

# TABLA DE CONTENIDOS

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Agradecimientos</b>  | <b>xi</b>   |
| <b>Resumen</b>  | <b>xiii</b> |
| <br>  |             |
| <b>I. PLANTEAMIENTOS GENERALES</b>  | <b>1</b>    |
| <br>  |             |
| <b>I.1. Antecedentes de la investigación.</b>                               | <b>3</b>    |
| <br>  |             |
| <b>I.2. Problema de investigación. Hipótesis y objetivos.</b>               | <b>5</b>    |
| <br>  |             |
| <b>I.3. Justificación del trabajo.</b>                                      | <b>6</b>    |
| <br>  |             |
| <b>I.4. Resumen de la metodología.</b>                                      | <b>8</b>    |
| <br>  |             |
| <b>I.5. Esquema general de la tesis.</b>                                    | <b>9</b>    |
| <br>  |             |
| <b>II. LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA</b>   | <b>11</b>   |
| <br>  |             |
| <b>II.1. Estructura del dato científico.</b>                                | <b>13</b>   |
| <br>  |             |
| <b>II.2. El dato climático.</b>   | <b>15</b>   |
| <br>  |             |
| <b>II.3. El dato climático en la matriz de datos.</b>                       | <b>17</b>   |
| <br>  |             |
| <b>II.4. Tipos de datos climáticos.</b>                                     | <b>22</b>   |
| II.4.1. Datos observados.   | 23          |
| II.4.1.1. Datos procedentes de observatorios in situ                        | 23          |
| II.4.1.2. Datos procedentes de sensores remotos.                            | 33          |
| II.4.2. Datos modelados.  | 35          |
| II.4.2.1. Datos generados a partir de Modelos de Circulación General.       | 35          |
| II.4.2.2. Datos generados a partir de la interpolación de datos observados. | 40          |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>II.5. Formatos de distribución.</b>                                 | <b>42</b> |
| II.5.1. Los formatos de texto.   | 42        |
| II.5.2. Los formatos <i>raster</i> bidimensionales.                    | 42        |
| II.5.3. Los formatos multidimensionales.                               | 43        |
| <b>II.6. Conclusión del capítulo.</b>                                  | <b>44</b> |
| <b>III. EL ACCESO DE LOS USUARIOS A LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA</b>       | <b>47</b> |
| <b>III.1. La información climática y el <i>open data movement</i>.</b> | <b>49</b> |
| III.1.1. Dato, información y conocimiento.                             | 50        |
| III.1.2. Open Data Movement.   | 53        |
| III.1.3. Open Access.  | 54        |
| III.1.4. Open scientific data.   | 56        |
| III.1.5. Información climática y <i>open data</i> .                    | 59        |
| <b>III.2. Los usuarios de la información climática.</b>                | <b>61</b> |
| III.2.1. Grupos de usuarios potenciales.                               | 62        |
| III.2.2. Requerimientos de los usuarios.                               | 64        |
| <b>III.3. Conclusión del capítulo.</b>                                 | <b>66</b> |
| <b>IV. LA GEOVISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA</b>             | <b>69</b> |
| <b>IV.1. La geovisualización.</b>                                      | <b>71</b> |
| <b>IV.2. <i>Web mapping</i> y cartografía web.</b>                     | <b>74</b> |
| IV.2.1. Los datos y su almacenamiento.                                 | 79        |
| IV.2.1.1. Mapas estáticos y mapas dinámicos.                           | 79        |
| IV.2.1.2. Sistemas Gestores de Bases de Datos Relacionales.            | 80        |
| IV.2.2. Difusión de la información. Servidores y servicios.            | 83        |
| IV.2.2.1. Servidores web y servidores de aplicaciones.                 | 84        |
| IV.2.2.2. Interoperabilidad y estándares <i>OGC</i> .                  | 87        |
| IV.2.2.2.1. Web Map Service.   | 88        |

