/pt/index.php>). The journal provides monthly meteorological observations, for 1836 and 1838 (Allemão 1836a-d, 1838a-d). Unfortunately, we could not find the meteorological data in the year 1837. Details of the observatory location are unknown. Freire Allemão only indicates that the instruments were situated 1012 foot above sea level. Two-monthly measurements of atmospheric pressure (only the three first month of 1836), the indoor and outdoor temperature, humidity taken at 7 a.m., 2 p.m. and 10 p.m. (LST) were included, followed by a qualitative summary of the meteorological conditions and a report of the diseases during the month. Concerning with the instrument, he indicated that he used a Gay – Lussac’s barometer, a Saussure’s hygrometer and a Reaumur’s thermometer.

01/01/1844 – 08/08/1844: Eight months of records at Rio de Janeiro (January 1844–August 1848) were published by Pedro Alcântara Bellegarde, a doctor of Mathematics (Bellegarde, 1844a-h; Rocha, 2012). The daily measurements include atmospheric pressure [minimum (min) and maximum (max)], air temperature (min and max) and the state of the sky. he took his data in the Court’s town, probably in the Imperial Observatory of Rio the Janeiro in which was the director from 1842 to 1844 (Rocha,

2012, p. 1). Atmospheric pressure is measured in English inches and lines and air temperature in Fahrenheit. He used a max/ min thermometer and a barometer compared with a French one that was verified in the Paris observatory.

He explained that he used to take max temperature at 2 p.m., min temperature in the dawn, max pressure at 10 a.m. and min pressure at 4 p.m. The meteorological records are followed by a qualitative summary of the meteorological conditions during the month.

Recife: We have located a meteorological record from Recife from January 1808 to December 1810 (excepted from November 1809 to May 1810), and from January 1842 to March 1843.

01/1808 – 12/1810: In the first period, the observer was Antonio Bernardino Pereira do Lago, a sergeant of the Real Engineering body. He published his measurements in the “Quarterly Geographic and Ethnographic Institute of Brazil Journal”. The record is continuous excepted for a gap from November 1809 to May 1810 (Pereira do Lago, 1883). He took temperature and pressure readings three times a day at morning, midday and afternoon, in the Recife’s villa. Although the exactly place is unknown, Pereira do Lago explained that the instruments were situated in a room with a door oriented in the east direction until November 1809. In May 1810, he moved the instruments situated them in a room with two windows, but the detail of the observatory location is unknown too. Temperature data were taken in Fahrenheit and Reamur scale (he only showed the Fahrenheit records), and observations of atmospheric pressure were made with a barometer graduated in Paris inches and lines, both of them using a Nosseda building instruments.

01/1842 - 03/1843: The english doctor J. J. Laudon was responsible of these measurements, published in the *Annais de Medicina Pernambucana* (Laudon 1843a-b, 1844a-b; Arruda, 2009). He took his records in a second floor situated in the south of Aterro Street (Boa Vista neighborhood, Recife). Monthly records are available for a first period, covering from January 1842 to July 1842. The recorded variables are air temperature (min, max and mean), monthly precipitation (in english inches and lines), number of rainy days and amount of days with a dominant wind direction in a month. From July 1842 to March 1843, he published daily record. The meteorological variables recorded are air temperature (Reamur and Fahrenheit), atmospheric pressure (in millimetre) and humidity took at midday, daily precipitation (in english inches and lines) and the state of sky. Temperatures observations were taken two times a day (8

a.m. and 12 a.m.). He took max and min daily temperatures too. Unfortunately, there are poorly metadata about the instruments. We only know that he use a Saussure's hygrometer and a Howard London rain gauge. Finally, in March 1844, when he got sick, he had to stop his meteorological records (Arruda, 2009, pp. 82-83).

At the same time, from August 1842 to February 1843, the doctor José Joaquim de Moraes Sarmento and founder of the Medical Society of Pernambuco, took meteorological records in Recife that were published, together with J.J. Laudon data, in the *Annaes da Medicina Pernambucana* (Sarmento 1843). He exposed that instruments were situated in "Casa de minha residência", a residence isolated from others buildings. Specifically, instruments were in a bedroom with opening doors and windows. Nevertheless, the exactly location is unknown. The readings were made five times per day at 5 a.m., 9 a.m., 12 p.m., 3 p.m. and 9 p.m. Measurements include atmospheric pressure (in millimetre), air temperature (in Celsius), humidity, wind direction, state of the sky and daily precipitation in cubic centimeter only at 9 p.m. (amount of precipitation that has accumulated within the last 24 hours). Concerning with instruments, there is poor information. We only know that all of them were compared with others ones which were in Paris, and that he used a siphon barometer.

Bahía: Daily instrumental observations from January to April 1846 and monthly data from January to July 1846 have been found in '*Arquivo Médico Brasileiro*' (Rodrigues 1845). Some tables in volume 1844-1847 show air temperature in Fahrenheit and Reaumur scale and the state of the sky. Moreover, at the end of the table, it is possible to read maximum and minimum temperature, the number of rainy days; cloudy days; clear days; and dominant wind direction.

The observer was J. J. Rodrigues, a doctor who published several paper in the journal, most of them related to medicine. He took the readings three times a day at 6a.m., 2p.m. and 7p.m., in a Santo Antonio neighbourhood (Bahía). He chose this area of the city because it was far from the city centre, and nothing could block the wind and the solar radiation.

São Paulo: BSD was in São Paulo since October 1788 to December 1788. As, he was doing in Rio de Janeiro for seven years, when he arrived to São Paulo, he made daily weather observations of temperature, pressure, humidity, rainfall, wind directions, and the state of the sky (Sanches Dorta 1812f). Moreover, he wrote short descriptions about the mainly climatic characteristics of São Paulo. He used the same instruments that he had in Rio de Janeiro.

References

- Araujo Guimarães MF. (1813a), Observações Meteorológicas Fevereiro de 1813, *O Patriota Jornal Literario, Político e Mercantil do Rio de Janeiro*, Primeira subscrição, 2:112.
- Araujo Guimarães M.F. (1813b), Observações Meteorológicas Março de 1813, *O Patriota Jornal Literario, Político e Mercantil do Rio de Janeiro*, Primeira subscrição, Nº 3, pp. 111, Rio de Janeiro.
- Araujo Guimarães MF. (1813c), Observações Meteorológicas abril de 1813, *O Patriota Jornal Literario, Político e Mercantil do Rio de Janeiro*, Primeira subscrição, 4: 106.
- Araujo Guimarães MF. (1813d), Observações Meteorológicas maio de 1813, *O Patriota Jornal Literario, Político e Mercantil do Rio de Janeiro*, Primeira subscrição, 5: 125.
- Araujo Guimarães MF. (1813e), Observações Meteorológicas junho de 1813, *O Patriota Jornal Literario, Político e Mercantil do Rio de Janeiro*, Primeira subscrição, 6: 99.
- Alemão F. (1836a), Observações meteorológicas feitas no Ríó de Janeiro, pelo Dr. Freire Alemão (Janeiro, Fevereiro, Março), *Revista Médica Fluminense, de 1833 a 1844*, 1(II): 79
- Alemão F. (1836b), Observações meteorológicas feitas no Ríó de Janeiro, pelo Dr. Francisco Freire Alemão (Abril, Março, Junho), *Revista Médica Fluminense, de 1833 a 1844*, 1(II): 206
- Alemão F. (1836c), Observações meteorológicas feitas no Ríó de Janeiro, pelo Dr. Francisco Freire Alemão (Julho, Agosto, Setembro), *Revista Médica Fluminense, de 1833 a 1844*, 1(III): 319
- Alemão F. (1836d), Observações meteorológicas feitas no Ríó de Janeiro, pelo Dr. Francisco Freire Alemão (Outubro, Novembro, Dezembro), *Revista Médica Fluminense, de 1833 a 1844*, 1(III):462
- Alemão F. (1838a), Observações meteorológicas feitas no Ríó de Janeiro, pelo Dr. Francisco Freire Alemão (Janeiro, Fevereiro, Março), *Revista Médica Fluminense, de 1833 a 1844*, 1(IV): 40
- Alemão F. (1838b), Observações meteorológicas feitas no Ríó de Janeiro, pelo Dr. Francisco Freire Alemão (Abril, Março, Junho), *Revista Médica Fluminense, de 1833 a 1844*, 1(IV): 231
- Alemão F. (1838c), Observações meteorológicas feitas no Ríó de Janeiro, pelo Dr. Francisco Freire Alemão (Julho, Augusto, Setembro), *Revista Médica Fluminense, de 1833 a 1844*, 1(IV): 342
- Alemão F. (1838d), Observações meteorológicas feitas no Ríó de Janeiro, pelo Dr. Francisco Freire Alemão (Outubro, Novembro, Dezembro), *Revista Médica Fluminense, de 1833 a 1844*, 1(IV): 486
- Araujo Guimarães MF. (1813f), Observações Meteorológicas junho e julho de 1813, *O Patriota Jornal Literario, Político e Mercantil do Rio de Janeiro*, Segunda subscrição, 1: 83.
- Araujo Guimarães MF. (1813g), Observações Meteorológicas julho e agosto de 1813, *O Patriota Jornal Literario, Político e Mercantil do Rio de Janeiro*, Segunda subscrição, 2: 75.
- Araujo Guimarães MF. (1813h), Observações Meteorológicas agosto e setembro de 1813, *O Patriota Jornal Literario, Político e Mercantil do Rio de Janeiro*, Segunda subscrição, 3: 81.

- Araujo Guimarães MF. (1813i), Observações Meteorológicas setembro e outubro de 1813, *O Patriota Jornal Literario, Político e Mercantil do Rio de Janeiro*, Segunda subscrição, 4: 94.
- Araujo Guimarães MF. (1813j), Observações Meteorológicas outubro e novembro de 1813, *O Patriota Jornal Literario, Político e Mercantil do Rio de Janeiro*, Segunda subscrição, 5: 79.
- Araujo Guimarães MF. (1813k), Observações Meteorológicas novembro e dezembro de 1813, *O Patriota Jornal Literario, Político e Mercantil do Rio de Janeiro*, Segunda subscrição, 6: 84.
- Araujo Guimarães MF. (1814a), Observações Meteorológicas janeiro e fevereiro de 1814, *O Patriota Jornal Literario, Político e Mercantil do Rio de Janeiro*, Terça subscrição, 1: 116.
- Araujo Guimarães MF. (1814b), Observações Meteorológicas março e abril de 1814, *O Patriota Jornal Literario, Político e Mercantil do Rio de Janeiro*, Terça subscrição, 2: 117.
- Araujo Guimarães MF. (1814c), Observações Meteorológicas maio e junho de 1814, *O Patriota Jornal Literario, Político e Mercantil do Rio de Janeiro*, Terça subscrição, 3:104.
- Araujo Guimarães MF. (1814d), Observações Meteorológicas julho - outubro de 1814, *O Patriota Jornal Literario, Político e Mercantil do Rio de Janeiro*, Terça subscrição, 5:104.
- Araujo Guimarães MF. (1814d), Observações Meteorológicas novembro e dezembro de 1814, *O Patriota Jornal Literario, Político e Mercantil do Rio de Janeiro*, Terça subscrição, 6: 117.
- Arruda M. (2009). RECIFE: Entre a sujeira e a falta de (com)postura 1831-1845. Recife: Master Thesis.
- Bellegarde (1844a), Observações meteorológicas feitas no Rio de Janeiro em Janeiro de 1844, *Minerva Brasiliense*, 8(I) 227.
- Bellegarde (1844b), Observações meteorológicas feitas no Rio de Janeiro em Fevereiro de 1844, *Minerva Brasiliense*, 10(I) 290.
- Bellegarde (1844c), Observações meteorológicas feitas no Rio de Janeiro em Março de 1844, *Minerva Brasiliense*, 10(I), 378.
- Bellegarde (1844d), Observações meteorológicas feitas no Rio de Janeiro em Abril de 1844, *Minerva Brasiliense*, 15(II), 474.
- Bellegarde (1844e), Observações meteorológicas feitas no Rio de Janeiro em Maio de 1844, *Minerva Brasiliense*, 23(II), 710.
- Bellegarde (1844f), Observações meteorológicas feitas no Rio de Janeiro em Junho de 1844, *Minerva Brasiliense*, 23(II), 719.
- Bellegarde (1844g), Observações meteorológicas feitas no Rio de Janeiro em Julho de 1844, *Minerva Brasiliense*, 24(II), 741.
- Bellegarde (1844h), Observações meteorológicas feitas no Rio de Janeiro em Julho de 1844, *Minerva Brasiliense*, 24(II), 742.
- Cardim F. (1980) *Tratados da terra e gente do Brasil*. Editora Itatiaia. Edição da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Farrona AMM, Trigo RM, Gallego MC, Vaquero JM. (2012) The meteorological observations of Bento Sanches Dorta, Brazil: 1781–1788. *Climatic Change*, 115: 579–595.
- Girão O. (2012) Reconstrução do clima no nordeste brasileiro:secas e enchentes do século XIX. *Finisterra*, 47(93): 29 – 47.

- Laudon JJ. (1842a), Observações meteorológicas feitas no barrio de Boa Vista, Rua do Aterro, lado do Sul, pelo Sr. Doutor João Loudon (Resumo 1842: janeiro - junho), *Annaes da Medicina Pernambucana*, 49.
- Laudon JJ. (1842b), Observações meteorológicas feitas no barrio de Boa Vista, Rua do Aterro, lado do Sul, pelo Sr. Doutor João Loudon (julho, agosto, setembro), *Annaes da Medicina Pernambucana*, 84 – 94.
- Laudon JJ. (1843a), Observações meteorológicas feitas no barrio de Boa Vista, Rua do Aterro, lado do Sul, pelo Sr. Doutor João Loudon (outubro, novembro, dezembro)”, *Annaes da Medicina Pernambucana*, 143 - 156
- Laudon JJ. (1843b), Observações meteorológicas feitas no barrio de Boa Vista, Rua do Aterro, lado do Sul, pelo Sr. Doutor João Loudon (janeiro, fevereiro, março)”, *Annaes da Medicina Pernambucana*, 196 – 204.
- Pereira do Lago B. (1883) Observações meteorológicas feitas na Vila do Recife de Pernambuco, *Revista Trimestral do Instituto Histórico Geographico e Ethnographico do Brazil*, 61-91.
- Oliveira F. (2009) *100 Anos de meteorologia em Brazil*. INMET. Brasília, DF.
- Rocha O. (2012), A prática astronômica entre os militares e o Imperial Observatório do Rio de Janeiro (1827-1870), Anais do 13º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia. SBHC: Rio de Janeiro.
- Rodrigues JJ. (1846), Observações meteorológicas feitas no cidade da Bahía em os meses de Janeiro de 1846, *Arquivo Médico Brasileiro*. Nº 8 (II), 190.
- Rodrigues JJ. (1846), Observações meteorológicas feitas no cidade da Bahía em os mes de Janeiro, Fevereiro de 1846, *Arquivo Médico Brasileiro*. Nº 11 (II), 262.
- Rodrigues JJ. (1846), Observações meteorológicas feitas no cidade da Bahía em os mes de Março e Abril de 1846, *Arquivo Médico Brasileiro*. Nº 12 (II), 287.
- Sanches Dorta B (1797a) Observações Astronomicas feitas junto ao Castelo da Cidade do Rio de Janeiro para determinar a Latitude, e Longitude da dita Cidade. *Memorias da Academia Real das Sciencias de Lisboa*, 1:325-344.
- Sanches Dorta B (1797b) Observações Meteorologicas feitas na Cidade do Rio de Janeiro. *Memorias da Academia Real das Sciencias de Lisboa*, 1:345-378.
- Sanches Dorta B (1799a) Observações Astronomicas, e Meteorologicas feitas na Cidade do Rio de Janeiro no anno de 1784. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa*, 2:347-368.
- Sanches Dorta B (1799b) Observações Astronomicas, e Meteorologicas feitas na Cidade do Rio de Janeiro no anno de 1785. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa*, 2:369-401.
- Sanches Dorta B (1812a) Observações Astronomicas, e Meteorologicas feitas na Cidade do Rio de Janeiro no anno de 1786. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa*, 3:68-107.
- Sanches Dorta B (1812b) Observações Astronomicas, e Meteorologicas feitas na Cidade do Rio de Janeiro no anno de 1787. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa*, 3:108-153.
- Sanches Dorta B (1812c) Taboas, e Diario Meteorologico pertencientes, no Anno de 1788. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa*, 3:154-182.
- Sanches Dorta B (1812d) Diario Physico-meteorologico de Outubro do anno de 1788 da Cidade de S. Paulo na America Meridional e Oriental. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa*, 3:183-187.