|  |            |
|--|------------|
| IV.2.2.2.2. Web Map Tile Service.  | 91         |
| IV.2.2.2.3. Web Feature Service.   | 93         |
| IV.2.2.2.4. Otros estándares del OGC.  | 95         |
| IV.2.3. Presentación de la información.                                      | 97         |
| IV.2.3.1. Clientes Pesados.  | 97         |
| IV.2.3.2. Clientes ligeros.  | 98         |
| <b>IV.3. Sistemas de cartografía web climática actuales.</b>                 | <b>100</b> |
| <b>IV.4. Conclusión del capítulo.</b>  | <b>111</b> |
| <b>V. METODOLOGÍA</b>  | <b>113</b> |
| <b>V.1. Marco metodológico.</b>  | <b>115</b> |
| <b>V.2. Fuentes de datos y escalas.</b>                                      | <b>119</b> |
| V.2.1. Escalas del trabajo de investigación.                                 | 120        |
| V.2.2. Los conjuntos de datos globales en rejilla.                           | 121        |
| V.2.2.1. Conjunto de datos <i>CRU TS</i> .                                   | 121        |
| V.2.2.2. Conjunto de datos <i>GHCN-CAMS</i> .                                | 126        |
| V.2.2.3. Conjunto de datos <i>GPCC - First Guess monthly (GPCC-FGM)</i> .    | 128        |
| V.2.3. Los conjuntos de datos regionales procedentes de <i>downscaling</i> . | 131        |
| V.2.4. Formatos de distribución de los datos utilizados.                     | 132        |
| <b>V.3. Fases metodológicas de desarrollo del sistema.</b>                   | <b>133</b> |
| V.3.1. Análisis y diseño general del sistema.                                | 134        |
| V.3.2. Entrada de datos en el sistema.                                       | 134        |
| V.3.3. Modelado de datos.  | 136        |
| V.3.4. Diseño e implementación del servidor cartográfico.                    | 137        |
| V.3.5. Flujo de salida y diseño de la interfaz de usuario.                   | 139        |
| <b>V.4. Conclusión del capítulo.</b>   | <b>140</b> |
| <b>VI. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>                                | <b>141</b> |
| <b>VI.1. Arquitectura de los sistemas.</b>                                   | <b>143</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>VI.2. La escala global: Global Climate Monitor.</b>      | <b>145</b> |
| VI.2.1. El flujo de datos.                                  | 145        |
| VI.2.2. El modelo lógico de datos.                          | 148        |
| VI.2.2.1. Vistas <i>SQL</i> de la base de datos.            | 150        |
| VI.2.3. El servidor cartográfico.                           | 153        |
| VI.2.4. La interfaz de usuario                              | 156        |
| VI.2.4.1. Resultados de retroalimentación de los usuarios.  | 162        |
| VI.2.4.1.1. Encuesta a todos los usuarios de la aplicación. | 162        |
| VI.2.4.1.2. Estadísticas de uso Google Analytics.           | 164        |
| <br>  |            |
| <b>VI.3. La escala Regional: <i>CAMBIA</i>.</b>             | <b>166</b> |
| VI.3.1. El flujo de datos.                                  | 166        |
| VI.3.2. El modelo lógico de datos.                          | 169        |
| VI.3.3. El servidor cartográfico.                           | 171        |
| VI.3.4. La interfaz de usuario                              | 172        |
| <br>  |            |
| <b>VII. CONCLUSIONES</b>                                    | <b>177</b> |
| <br>  |            |
| <b>VII.1. Conclusiones generales.</b>                       | <b>179</b> |
| <br>  |            |
| <b>VII.2. Líneas de investigación futuras.</b>              | <b>183</b> |
| <br>  |            |
| <b>Bibliografía</b>   | <b>187</b> |
| <br>  |            |
| <b>Índice de siglas y acrónimos</b>                         | <b>219</b> |
| <br>  |            |
| <b>Anexos</b>   | <b>223</b> |

# ÍNDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Fig. 1: Gráfico de evolución de la temperatura media anual.   | 19  |
| Fig. 2: Volumen de datos climáticos en el mundo según su origen.  | 23  |
| Fig. 3: Resultados medios de cinco años de observaciones (1780-1784) en Haguenau (Alsacia) realizadas por M. Keller, doctor en medicina.              | 25  |
| Fig. 4: Mapa de todas las estaciones del volumen A de informes meteorológicos de la <i>WMO</i> en 2014.   | 27  |
| Fig. 5: Mapa de estaciones de la red <i>GSN</i> del <i>GCOS</i> .   | 32  |
| Fig. 6: Red de satélites del <i>Global Climate Observing System</i> en 2009.  | 33  |
| Fig. 7: Esquema simplificado de un Modelo acoplado de Circulación General Atmósfera-Océano.   | 36  |
| Fig. 8: Precipitación media diaria (mm./día) del invierno (1961-1990) en Reino Unido a partir de un <i>GCM</i> , de un <i>RCM</i> y de observaciones. | 38  |
| Fig. 9: Esquema de la relación dato-información-conocimiento.   | 53  |
| Fig. 10: Esquema de las razones fundamentales para la compartición de datos.  | 59  |
| Fig. 11: El cubo de MacEachren.   | 73  |
| Fig. 12: Página del “ <i>Interactive Map Viewer</i> ” en su configuración por defecto.  | 75  |
| Fig. 13: Marco general de comunicación de un sistema de <i>web mapping</i> .  | 78  |
| Fig. 14: Ejemplo de recurso estático. Mapa global de anomalías térmicas del mes de agosto de 2003 con respecto al periodo normal 1961-1990.           | 85  |
| Fig. 15: Ejemplo de recurso dinámico. Mapa global de anomalías térmicas del mes de agosto de 2003 con respecto al periodo normal 1961-1990.           | 86  |
| Fig. 16: Interoperabilidad entre dos unidades funcionales.  | 88  |
| Fig. 17: Esquema de teselado con cinco niveles de zoom.   | 92  |
| Fig. 18: Vista de la página del visor del <i>IPCC</i> .   | 101 |