- Sanches Dorta B (1812e) Diario Physico-meteorologico de Novembro do anno de 1788 da Cidade de S. Paulo na America Meridional e Oriental. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa*, 3:188-192.
- Sanches Dorta B (1812f) Diario Physico-meteorologico de Dezembro do anno de 1788 da Cidade de S. Paulo na America Meridional e Oriental. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa*, 3:193-197.
- Sant'anna Neto J. N. (2003) A gênese da climatologia no Brasil: O despertar de uma ciência. *Niterói. Revista da Associação de Geografia Teorética – AGETEO*, 28(1): 5-27.
- Sarmiento J J. (1842), Seis meses de Observações meteorológicas em Pernambuco: pelo senhor Dr. J. J. de M. Sarmiento, *Annaes da Medicina Pernambucana*, 205 - 216.

Two important meteorological dataset from Latin and South American: Cuba – Havana (1864 – 1905) & Antisana (1846)

A.M.M. Farrona^{1,2}

¹Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Extremadura, Badajoz, Spain

²Instituto de Física de Cantabria (UC – CSIC), Avda. de los Castros, S/N, 39005, Santander, Spain

Abstract

This contribution is divided in two sections. In the first part, a set of continuous meteorological observations conducted at the ‘Real Colegio de Belen’ from 1858 to 1961 in Cuba will be presented. Daily observations of maximum, minimum and mean temperature, mean pressure, mean relative humidity and precipitation, from 1871 until 1905 have been digitized. They were compiled in the ‘Real Colegio de Belen’, by Instruments installed on the roof of the school. These are the longest continuous observational series in Cuba.

On the other hand, in the second part, a preliminary study of the meteorological variables (particularly temperature, pressure, precipitation, humidity) taken from December 1845 to December 1846 in Antisana, a high mountain situated in Ecuador, are presented. The Antisana is a stratovolcano situated in the northern Andes, in Ecuador, at 50 km South East of Quito This dataset was recorded by Dr. Carlos Aguirre Montufar, a distinguished student in the Central School of Quito. These records are the earliest known instrumental meteorological observations taken at high elevation

ANEXO III. Factor de impacto y Área temática de las revistas

REVISTA	FACTOR DE IMPACTO	ÁREA TEMÁTICA
Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica	0,347	Atmospheric Sciences
Weather	1,040	Atmospheric Sciences
Climate change	3,430	Atmospheric Sciences
International Journal of Climatology	3.157	Meteorology & Atmospheric Sciences

TABLA 9. INFORMACIÓN SOBRE EL FACTOR DE IMPACTO Y EL ÁREA TEMÁTICA DE LAS REVISTAS EN LAS QUE SE HAN PUBLICADO LOS RESULTADOS

Referencias

- Aguilar E., Auer I., Brunet M., Peterson T., Wieringa J. (2003). *Guidelines on climate metadata and homogenization*. World Meteorological Organization, WMO/TD n° 1186.
- Aguirre C. (1851). Rapport sur les observations météorologiques faites à l'Antisana, par M. Carlos Aguirre. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 32, 741–755.
- Albentosa L.M. (1984). La evolución de la Geografía Física en España. Geomorfología y climatología. *Actas del III coloquio Ibérico de geografía*. Barcelona.
- Alcoforado M.J., Vaquero J.M., Trigo R.M., Tabora J.P. (2012). Early Portuguese Meteorological records (18th century). *Climate of the Past*, 8, 353-371.
- Alemão F. (1836). Observações meteorológicas feitas no Rio de Janeiro, pelo Dr. Francisco Freire Alemão (Janeiro, Fevereiro, Março). *Revista Médica Fluminense, de 1833 a 1844*, 1, 79.
- Alexandersson H. (1986). A Homogeneity Test Applied to Precipitation Data. *Journal of Climatology*, 6, 661 – 675.
- Almarza C., López-Díaz J. A., Flores C. (1996). *Homogeneidad y variabilidad de los registros históricos de precipitación de España*. Instituto Nacional de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente: Madrid.
- Antinori V. (1841). 'Notizie storiche relative all'Accademia del Cimento', in *Saggi delle naturali esperienze.. Archivio Meteorologico Centrale Italiano*. Museo di Fisica e Storia Naturale, Florencia.
- Anon. (1961). *Ball lightning bibliography 1950–1960*. Library of Congress, Science and Technology Division: Washington, DC.
- Auer I., Böhm R., Schöner W. (2001). Austrian long-term climate 1767–2000 – Multiple instrumental climate time series from Central Europe. *Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik 25*. Central Institute for Meteorology and Geodynamics, Vienna.
- Auer I., Böhm R., Jurković A., Orlik A., Potzmann R., Schöner W., Ungersböck M., Brunetti M., Nanni T., Maugeri M., Briffa K., Jones P., Efthymiadis D., Mestre O., Moisselin J.M., Begert M., Brazdil R., Bochnicek O., Cegnar T., Gajić-Čapka M., Zaninović K., Majstorović Z., Szalai S., Szentimery T., Mercalli L. (2005). A new instrumental precipitation dataset for the Greater Alpine Region for the period 1800-2002. *International Journal of Climatology*, 25, 139-166.
- Auer I., Böhm R., Jurkovic A., Lipa W., Orlik A., Potzmann R., Schöner W., Ungersböck M., Matulla C., Briffa K., Jones P.D., Efthymiadis D., Brunetti M., Nanni T., Maugeri M., Mercalli L., Mestre O., Moisselin J.M., Begert M., Müller-Westermeier G., Kveton V., Bochnicek O., Stastny P., Lapin M., Szalai S., Szentimrey T., Cegnar T., Dolinar M., Gajic-Capka M., Zaninovic K., Majstorovic Z., Nieplova E. (2007). HISTALP—historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760–2003. *International Journal of Climatology*, 27, 17–46.
- Baron W.R. (1995). *Historical climate records from the northeastern United States, 1640 to 1900*. In *Climate Since A.D. 1500*. Routledge: New York; 24–91.
- Barriendos M., Peña J.C., Martín-Vide J. (1998). La calibración instrumental de registros climáticos documentales. Aproximación metodológica a resolución anual para el caso de la precipitación en Barcelona (1521-1989). *Investigaciones Geográficas*, 20, 99-117.
- Barriendos M., Martín-Vide J. (1998). Secular climate oscillations as indicated by catastrophic floods in the Spanish Mediterranean coastal area (14th–19th centuries). *Climatic Change*, 38, 473–491.

- Barriendos M., Dannecker A. (1999). La sequía de 1812-1824 en la costa central catalana. Consideraciones climáticas e impacto social del evento, en Nadal, R., José, M. and Martín-Vide, J. (eds.). *La climatología española en los albores del siglo XXI*. Editorial: Oikos-Tau Barcelona.
- Barriendos M. (1999a). La Climatología Histórica en el marco geográfico de la antigua monarquía hispana. *Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 3, 32-54.
- Barriendos M. (2000). La climatología histórica en España. Primeros resultados y perspectivas de la investigación. En García J.C. (ed), *La reconstrucción del clima de época preinstrumental* (pp.15-56). Universidad de Cantabria: Santander.
- Barriendos M., Rodrigo F.S. (2005). Seasonal rainfall variability in the Iberian Peninsula from the 16th century: preliminary results from historical documentary sources. *Geophysical Research Abstract*, 7.
- Barriendos M. (2012). La reconstrucción del clima a partir de testimonios históricos. Encrucijada metodológica entre la fuente cualitativa y su expresión numérica. *Índice*, 50, 18-20.
- Barring L., Fortuniak K. (2009). Multi-indices analysis of southern Scandinavian storminess 1780–2005 and links to interdecadal variations in the NW Europe–North Sea region. *International Journal of Climatology*, 29, 373–384.
- Barrón L., Pita M.F. (2001). Propuesta Metodológica para la Determinación de Inhomogeneidades Relativas en las Series de Observaciones. *El Tiempo del Clima*, 2, 87-94.
- Barry J.D. (1967). Ball lightning. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 29, 1095–1101.
- Beaulieu C., Seidou O., Ouarda T.B.M.J., Zhang, X. (2008). Intercomparison of homogenization techniques for precipitation data continued: the comparison of two recent Bayesian change point models. *Water Resources Research*, 45, 1-15.
- Bentabol H. (1900). *Las aguas de España y Portugal*. Vda. e Hijos de M. Tello: Madrid.
- Bergström H., Moberg A. (2002). Daily air temperature and pressure series for Uppsala (1722–1998). *Climatic Change* 53, 213–252.
- Betencourt J., Dorta P. (2010). The storm of November 1826 in the Canary Islands: possibly a tropical cyclone?. *Geografiska Annaler*, 92, 329-337.
- Bladé I., Cacho I., Castro-Díez Y., Gomis D., González-Sampériz P., Miguez-Macho G., Pérez F.F., RodríguezFonseca I., Rodríguez-Puebla C., Sánchez E., Sotillo G., Valero-Garcés B. & Vargas-Yáñez M. (2010). *Clima en España: Pasado, presente y futuro. Informe de evaluación del cambio climático regional*. En Pérez F.F. y Boscolo R. CLIVAR España. MARM y MICINN.
- Böhm R. (1992). *Description of the procedure of homogenizing temperature time series in Austria*. Central European Research Initiative -Project group Meteorology -working paper: Viena.
- Boteler D.H. (2006). The super storms of August/September 1859 and their effects on the telegraph system. *Advance in Space Research*, 38, 159–172.
- Bradley R.S. (1999). *Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary*. Academic Press: San Diego.
- Bradley R. S., Jones P.D. (1993). “Little Ice Age” summer temperature variations: Their nature and relevance to recent global warming trends. *The Holocene*, 3, 367 – 376.
- Brázdil R., Stipánková P., Kyncl T., Kyncl J. (2002). Fir tree-ring reconstruction of March-July precipitation in southern Moravia (Czech Republic), 1376–1996. *Climate Research*, 20, 223–239.
- Brázdil R., Valášek H., Sviták Z. (2003). Meteorological and hydrological extremes in the Dietrichstein domains of Dolní Kounice and Mikulov between 1650 and 1849

- according to official economic records of natural disasters. *Geografický ústav SAV*, 55, 325–353.
- Brázdil R., Pfister C., Wanner H., Von Storch H., Luterbacher J. (2005). Historical Climatology in Europe – The state of the art. *Climatic Change*, 70, 363–430.
- Brázdil R., Dobrovolný P., Elleder L., Kakos V., Kotyza O., Kveton V., Macková J., Müller M, Štekl J., Tolasz R., Valášek H. (2005a). *Historical and Recent Floods in the Czech Republic*. Masarkova univerzita: Breno.
- Brázdil R., Dobrovolný P., Luterbacher J., Moberg A., Pfister C., Wheeler D., Zorita E. (2010). European climate of the past 500 years: new challenges for historical climatology. *Climatic Change*, 101, 7-40
- Broham P., Ward C., Willetts G., Wilkinson C., Allan R., Wheeler D. (2010). Arctic marine climate of the early nineteenth century. *Climate of the Past*, 6, 315–324.
- Brugnara Y., Auchmann R., Brönnimann S., Allan R. J., Auer I., Barriendos M., Bergström H., Bhend J., Brázdil R., Compo G. P., Cornes R. C., Dominguez-castro F., Engelen A. F. V., Filipiak J., Holopainen J., Jourdain S., Kunz M., Luterbacher J., Maugeri M., Mercalli L., Moberg A., Mock C. J., Pichard G., Řezníčková L., Schrier G., Slonosky V., Ustrnul Z., Valente M. A., Wypych A., Yin X. (2015). A collection of sub-daily pressure and temperature observations for the early instrumental period with a focus on the "year without a summer" 1816. *Climate of the Past*, 11, 1027–1047.
- Brunet M., Bañón M., García F., Aguilar E., Saladié O., Sigró J., Asín J, López D. (2004). Una aproximación experimental tendente a la minimización del sesgo artificial asociado al tipo de garita. *La Meteorología y el Clima Atlánticos*. Publicaciones de la Asoc. Española de Meteorología: Badajoz, 93-103.
- Brunet M., Jones P. (2011), Data rescue initiatives: bringing historical climate data into the 21st century. *Climate research*, 47, 29–40.
- Burnette D.J., Stahle D.W., Mock C.J. (2010). Daily mean temperature reconstructed for Kansas from early instrumental and modern observations. *Journal of Climate*, 23, 1308–1333.
- Brunetti M., Maugeri M., Monti F., Nanni T. (2006). Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. *International Journal of Climatology*, 26, 345–381.
- Camuffo D. (2002). History of the long series of the air temperature in Padova (1725-today). *Climatic Change*, 53, 7–75.
- Camuffo D. (2002a). Errors in early temperature series arising from changes in style of measuring time, sampling schedule and number of observations. *Climatic Change*, 53, 331–352.
- Camuffo D. (2002b). Calibration and instrumental errors in early measurements of air temperature. *Climatic Change*, 53, 297–329.
- Camuffo D., Jones P. (2002). *Improved Understanding of Past Climatic Variability from Early Daily European Instrumental Sources*. Springer: Dordrecht.
- Camuffo D., Sturaro G. (2003). Sixty-cm Submersion of Venice Discovered Thanks to Canaletto's Paintings. *Climatic Change*, 58, 333-343.
- Camuffo D., Cocheo C., Sturaro G. (2006). Corrections of systematic errors, data homogenisation and climatic analysis of the Padova pressure series (1725–1999). *Climatic Change*, 78, 493–514.
- Camuffo D., Bertolin C. (2010). Recovery of the early period of long instrumental time series of air temperature in Padua, Italy (1716–2007). *Physics and Chemistry of the Earth*, 40-41, 23-31.
- Camuffo D., Bertolin C. (2012). The earliest temperature observations in the world: The Medici Network (1654–1670). *Climatic Change*, 111, 335–363.
- Carey M. (2012). Climate and history: a critical review of historical climatology and climate change historiography. *Climatic Change*, 3, 233–249.