|   |     |
|---|-----|
| Fig. 19. Vista del visor <i>Global Data Explorer</i> .  | 103 |
| Fig. 20. Vista del visor <i>Climatevizard</i> .   | 104 |
| Fig. 21. Vista de la página del visor del <i>IRI</i> .  | 105 |
| Fig. 22. Vista del <i>CMIP5 Global Climate Change Viewer</i> .  | 106 |
| Fig. 23. Vista del visor <i>Climateinternational.org</i> .  | 107 |
| Fig. 24. Vista de la página del visor de la <i>NCDC-NOAA</i> .  | 108 |
| Fig. 25. Vista de la página del visor de la <i>NCDC-NOAA</i> de sequía global.  | 109 |
| Fig. 26. Vista de la página del visor <i>GIDMaPS</i> .  | 109 |
| Fig. 27. Vista del visor <i>Global drought monitor</i> .  | 110 |
| Fig. 28. Ejemplo de la definición de un sistema.  | 115 |
| Fig. 29: Tipos de flujos de procesos en el desarrollo de sistemas de información.   | 118 |
| Fig. 30: Distribución espacial de los observatorios de las redes para la construcción del conjunto de datos de precipitación de <i>CRU TS 3.23</i> .                              | 122 |
| Fig. 31. Temperatura media normal del mes de enero del periodo de referencia 1961-1990 del conjunto de datos de Jones.  | 125 |
| Fig. 32: Distribución espacial de los observatorios de las redes para la construcción del conjunto de datos <i>GHCN-CAMS</i> .  | 127 |
| Fig. 33: Número de informes mensuales de temperatura media de las redes <i>GHCN</i> y <i>CAMS</i> y la combinación de ambas (excluyendo estaciones duplicadas) entre 1948 y 2007. | 128 |
| Fig. 34: Distribución espacial de los observatorios disponibles en 2015 con cálculo de precipitación normal basado en un mínimo de 10 años de registros mensuales.                | 130 |
| Fig. 35. Zonas definidas para la regionalización en estratos por regresión múltiple.  | 132 |
| Fig. 36. Etapas de la entrada de datos en los sistemas.   | 136 |
| Fig. 37. Arquitectura de los sistemas.  | 144 |
| Fig. 38: Modelado del flujo de datos en el sistema <i>Global Climate Monitor</i> .  | 146 |
| Fig. 39: Modelo lógico entidad relación del sistema <i>Global Climate Monitor</i> .   | 149 |

|   |     |
|---|-----|
| Fig. 40. Ejemplo de la cobertura de puntos de la rejilla a $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ centrado en la península ibérica.   | 150 |
| Fig. 41. Ejemplo de solicitud (recuadro superior) de una imagen al servicio <i>WMS</i> , con su correspondiente respuesta (recuadro inferior).                                      | 154 |
| Fig. 42. Ejemplo de gradación con interpolación del color para precipitación mensual.   | 155 |
| Fig. 43: Interfaz de usuario de <i>Globalclimatemonitor.org</i> .   | 157 |
| Fig. 44. Ventana de animación de normales de <i>Global Climate Monitor</i> .  | 158 |
| Fig. 45. Ventana de la funcionalidad de descarga de <i>Global Climate Monitor</i> .   | 159 |
| Fig. 46. Captura de pantalla de un archivo correspondiente a las anomalías térmicas mensuales de agosto de 2003 en formato <i>KML</i> , visualizado en <i>Google Earth</i> .        | 160 |
| Fig. 47. Funcionalidad de gráficos de <i>Global Climate Monitor</i> .   | 161 |
| Fig. 48. Resumen de respuestas a la encuesta <i>Global Climate Monitor</i> .  | 163 |
| Fig. 49. Porcentaje de respuestas por pregunta a la encuesta <i>Global Climate Monitor</i> .  | 164 |
| Fig. 50. Distribución geográfica de los usuarios de <i>globalclimatemonitor.org</i> durante el último año (junio 2015 – mayo 2016).   | 165 |
| Fig. 51: Modelado del flujo de datos en el sistema <i>CambiA</i> .  | 167 |
| Fig. 52: Modelo lógico entidad relación del sistema <i>CambiA</i> .   | 170 |
| Fig. 53. Interfaz de usuario del visor <i>CambiA</i> .  | 174 |
| Fig. 54. Visualización del indicador de cambio mensual con respecto al periodo 1961-2000, para el mes de octubre, el escenario <i>sra1b</i> y el periodo 2011-2040. <i>CambiA</i> . | 175 |



# ÍNDICE DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla. 1: Estructura de la tesis doctoral en capítulos  | 9   |
| Tabla 2. La matriz de datos.  | 14  |
| Tabla 3. La estructura del dato aplicada a dos elementos básicos del clima.                                       | 18  |
| Tabla 4. La matriz de datos de observatorios meteorológicos.  | 18  |
| Tabla 5. La matriz de datos de temperaturas anuales.  | 19  |
| Tabla 6. La matriz de datos de temperaturas anuales transpuesta.  | 20  |
| Tabla 7. La matriz de datos de temperaturas anuales con el tiempo como variable.                                  | 20  |
| Tabla 8. La matriz de datos de temperaturas anuales en varios observatorios.                                      | 21  |
| Tabla 9. La matriz de datos de temperaturas anuales con el tiempo y el observatorio como variables.               | 21  |
| Tabla 10. Información básica relativa al subsistema de la atmósfera sobre los modelos utilizados en este trabajo. | 37  |
| Tabla 11. Grupos de usuarios según sector, uso de la información y capacidades.                                   | 64  |
| Tabla. 12. Los parámetros de la operación <i>GetCapabilities</i> de un servicio <i>WMS</i> .                      | 89  |
| Tabla. 13. Los parámetros de la operación <i>GetMap</i> de un servicio <i>WMS</i> .                               | 90  |
| Tabla. 14. Los parámetros de la operación <i>GetFeatureInfo</i> de un servicio <i>WMS</i> .                       | 90  |
| Tabla. 15. Los parámetros de la operación <i>GetTile</i> de un servicio <i>WMTS</i> .                             | 93  |
| Tabla. 16. Operaciones de un servicio <i>WFS</i> .  | 94  |
| Tabla. 17. Parámetros de las operaciones <i>DescribeFeatureType</i> y <i>GetFeature</i> de un <i>WFS</i> .        | 95  |
| Tabla. 18. Variables e indicadores climáticos de <i>Global Climate Monitor</i> .                                  | 151 |
| Tabla. 19. Parámetros y valores de la solicitud de la figura 42.  | 155 |
| Tabla. 20. Opciones de descarga de <i>Global Climate Monitor</i> .  | 160 |



## Agradecimientos

Mi primer agradecimiento es para mis directores de tesis, los profesores M<sup>a</sup> Fernanda Pita y José Ojeda. No soy capaz de comunicar en pocas palabras cuánto les debo a los dos, cuánto me han enseñado y el enorme privilegio que ha supuesto conocerlos y compartir con ellos estos años en la Universidad. Muchísimas gracias.

También quiero expresar mi gratitud muy especialmente al profesor Juanma Camarillo. Juntos iniciamos este trabajo y juntos seguimos trabajando en él. A él se debe el diseño de las bases de datos y todas las ideas excelentes. Debo agradecerle su predisposición y natural facilidad para compartir sus conocimientos y valorar nuestro propio trabajo. Y por su amistad.

Los sistemas como los que se describen en esta tesis no pueden ser llevados a término sin la participación de un equipo de personas. Además de la satisfacción de ver que su trabajo tiene frutos, creo que merecen también mi sincero agradecimiento. Gracias a Jose María Amuedo, al que se debe gran parte de la interfaz del sistema CambiA. Gracias al equipo de Geographica, por su entusiasmo, por su imprescindible participación en la configuración de los sistemas y por reparar mis errores (del tipo *no poner el where en algún que otro delete from*). Gracias especialmente a Alberto, a Javier y a Héctor.