- Ceconi E. (1939). Confronti tra media effettiva e medie ridotte della temperatura dell'aria di alcune località delle Tre Venezie. *Memorie della R. Accademia di Scienze Lettere ed Arti in Padova, 1938–1939*. Vol. LV., p. 19.
- Chakrabarty D. (2009). The climate of history: four theses. *Critical Inquiry*, 35, 197–222.
- Chenoweth M., Landsea C.W. (2004). The San Diego hurricane of 2 October 1858. *Bulletin of American Meteorological Society*, 85, 1689–1697.
- Chuine I., Yiou P., Viovy N., Seguin B, Daux V., Le Roy Ladurie E. (2004). Historical phenology: Grape ripening as a past climate indicator. *Nature*, 432, 289–290.
- Cliver E. W., Svalgaard L. (2004). The 1859 Solar Terrestrial Disturbance and the Current Limits of Extreme Space Weather Activity. *Solar Physics*, 224, 407–422.
- Cliver E. W. (2006). The 1859 space weather event: Then and now. *Advances in Space Research*, 38, 119–129.
- Cocheo C., Camuffo D. (2006). Corrections of systematic errors and data homogenisation in the daily temperature padova series (1725–1998). *Climatic Change*, 53, 77–100.
- Conrad V., Pollack L.W. (1962). *Methods in Climatology*. Harvard Univ. Press: Cambridge.
- Cornes R. (2010). *Early Meteorological Data from London and Paris: Extending the North Atlantic Oscillation Series*. Tesis de doctorado. Universidad de Anglia del Este: Norwich.
- Crowley J, Lowery, T. (2000). How Warm Was the Medieval Warm Period?. *AMBIO*, 29, 51–54.
- Demaré G. R., Ogilvie A. E. J., Zhang D. (1998). Further documentary evidence of Northern Hemispheric coverage of the great dry fog of 1783. *Climatic Change*, 39, 727–730.
- Demaré G. R., Ogilvie A.E.J. (2001). Bons Baisers d'Islande: Climatic, Environmental, and Human Dimensions Impacts of the Lakag'igar Eruption (1783–1784) in Iceland, en Jones P. D., Ogilvie A. E. J., Davies T. D., y Briffa, K. R. (eds.). *History and Climate: Memories of the Future?*. Kluwer Academic/Plenum Publishers: New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 219–246.
- Deutsch M. (2002). Historical flood marks – used as sources for the reconstruction of historical flood events. En Benito, G. et al. (eds). *Palaeofloods, Historical Data and Climatic Variability. Applications in Flood Risk Assessment*. Book of Abstracts of International Workshop: Barcelona.
- Domínguez-Castro F., Ribera P., García-Herrera R., Vaquero J. M., Barriendos M., Cuadrat J. M., Moreno J. M. (2012). Assessing extreme droughts in Spain during 1750–1850 from rogation ceremonies. *Climate of the Past*, 8, 705–722.
- Domínguez-Castro F., Vaquero J. M., Marín M., Gallego M.C., García-Herrera R. (2012a). How useful could Arabic documentary sources be for reconstructing past climate?. *Weather*, 67, 76–82.
- Domínguez-Castro F., Trigo R.M., Vaquero J.M. (2013). The first meteorological measurements in the Iberian Peninsula: evaluating the storm of November 1724. *Climatic Change*, 118, 443–455.
- Domínguez-Castro F., Vaquero J.M, Rodrigo F.S., Farrona A.M.M., Gallego M.C., García-Herrera R., Barriendos M., Sanchez-Lorenzo A. (2014). Early Spanish meteorological records (1780-1850). *International Journal of Climatology*, 34, 593-603.
- Domínguez-Castro F., Ramos A. M., García-Herrera R., Trigo R. M. (2015). Iberian extreme precipitation 1855/1856: an analysis from early instrumental observations and documentary sources. *International Journal of Climatology*, 35, 142–153.
- Domínguez-Castro F., García-Herrera R., Vaquero J.M. (2015a). An early weather diary from Iberian Peninsula (Lisbon, 1631-1632). *Weather* 70, 20-24.
- Dobrovolný P., Moberg A., Brázdil R., Pfister C., Glaser R., Wilson R., van Engelen A., Limanówka D., Kiss A., Halicková M., Macková J., Riemann D., Luterbacher J., Böhm R. (2010), Monthly, seasonal and annual temperature reconstructions for Central Europe derived from documentary evidence and instrumental records since AD 1500.

- Climatic Change*, 101, 69-107.
- Ducré-Robitaille J., Vincent L.A., Boulet G. (2003). Comparison of techniques for detection of discontinuities in temperature series. *International Journal of Climatology*, 23, 1087–1101.
- Durand M., Wilson J. (2006). Ball lightning and fireballs during volcanic air pollution. *Weather*, 6, 40–43.
- Easterling C., Peterson T., Karl T. (1996). On the development and use of homogenized climate datasets. *Journal of Climate*, 9, 1429-1434.
- Farrona A.M.M. (2011), *Bento Sanches Dorta representante portugués del progreso científico de la Ilustración*. Tesis de máster, Universidade de Lisboa: Lisboa.
- Farrona A.M.M., Vaquero J.M., Gallego M.C., Domínguez-Castro F. (2011). Spanish eyewitness accounts of the great space weather event of 1859. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 46, 6370-377.
- Farrona A.M.M., Trigo R.M., Vaquero J.M., Gallego M.C. (2012). The meteorological observations of Bento Sanches Dorta. Brazil: 1781-1788. *Climatic change*, 115, 579-595.
- Farrona A.M.M., Vaquero J.M. (2012). An early scientific report of ball lightning from Brazil. *Weather*, 67, 4, 96–97.
- Farrona A.M.M. (2014). *A better understanding of the climate at Brazil during the 19th century based on instrumental observations*. Trabajo presentado en el I Workshop on Solar-Terrestrial Physics (Mérida, Julio 2014).
- Farrona A.M.M., Domínguez-Castro F., Vaquero J.M., Gallego M.C. (2015). The first meteorological observations at high elevation site: Antisana, 1846, D.C. Aguirre. *Climatic change*, (enviado).
- Farrona A.M.M. (2015). *Two important meteorological dataset from Latin and South American: Cuba – Havana: 1864 – 1905 & Antisana 1846*. Trabajo presentado en el II Workshop on Solar-Terrestrial Physics (Mérida, Julio 2015).
- Fernández-Fernández M.I., Gallego M.C., Domínguez-Castro F., Trigo R.M., García J.A., Vaquero J.M., Moreno González J.M., Castillo Durán J. (2014). The climate in Zafra from 1750 to 1840: history and description of weather observations. *Climatic Change*, 126, 107–118.
- Fernández-Fernández M.I., Gallego M.C., Domínguez-Castro F., Trigo R.M., Vaquero J.M. (2015). The climate in Zafra from 1750 to 1840: Precipitation. *Climatic Change*, 129, 267-280.
- Flammarion C. (1888). *L'atmosfera*. Sonzogno: Milano.
- Font Tullot I. (1998). La deshumanización de la meteorología operativa. *Territoris, Revista del Departament de Ciències de la Terra*, 1, 123-135.
- Fontana J.M. (1975). Introducción a la Paleoclimatología, *VII Jornadas de la Asociación Meteorológica Española*, 19-29.
- Fontana J.M. (1976). *Historia del clima en Cataluña. Noticias antiguas, medievales y en especial de los siglos XV XVI y XVII*. Manuscrito inédito: Madrid.
- Fontana J.M. (1976a). *Quince siglos de clima andaluz*. Manuscrito inédito: Madrid.
- Fontana J.M. (1977). *Historia del clima del Finis-Terrae gallego*. Manuscrito inédito: Madrid.
- Fontana J.M. (1978). *Historia del clima en el litoral mediterráneo: Reino de Valencia más Provincia de Murcia*. Manuscrito inédito: Javea.
- Frisinger H. H. (1977). *The History of Meteorology: to 1800*. Science History Publications: New York.
- Gallego D., García-Herrera R., Calvo N., Ribera P. (2007). A new meteorological record for Cádiz (Spain) 1806– 1852: Implications for climatic reconstructions. *Journal of Geophysical Research*, 112, 1-9.