Mi agradecimiento a la Junta de Andalucía, a la Consejería de Economía y Conocimiento por el soporte ofrecido en marco del proyecto de Excelencia, y a la Red de Información Ambiental de Andalucía por su interés en el proyecto.

Quiero dar también las gracias a los investigadores de la *Climatic Research Unit* por acogerme en su centro y poner a mi disposición todo lo necesario para poder trabajar con comodidad durante mi estancia en Norwich, especialmente a Clare Goodess, Ian Harris y David Lister.

Gracias a mi amigo Joaquín por su generosidad, por llevarme al campo y por tener tan alto concepto (equivocado) de mí. Gracias a Ismael, Enrique, Mónica, Alfonso por hacerme pasar tan buenos ratos en su compañía.

Gracias a Inma, por ser la mejor; a Pablo por compartir conmigo su afición por el baloncesto y algún que otro de sus viajes; a Pilar por ofrecer tantas veces su ayuda; a JuanPe por enseñarme dónde está el interruptor en el lado oscuro. Gracias a todos los compañeros de ahora y a antiguos “zuleros” que han compartido buenos momentos conmigo, me han echado una mano de vez en cuando y me han soportado a veces.

Debo mi agradecimiento más personal y afectuoso a mi familia y **a mis padres**, que siempre han puesto a mi disposición lo necesario para vivir, pensar y hacer libremente lo que he querido.

Y en fin, a **Rocío**, por quererme, apoyarme y compartir la vida conmigo.

## **Resumen**

El dato climático es una representación abstracta que se utiliza para intentar alcanzar un mayor grado de comprensión de una realidad extraordinariamente compleja. De forma paradójica, el formidable crecimiento de la capacidad para registrar y almacenar datos los ha convertido en otra realidad tan compleja, que se revela imprescindible la utilización de sistemas que ayuden a descifrarlos.

Uno de los aspectos fundamentales de la información climática es la importancia de su dimensión espacial, que se presta especialmente bien a la exploración mediante herramientas de visualización. Además, el desarrollo de las tecnologías de la información ha propiciado que hoy en día, el número de usuarios interesados que pueden acceder a la información climática haya aumentado también de manera sustancial. Pero el simple acceso no es suficiente para una transmisión efectiva de la información, sino que esta debe organizarse de manera adecuada y acompañarse de los medios y herramientas para su exploración y comunicación. En este sentido, la geovisualización web juega un papel fundamental.

Esta tesis doctoral hace una aportación en el campo de la geovisualización web de datos climáticos haciendo en primer lugar una revisión de los principales aspectos de la misma: los datos, los sistemas de geovisualización y los usuarios; y proponiendo posteriormente una metodología para el diseño e implementación de dos sistemas abiertos para la geovisualización web de datos climáticos a dos escalas: global y regional.

Los resultados demuestran la efectividad de la metodología propuesta, basada en un adecuado diseño, tanto del modelo de datos en el que se sustentan los sistemas, como de los flujos de los procesos implicados en el funcionamiento de los mismos.



# **I. PLANTEAMIENTOS GENERALES**



**E**l sistema climático es una compleja máquina que determina el tiempo y el clima. Los datos climáticos son representaciones abstractas de aspectos del sistema que resultan fundamentales para profundizar en el conocimiento del sistema climático, de su evolución en el pasado y su posible configuración en el futuro. La geovisualización es una disciplina multidisciplinar cuyo fin último es la transmisión de la información climática a los usuarios mediante su representación en el tiempo y el espacio. Las evoluciones tecnológicas que han tenido lugar desde las últimas décadas han permitido, no sólo mejorar la capacidad para transmitir la información a un número creciente de usuarios interesados en la información climática, sino también multiplicar de manera exponencial la capacidad de los sistemas de observación y de almacenamiento. Esto ha desembocado en la generación de grandes volúmenes de información cuya gestión, especialmente desde el punto de vista de su transmisión a través de la representación visual, sigue constituyendo un reto.

Esta tesis doctoral pretende hacer una contribución al campo de la geovisualización de datos climáticos. Mediante la utilización de diferentes conceptos y técnicas de esta disciplina, se propone el diseño de un sistema que facilite el acceso de un amplio número de potenciales usuarios a grandes volúmenes de información climática procedentes de diferentes fuentes.

## **I.1. Antecedentes de la investigación.**

Los antecedentes de este trabajo de investigación se resumen en las dos trayectorias de investigación complementarias en las que he tenido ocasión de desarrollar mi trabajo en los últimos años en el Departamento de Geografía

Física y AGR de la Universidad de Sevilla. Ambas me han permitido adquirir los conocimientos temáticos y tecnológicos que este trabajo requería.

Por una parte, en los aspectos más temáticos, he tenido la fortuna de haberme integrado en el equipo de climatología del Departamento, bajo la dirección de la profesora M<sup>a</sup> Fernanda Pita López. Bajo su dirección realicé el trabajo de investigación del Diploma de Estudios Avanzados sobre métodos de espacialización de variables y pude colaborar en muchos otros trabajos y proyectos de investigación relacionados con la climatología que se reflejan en otras tantas publicaciones (Pita López et al. 2005; Rafael Blanquero Bravo et al. 2012; Marzo Artigas et al. 2014; Ramírez-Cobo et al. 2014).

Por otra parte, estos últimos años, he continuado mi labor investigadora en el marco del proyecto de Excelencia de la Consejería de Economía y Conocimiento titulado “Espacialización y Difusión Web de Datos de Urbanización, y Fitodiversidad para el Análisis de Vulnerabilidad ante los Procesos de Inundación Asociados a la Subida del Nivel del Mar en la Costa Andaluza”. Mi integración en el grupo de investigación dirigido por el profesor José Ojeda Zújar me ha permitido complementar mi formación en otros aspectos temáticos, relacionados con los riesgos asociados a la costa. En especial, he tenido la oportunidad de adquirir los conocimientos técnicos necesarios para la realización de esta tesis doctoral gracias a mi trabajo en el desarrollo de visores y en el diseño e investigación relacionados con las tecnologías de tratamiento y difusión de la información espacial, que se refleja también en una serie de publicaciones (Ojeda Zújar et al. 2007; Ojeda Zújar et al. 2009; Ojeda Zújar et al. 2010; Ojeda Zújar, Álvarez Francoso, et al. 2013; Ojeda Zújar, Díaz Cuevas, et al. 2013).

## **I.2. Problema de investigación. Hipótesis y objetivos.**

Las conclusiones de la investigación científica se derivan del conocimiento de las leyes fundamentales de la ciencia y su contrastación con observaciones, experimentos de laboratorio y modelos físico-matemáticos que simulan fenómenos del mundo real. Todas estas actividades generan datos. Durante las últimas décadas, se han producido cambios drásticos desde el punto de vista científico, tecnológico y social que han afectado a la manera en que se almacenan, analizan, procesan y transmiten los datos en general y los datos espaciales en particular. En el caso de la información climática, una de las consecuencias de estos cambios ha sido la producción de numerosas bases de datos con una amplia cobertura tanto espacial como temporal.

La georeferenciación generalizada ha permitido la integración de fuentes de datos muy diversas. Este hecho, unido a los constantes desarrollos tecnológicos, ha levantando enormes expectativas en relación al potencial de la geovisualización para contribuir al estudio de los diferentes fenómenos que tienen lugar en la superficie terrestre en toda su complejidad. Al mismo tiempo, se ha puesto de manifiesto el reto que supone la transformación de los datos brutos en información y conocimiento.

Este trabajo pretende hacer una contribución en el campo de la geovisualización de bases de datos climáticos a diferentes escalas, mediante el diseño y desarrollo de un sistema que facilite su acceso y difusión a usuarios tanto expertos como no expertos, y que permita la generación de conocimiento a partir de dichos datos. Los principales objetivos de la investigación

planteados son los siguientes:

- Hacer una revisión e identificar los problemas actuales y los desafíos que plantea la geovisualización en relación con las grandes bases de datos climáticos.
- Aplicar conceptos y métodos de geovisualización para permitir un acceso y visualización rápidos con el fin de facilitar la extracción de conocimiento a partir de los datos.
- Diseñar e implementar sistemas abiertos que permitan el acceso a la información climática a diferentes escalas a un gran número de usuarios y, en especial, a aquellos sin conocimientos específicos sobre el clima.

Las hipótesis de partida de este trabajo son las siguientes:

- La geovisualización de los datos climáticos es una herramienta adecuada e indispensable cuando el objetivo es la transmisión del conocimiento climático a partir de grandes bases de datos.
- Los sistemas de geovisualización web de datos climáticos efectivos requieren un diseño basado en un reparto adecuado de la carga de trabajo entre tres componentes básicos de los sistemas: servidor de datos, servidor cartográfico e interfaz de usuario.
- Los servicios web geoespaciales interoperables, utilizados adecuadamente junto con la tecnología actual, son una herramienta útil para lograr una visualización y acceso rápidos a grandes bases de datos.