- Gallego M.C., Domínguez-Castro F., Vaquero J.M., García-Herrera R. (2011). The hidden role of women in monitoring nineteenth-century African weather: instrumental observations in Equatorial Guinea. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92, 315–324.
- García de Pedraza L., Giménez de la Cuadra J. M. (1985). *Notas para la Historia de la Meteorología en España*. Sección de Publicaciones del INM: Madrid.
- García-Herrera R., Macías A., Gallego D., Hernandez E., Gimeno L., Ribera P. (2003). Reconstruction of the precipitation in the Canary Islands for the period 1595–1836. *Bulletin of America Meteorological Society*, 84, 1037–1039.
- García-Herrera R., Wilkinson C., Koek F.B., Prieto M. R., Calvo N., Hernández E. (2005). Description and general background to ships' logbooks as a source of climatic data. *Climatic Change*, 73, 13–36.
- García-Herrera R., Diaz H.F., Garcia R.R., Prieto M.R., Barriopedro D., Moyano R. Hernandez E. (2008). A Chronology of El Niño events from primary documentary sources in northern Peru. *Journal of Climate*, 21, 1948–1962.
- García Hourcade J.L. (2002), La Meteorología en la Historia, *La Meteorología en la España Ilustrada y la obra de Vicente Alcalá Galiano*. Asociación Cultural "Biblioteca de Ciencia y Artillería": Segovia.
- Garfield E. 1976. When citation analysis strikes ball-lightning. *Current Comments*, 20, 5–16.
- Gergis J., Brohan P., Allan R. (2010). The weather of the First Fleet voyage to Botany Bay, 1787–1788. *Weather*, 65, 315–319.
- Gimmi U., Luterbacher J., Pfister C., Wanner H. (2006). A method to reconstruct long precipitation series using systematic descriptive observations in weather diaries: the example of the precipitation series for Bern, Switzerland (1760–2003). *Theoretical and Applied Climatology*, 87, 185–199.
- Goodlett B.L., (1937). Ball and bead lightning. *Journal of Electrical Engineering*, 81, 1–56.
- González F.J. (1992). *El Observatorio de San Fernando (1831-1924)*. Ministerio de Defensa: Madrid.
- Green J.L., Boardsen S., Odenwald S., Humble J., Pazamickas K. A. (2006). Eyewitness reports of the great auroral storm of 1859. *Advances in Space Research*, 38, 145–154.
- Grove J. M., Battagel A. (1983). Tax records from western Norway, as an index of Little Ice Age environmental and economic deterioration. *Climatic Change*, 5, 265–282.
- Grove J.M., Conterio A. (1994). Climate in the eastern and central Mediterranean, 1675 to 1715. In: Frenzel B, Pfister C, Gläser B (eds). *Climatic trends and anomalies in Europe 1675–1715*. Stuttgart Jena New York.
- Hamilton K. P., Garcia R. (1986). El Niño/Southern Oscillation events and their associated midlatitude teleconnections 1531–1841. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 67, 1354–1361.
- Humble J. (2006). The solar events of August/September 1859 – Surviving Australian observations. *Advances in Space Research*, 38, 155–158.
- Ingram M.J., Underhill D.J., Wigley T.G.L. (1978). Historical climatology. *Nature*, 276, 329–334.
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. En Core Writing Team, R.K. Pachauri y L.A. Meyer. *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC: Geneva, Switzerland.
- Jacobeit J., Jönsson P., Barring L., Beck C., and Ekström M. (2001). Zonal indices for Europe 1780–1995 and running correlations with temperature. *Climatic Change*, 48, 219–241.
- Jones P.D., Raper S.C.B., Santer B., Cherry B.S.G., Goodess C.M., Kelly P.M., Wigley T.M.L., Bradley R.S., Diaz H.S. (1986). *A grid point surface air temperature data set for the Northern Hemisphere*. United States Department of Energy: Springfield.
- Jones P. D. (1994). Hemispheric surface air temperature variations: A reanalysis and an update to 1993. *Journal of Climate*, 7, 1794–1802.

- Jones P.D., Briffa K.R., Osborn T.J., Lough J.M., Van Ommen T.D., Vinther B.M., Luterbacher J., Wahl E.R., Zwiers F.W., Mann M.E., Schmidt G.A., Ammann C.M., Buckley B.M., Cobb K.M., Esper J., Goosse H., Graham N., Jansen E., Kiefer T., Kull C., Küttel M., Mosley-Thompson E., Overpeck J.T., Riedwyl N., M. Schulz M., Tudhope A.W., Villalba R., Wanner H., Wolff E., Xoplaki E. (2009). High-resolution palaeoclimatology of the last millennium: A review of current status and future prospects. *The Holocene*, 19, 3–49.
- Jurin J. (1723). *Invitatio ad observationes Meteorologicas communi consilio instituendas a Jacobo Jurin M. D. Soc. Reg. Secr. et Colleg. Med. Lond. Socio. Philosophical Transactions*, 379, 422–427.
- Kington J. (1988). *The Weather of the 1780s over Europe*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Können G.P., Zaiki M., Baede A.P.M., Mikami T., Jones P.D., Tsukahara T. (2003). Pre-1872 extension of the Japanese instrumental meteorological observation series back to 1819. *Journal of Climate*, 16, 118–131.
- Lafuente A., Sellés M. (1998). *El Observatorio de Cádiz (1753-1831)*. Ministerio de Defensa: Madrid.
- Le Roy Ladurie E. (2005). Canicule, fraîcheurs, vendages (France, XV e XIX e siècles). *C. R. Biol.*, 328, 213 – 222.
- Lindzen R., Chapman S. (1970). *Atmospheric Tides*. D. Reidel. 200.
- Liverman D.M. (2009). Conventions of climate change: constructions of danger and the dispossession of the atmosphere. *Journal of Historical Geography*, 2, 279–296.
- Luterbacher J., Schmutz C., Gyalistras D., Xoplaki E. (1999). Reconstruction of monthly NAO and EU indices back to AD 1675. *Geophysical Research Letters*, 26, 2745–2748.
- Malagotti L. (1667). *Saggi di naturali esperienze fatte nell'Accademia del Cimento*, Florencia.
- Malaquias I., Fernandes M., (2004) Contributos de Joao Jacinto de Magalhaes para o desenvolvimento da meteorologia. 3º *Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG*. Selenova, Artes Gráficas, Lda.: Liboa, pp. 19-24.
- Martin-Vide J. (1997). *Avances en Climatología histórica en España/Advances in historical Climatology in Spain*. Oikos-tau: Barcelona.
- Mauch C., (2009). Introduction. In: Mauch C., Pfister C. (eds). *Natural disasters, cultural responses. Case studies towards a global environmental history*. Lexington: Lanham.
- Maugeri M., Buffoni L., Del Monte L., Fassina, Mauelshagen F. (2002). Daily Milan temperature and pressure series (1763–1998): completing and homogenising the data. *Climatic Change*, 53, 119–149.
- Mauelshagen F. (2008). *Wunderkammer auf Papier. Die Wickiana zwischen Reformation und Volksglaube*. Studentendruckerei: Zürich.
- Mauelshagen F. (2014). Redefining historical climatology in the Anthropocene. *The Anthropocene Review*, 2, 1-34.
- Meehl G.A., Hu A.X., Santer B.D. (2009). The mid-1970s climate shift in the Pacific and the relative roles of forced versus inherent decadal variability. *Journal of Climate*, 22, 780–792.
- Meier N., Rutishauser T., Pfister C., Wanner H., Luterbacher J. (2007). Grape harvest dates as a proxy for Swiss April to August temperature reconstructions back to AD 1480. *Geophysical Research Letters*, 34, L20705.
- Middleton W. E. K. (1964). *The History of the Barometer*, Johns Hopkins: Baltimore.
- Middleton W. E. K. (1966). *A History of the Thermometer and its Use in Meteorology*, Johns Hopkins: Baltimore.
- Munzar J., Deutsch M., Rost K. T. (2005). Historical floodmarks – documents of extreme hydrological events in the Elbe/Labe catchment area. En Workshop of Adolf Paterna