### **I.3. Justificación del trabajo.**

El trabajo desarrollado en esta tesis doctoral se justifica por varias razones:

- Por la gran relevancia de la información climática, especialmente en el

contexto actual de cambio climático. El clima interesa a una amplia variedad de personas de muy diversos sectores de la sociedad, porque las características del clima y sus variaciones han afectado y afectan al ser humano en muchos sentidos.

- Por la importancia de la componente espacial y temporal de la información climática. La variabilidad espacial y temporal de los elementos que conforman el sistema climático resultan claves para profundizar en su conocimiento.
- Por el papel que juega la visualización de la información climática como herramienta para conseguir explorar, descubrir, comunicar esta información en sus dimensiones temporal y espacial.
- A pesar de ello, resulta notable la escasez de sistemas dedicados exclusivamente al acceso y la difusión de este tipo de datos o la relativa poca relevancia que tiene la visualización en los sistemas ya existentes.
- Aunque durante las últimas décadas se han desarrollado multitud de tecnologías y herramientas para una visualización rápida, eficaz y abierta a todo tipo de usuarios de la información climática, no parecen estar siendo aprovechadas adecuadamente.
- Los sistemas de geovisualización web de información climática como los propuestos en este trabajo son herramientas de gran utilidad porque facilitan enormemente la observación patrones en los datos que sólo se revelan en su dimensión espacial. Además, también permiten ampliar el espectro de usuarios de la información más allá del grupo de los usuarios especializados.

## **I.4. Resumen de la metodología.**

El desarrollo de los sistemas propuestos en este trabajo se resume en cinco grandes etapas:

- La primera etapa consiste en el análisis y diseño general del sistema, de manera que se definan los requerimientos, los flujos de procesos y los componentes implicados en el funcionamiento del mismo.
- En la segunda etapa se investigan, diseñan e implementan los métodos, técnicas y recursos que se utilizarán para optimizar la entrada de los datos externos en el sistema.
- La tercera etapa se corresponde con el diseño de los modelos de los componentes del sistema de almacenamiento de los datos y de las técnicas implementadas para su distribución.
- En la cuarta etapa, cuyo desarrollo se solapa con la anterior, se diseña el servidor cartográfico, las capas, las simbologías y los servicios cartográficos.
- En la quinta etapa se lleva a cabo el diseño y la implementación de la capa de presentación, es decir del geovisor web con el que interactúa el usuario. Durante esta fase se desarrollan iterativamente los prototipos a nivel de interfaz de presentación apoyándose en la retroalimentación proporcionada por los usuarios.

## I.5. Esquema general de la tesis.

Los objetivos planteados en este trabajo de investigación justifican la estructura del mismo, que se resume en la tabla 1. La tesis se estructura en siete capítulos, que se describen a continuación brevemente:

En el **primer capítulo** se hace una introducción al campo de estudio en el que se enmarca el trabajo, se definen los principales retos y se acota el problema de investigación, justificando su pertinencia. También se describe sucintamente la metodología empleada y se definen los conceptos principales que se asumen en esta investigación.

|  |  |
|--|--|
| <b>Capítulo I.<br/>Planteamientos generales</b>                            | Antecedentes de la investigación   |
|  | Hipótesis y objetivos  |
|  | Justificación  |
|  | Resumen de la metodología  |
|  | Esquema general  |
| <b>Capítulo II.<br/>La información climática</b>                           | El dato científico y el dato climático   |
|  | Tipos de datos climático   |
|  | Formas de distribución de los datos climáticos   |
| <b>Capítulo III.<br/>Acceso de los usuarios a la información climática</b> | La información climática y el <i>open data movement</i>  |
|  | Los usuarios de la información climática   |
| <b>Capítulo IV.<br/>La Geovisualización de la información climática</b>    | Introducción a la Geovisualización   |
|  | Web mapping y cartografía web  |
|  | Sistemas actuales de cartografía web   |
| <b>Capítulo V.<br/>Metodología, fuentes de datos y escalas</b>             | Fuentes de datos y escalas   |
|  | Fases metodológicas  |
|  | Marco metodológico   |
| <b>Capítulo VI.<br/>Análisis y resultados</b>                              | Arquitectura de los sistemas   |
|  | Resultados a escala global: EL sistema Global Climate Monitor ( <a href="http://globalclimatemonitor.org">globalclimatemonitor.org</a> ) |
|  | Resultados a escala regional: EL sistema Cambia ( <a href="http://cambia.climasig.es">cambia.climasig.es</a> )                           |
| <b>Capítulo VII. Conclusiones</b>  | Conclusiones generales   |
|  | Investigaciones futuras  |