- (eds). *Extreme hydrological events in catchments*. Proceedings, ČVUT: Praga, 67-75.
- Nash D., Adamson G. (2014). Recent advances in the historical climatology of the tropics and subtropics. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95, 131-146.
- Neukom R., Luterbacher J., Villalba R., Küttel M., Frank D., Jones P.D., Grosjean M., Esper J., Lopez L., Wanner H. (2010). Multi-Centennial Summer and Winter Precipitation Variability in Southern South America. *Geophysical Research*, 37, L14708.
- Neukom, R., Gergis, J. (2012). Southern Hemisphere high resolution palaeoclimate records of the past 2000 years. *The Holocene*, 5, 501–524.
- Nicholson S.E., Dezfuli A.K., Klotter D. (2012). A two-century precipitation dataset for the continent of Africa. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 1219–1231.
- Nussbaumer S., Zumbühl H.J., Steiner D. (2007). Fluctuations of the Mer de Glace (Mont Blanc area, France) AD 1500–2050 an interdisciplinary approach using new historical data and neural network simulations. *Zeitschrift für Glaziologie und Glazialgeologie*, 40, 4–183.
- Nussbaumer S.U., Nesje A., Zumbühl H.J. (2011). Historical glacier fluctuations of Jostedalbreen and Folgefonna (southern Norway) reassessed by new pictorial and written evidence. *The Holocene*, 21, 455-471
- Olagüe I. (1951). *La decadencia española*. Mayfe: Madrid.
- Ortlieb L. (1994). Las mayores precipitaciones históricas en Chile central y la cronología de eventos “ENSO” en los siglos XVI-XIX. *Revista Chilena de Historia Natural*, 67, 11 7-139.
- Ortlieb L. (1995). Eventos El Niño y episodios lluviosos en el Desierto de Atacama: El registro de los Últimos dos siglos. *Bulletin de 1 ‘Institut Français d’Etudes Aizdiizes*, 24, 519-537.
- Ortlieb L., Hocquenghem A.M., Minaya, A. (1995). *Toward a revised historical chronology of El Niño events registered in western South America*. Terra Nostra: Berlin.
- Ortlieb L. (2000). The documentary historical record of El Niño events in Peru: an update of the Quinn record (sixteenth through nineteenth centuries). En Diaz H., Markgraf V. (Eds.). *El Niño and the Southern Oscillation: Multiscale Variability and Global and Regional Impacts*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Peterson T.C., Vose R.S. (1997). An overview of the global historical climatology network temperature database. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 2837–2849.
- Peterson T.C., Vose R.S., Schmoyer R., Razuvaev V. (1998). Global historical climatology network (GHCN) quality control of monthly temperature data. *International Journal of Climatology*, 18, 1169-1179.
- Pfister C., Bareiss, W. (1994). The climate in Paris between 1675 and 1715 according to the meteorological journal of Louis Morin. En Frenzel B., Pfister C., y Glaser B. (eds.). *Climate Trends and Anomalies in Europe 1675–1715*, Fisher Verlag: Stuttgart, 151–171.
- Pfister C., Brázdil R., Glaser R., Barriendos M., Camuffo D., Deutsch M., Dobrovoln P., Enzi S., Guidoboni E., Kotyza O., Militzer S., Rác L., Rodrigo F. (1999). Documentary evidence in Sixteenth Century Europe. *Climatic Change*, 1, 55-110.
- Pfister C., Brázdil R., Obrebska-Starkel B., Starkel L., Heino R., von Storch H. (2001). *Strides made in reconstructing past weather and climate*. EOS—Transactions American Geophysical Union.
- Pfister C., Luterbacher J., Wanner H., Wheeler D., Brázdil R., Quansheng G., Hao Z., Moberg A., Grab S., Prieto R.M. (2008). *Documentary evidence as climate proxies*. ‘White Paper’ written for the Proxy Uncertainty Workshop.
- Pfister C., Garnier E., Alcoforado M.J., Wheeler D., Luterbacher J., Nunes M.F., Taborda J.T. (2010). The meteorological framework and the cultural memory of three severe winter-

- storms in early eighteenth-century Europe. *Climatic Change*, 10, 281-310.
- Pfister C. (2010). The '1950s Syndrome' and the transition from a slow-going to a rapid loss of global sustainability. En Ükötter Fua (ed.). *The Turning Points in Environmental History*. Pittsburgh, University of Pittsburgh Press: PA.
- Piervitali E., Colacino M. (2001). Evidence of drought in Western Sicily during the period 1565-1915 from liturgical offices. *Climatic Change*, 49, 225-238.
- Prieto M.D., García-Herrera R.G. (2009). Documentary sources from South America: potential for climate reconstruction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281, 196-209.
- Przybylak R., Vizi Z. (2005). Air temperature change in the Canadian arctic from the early instrumental period to modern times. *International Journal of Climatology*, 25, 1507-1522.
- Przybylak R., Oliński P., Chorążyczewski W., Nowosad W., Syta K. (2010). Documentary evidences. En Przybylak R., Majorowicz J., Brázdil R., Kejna M. (eds). *The Polish climate in the European context: an historical overview*. Springer: Berlin, 167-190.
- Puig D., (1905) *La sequía en España y sus causas. Cambio de su régimen climatológico*, Henrich y Cia Biblioteca del Instituto Agrícola Catalán de San Isidro: Barcelona.
- Quinn W.H., Neal V.T., Mayolo S. (1987). El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *Journal of Geophysical Research*, 9, 14449-14461.
- Quinn W. H. (1992). A study of Southern Oscillation-related climatic activity for A. D. 622-1900 incorporating Nile River flood data. En Diaz H. E y Markgraf, V. (eds.). *El Niño: Historical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Quinn W.H, Neal V. T. (1992). The historical record of El Niño events. En Bradley R. S., Jones P. D. (eds.). *Climate Since A.D. 1500*. London: Routledge.
- Quinn W.H. (1993). The large-scale ENSO event, the El Niño, and other important features. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 22, 13-34.
- Qian W., Zhu W. (2000). Little Ice Age Climate near Beijing, China, Inferred from Historical and Stalagmite Records. *Quaternary Research*, 57, 109-119.
- Rico M., (1851) *Memoria sobre las causas meteorológico-físicas que producen las constantes sequías de Murcia y Almería, señalando los medios de atenuar sus efectos*. D.S. Compagni: Madrid.
- Rico M. (1858). Estudios meteorológicos y topográfico-médicos en España en el siglo XVIII. *Siglo Médico*, 215, 216, 217 y 218.
- Rodríguez R., Llasat M.C., Martín-Vide J. (1999). Análisis de series temporales en climatología. *Modelización y homogeneidad*. Dpto. Geografía y A.G.R. Universidad de Barcelona: Barcelona.
- Rodríguez R., Barriendos M., Jones P.D., Martín-Vide J., Peña J.C. (2001). Long pressure series for Barcelona (Spain). Daily reconstruction and monthly homogenization. *International Journal of Climatology*, 21, 1693-1704.
- Rodríguez J.J. (2012). *Variabilidad temporal de la precipitación y la temperatura en las comarcas de la región de Cantabria*. Tesis doctoral, Universidad de Cantabria: Santander.
- Rodrigo F. S., Esteban-Parra M.J., Castro-Díez Y. (1998). On the use of the Jesuit Order private correspondence records in climate reconstructions: a case study from Castille (Spain) for 1634-1648 A.D. *Climatic Change*, 40, 625-645.
- Rodrigo F.S. (2007). El clima de Andalucía a través de los registros históricos. En Sousa A., García-Barrón L., Jurado V. (eds.). *El cambio climático en Andalucía: evolución y consecuencias medioambientales*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía: Andalucía.
- Rodrigo F.S., Gómez-Navarro J.J., Montávez Gómez J.P. (2012). Climate variability in Andalusia

- (southern Spain) during the period 1701–1850 based on documentary sources: evaluation and comparison with climate model simulations. *Climate of the Past*, 8, 117–133.
- Rohland E. (2011). *Sharing the Risk: Fire, Climate, and Disaster: Swiss Re 1864–1906*. Crucible Books: Lancaster.
- Rohland E. (2013). *Hurricanes in New Orleans, 1718–1965: A history of adaptation*. Department of History, Ruhr University Bochum: Tesis.
- Rozier (1782). Sur un baromètre nouveau, inventé par M. Magellan. *Observatoires et Mémoires sur la Physique, sur L'Histoire Naturelle et sur les Arts*, Février, p. 108-125, Mars, p. 194-212, Avril, p. 257-273 & Mai, p. 348 – 356, Paris.
- Sanches Dorta B. (1797). Observações Meteorológicas feitas na Cidade do Rio de Janeiro. *Memoria Mathematico Phisicas da Real Academia das Ciências de Lisboa*, 1, 362–363.
- Sanches Dorta, B. (1799) Observações Astronomicas, e Meteorologicas feitas na Cidade do Rio de Janeiro no anno de 1784. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia R. das Sciencias de Lisboa II*, pp. 347-368.
- Sanches Dorta, B. (1812) Observações Astronomicas, e Meteorologicas feitas na Cidade do Rio de Janeiro no anno de 1786. *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia R. das Sciencias de Lisboa III*, pp. 68-107.
- Slonosky V.C., Jones P.D., Davies T.D. (1999). Homogenization techniques for European monthly mean surface pressure series. *Journal of Climate*, 12, 2658-2672.
- Solomon A., Goddard L., Kumar A., Carton J., Deser C., Fukumori I., Greene A.M., Hegerl G., Kirtman B., Kushnir Y., Newman M., Smith D., Vimont D., Delworth T., Meehl G.A., Stockdale T. (2011). Distinguishing the roles of natural and anthropogenically forced decadal climate variability: Implications for prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92, 141-156.
- Sontakke N.A., Singh N. (1996). Longest instrumental regional and all India summer monsoon rainfall series using optimum observations: reconstruction and update. *The Holocene*, 6, 315–331.
- Sontakke N.A., Nityanand S., Singh H.N. (2008). Instrumental period rainfall series of the Indian region (AD 1813–2005): revised reconstruction, update and analysis. *The Holocene*, 18, 1055–1066.
- Taborda J.P., Alcoforado M.J., García J.C. (2004). *O clima do sul de Portugal no século XVIII*. Centro de Estudos Geograficos: Lisboa.
- Tan L.S., Burton S., Crouthamel R., Van Engelen A., Hutchinson R., Nicodemus L., Peterson T.C., Rahimzadeh F. (2004). *Guidelines on Climate Data Rescue*. WMO. Technical Notes: Ginebra.
- Tarazona J., Arntz W.E., Castillo de Maruenda E. (2001). *El Niño en América Latina: Impactos biológicos y Sociales*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología: Lima.
- Targioni Tozzetti G. (1780). *Notizie degli aggrandimenti delle Scienze Fisiche accaduti in Toscana nel corso di anni LX del secolo XVII*. Tomo I. Bouchard: Florencia.
- Trigo R.M., Vaquero J.M., Stothers R.B. (2010). Witnessing the impact of the 1783-1784 Laki eruption in the Southern Hemisphere. *Climatic Change*, 99, 535-546.
- Trigo R.M., Varino F., Ramos A.M., Valente M.A., Zêzere J.L., Vaquero J.M., Gouveia C.M., Russo A. (2014). The record precipitation and flood event in Iberia in December 1876: description and synoptic analysis. *Frontiers in Earth Science*, 2, 1-15.
- Vaquero J. M., Gallego M. C., García J. A. (2003). Auroras in the Iberian Peninsula (1700-1855) from Rico Sinobas' Catalogue. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 65, 677-682.
- Vaquero J. M., Trigo R. M. (2005). Auroras observed in Portugal in late 18th century obtained

- from printed and manuscript meteorological observations. *Solar Physics*, 231, 157–166.
- Vaquero J.M., García-Herrera R., Wheeler D., Chenoweth M., Mock C. J. (2008). A Historical Analog of 2005 Hurricane Vince. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 89, 191–201.
- Vaquero J.M., Gallego M. C., Barriendos M., Rama E., Sánchez-Lorenzo A. (2010). Francisco Salvá's auroral observations from Barcelona during 1780-1825. *Advances in Space Research*, 45, 1388-1392
- Von Storch H., Stehr, N. (1997). The case for the social sciences in climate research. *Ambio*, 26, 66–71.
- Wallace J., Hobbs P. (2006). *Atmospheric Science, an Introductory Survey. (International Geophysics)*. Academic Press: Burlington.
- Walsh R.P.D, Glaser R., Militzer S. (1999). The climate of madras during the eighteenth century. *International Journal of Climatology*. 19, 1025–1047.
- Wang B., Jhun J.G., Noon B.K. (2007). Variability and singularity of Seoul, South Korea, Rainy season (1778–2004). *Journal of Climate*, 20, 2572–2580.
- Wheeler D. (1995). Early instrumental weather data from Cádiz: a study of late eighteenth and early nineteenth century records. *International Journal of Climatology*, 15, 801-810.
- Wheeler D., García Herrera R., Koek F. et al. (2006). *CLIWOC: Climatological Database for the World's Oceans: 1750 to 1850*. Office for Official Publications of the European Community: Luxemburgo.
- Wheeler D. (2007). The Gibraltar climatic record: part 2 precipitation. *Weather*, 62, 99–105.
- Wheeler D., Bell A. (2012). The Gibraltar climatic record: part 4 the earliest records. *Weather*, 67, 240–245.
- Wieringa J. (1998). *How far can agrometeorological station observations be considered representative?*. Prepr. 23rd Am. Meteor. Soc. Conf. on Agricultural and Forest Meteorology: Albuquerque.
- WMO (1982). Methods of Correction for Systematic Error in Point Precipitation Measurement for Operational Use. En Sevruc B. (eds). *Operational Hydrology Report. N° 21*. WMO-N°. 589: Geneva.
- WMO (1984). International Comparison of National Precipitation Gauges with a Reference Pit Gauge. En Sevruc B. y Hamon W.R. (eds). *Instruments and Observing Methods Report N° 17*. WMO/TD: Geneva.
- WMO (1986). Papers Presented at the Workshop on the Correction of Precipitation Measurements. En Sevruc Instruments B. (eds). *Observing Methods Report No. 25*. WMO/TD-N°. 104, Geneva.
- WMO (1989). Catalogue of National Standard Precipitation Gauges. En Sevruc B. y Klemm S (eds). *Instruments and Observing Methods Report No. 39*. WMO/ TD-No. 313: Geneva
- WMO (1994). *Guide to Hydrological Practices, Data Acquisition and Processing, Analysis, forecasting and other Applications*. WMO/TD-N° 168, Geneva.
- WMO (2008). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. Chairperson: Génova.
- Woodruff S., Worley S., Lubker S., Ji Z., Freeman J., Berry D., Brohan P., Kent E., Reynolds R., Smith S., Wilkinson C. (2011). *ICOADS Release 2.5: extensions and enhancements to the surface marine meteorological archive*. Publications Agencies and Staff of the U.S. Department of Commerce: US.
- Zaiki M., Können G.P., Tsukahara T., Jones P.D., Mikami T., Matsumoto K.. (2006). Recovery of nineteenth-century Tokyo/Osaka meteorological data in Japan. *International Journal of Climatology*, 26, 399–423.

- Zerefos C.S, Tetsis P., Kazantzidis A., Amiridis V., Luterbacher J., Eleftheratos K., Gerasopoulos E., Kazadzis S., Papayannis A. (2014). Further evidence of important environmental information content in red-to-green ratios as depicted in paintings by great masters. *The Journal of Atmospheric Chemistry and Physics*, 14, 2987-3015.
- Zinke J., von Storch H., Müller B., Zorita E., Rein B., Mieding H. B., Miller H., Lücke A., Schleser G. H., Schwab M. J., Negendank J. F.W., Kienel U., González-Rouco J. F., Dullo C., Eisenhauser A (2004). Evidence for the climate during the Late Maunder Minimum from proxy data available within KIHZ. En Fischer H., Kumke T., Lohmann G., Flöser G., Miller H., von Storch H., Negendank J. F. W. (eds.). *The KIHZ Project: Towards A Synthesis of Holocene Proxy Data and Climate Models*. Springer: Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Zorita E., von Storch H., González-Rouco F., Cubasch U., Luterbacher J., Legutke S., Fischer-Bruns I., Schlese U. (2003). *Transient simulation of the climate of the last five centuries with an atmosphere-ocean coupled model: The Late Maunder Minimum and the Little Ice Age*. Meteorol: Zeitschrift.