Tabla. 1: Estructura de la tesis doctoral en capítulos. Fuente: Elaboración propia

En el **segundo, tercer y cuarto capítulos** se plantea el estado de la cuestión en relación con los tres grandes componentes de los sistemas diseñados para la visualización de la información climática. El segundo capítulo trata sobre el dato climático, su estructura y especificidades. El tercer capítulo se centra en los aspectos relacionados con el acceso a la información por parte de los usuarios. El cuarto capítulo aborda una introducción a la geovisualización, centrándose posteriormente en los sistemas de cartografía interactiva en la web.

En el **quinto capítulo** se justifica y describe con detalle la metodología empleada. También se describen las fuentes de datos, los procedimientos para la obtención, tratamiento y análisis de los mismos, las herramientas utilizadas y las limitaciones de la metodología.

En el **sexto capítulo** se presentan y analizan los resultados de los dos sistemas propuestos, a escala global y regional.

Finalmente, en el **séptimo capítulo** se establecen conclusiones de la tesis doctoral, sobre sus limitaciones y sobre investigaciones futuras.

## **II. LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA**



*"Investigar científicamente" es "construir sistemas de matrices; llenar matrices; procesar matrices e interpretar matrices de datos científicos".*

(Samaja 1993, 184)

La obtención, almacenaje, tratamiento y difusión de la información climática resultan fundamentales para poder llevar a cabo análisis que contribuyan a comprender el funcionamiento del sistema climático y sus relaciones con otros sistemas y que permitan hacer frente o sacar partido de las eventuales consecuencias, tanto negativas como positivas, que sobre el ser humano pueda tener el comportamiento del sistema. Los datos climáticos constituyen en este sentido la base a partir de la cual es posible generar la información necesaria para avanzar en la comprensión de muy diferentes aspectos del clima.

En este capítulo se profundizará por lo tanto en el concepto de dato climático, en sus dimensiones espacial y temporal, en los diferentes tipos de datos climáticos que existen y en la manera en que se distribuyen.

## **II.1. Estructura del dato científico.**

El método científico trata de verificar hipótesis contrastándolas con hechos. Para ello, la información relativa a los elementos que forman parte del objeto de estudio debe presentarse en un formato que permita expresarla en términos empíricamente contrastables. Es decir que los hechos deben traducirse en datos científicos, o como bien lo expresa Samaja en su obra sobre la investigación científica, “el dato científico es una construcción compleja que surge al traducir la experiencia espontánea a una descripción científica” (Samaja 1993).

Los datos deben referirse a estados concretos de determinadas características o

propiedades de todo o parte del objeto de estudio. En esta frase se concentran los tres componentes a los que hace referencia Galtung en su teoría de la investigación. Según este autor, el dato científico posee una estructura interna formada por tres elementos: las unidades de análisis, las variables y los valores (Galtung 1978). Las unidades de análisis son los elementos menores que componen el universo de estudio de una investigación, mientras que las variables son las diferentes dimensiones o aspectos de los mismos y los valores son las realizaciones concretas de una variable. Los datos pueden ordenarse de manera que su estructura tripartita se haga evidente en lo que se conoce como la matriz de datos (Galtung 1978). La matriz de datos presenta las unidades de análisis en filas (n) y las variables en columnas (m), tal y como se observa en la tabla 2.

|      | Variable 1  | Variable 2  | Variable 3  | ...           | Variable m  |
|------|-------------|-------------|-------------|---------------|-------------|
| UA 1 | Valor 1,1   | Valor 1,2   | Valor 1,3   | Valor 1,...   | Valor 1,m   |
| UA 2 | Valor 2,1   | Valor 2,2   | Valor 2,3   | Valor 2,...   | Valor 2,m   |
| UA 3 | Valor 3,1   | Valor 3,2   | Valor 3,3   | Valor 3,...   | Valor 3,m   |
| ...  | Valor ...,1 | Valor ...,2 | Valor ...,3 | Valor ...,... | Valor ...,m |
| UA n | Valor n,1   | Valor n,2   | Valor n,3   | Valor n,...   | Valor n,m   |

Tabla 2. La matriz de datos. Fuente: Adaptado de Galtung (1978).

El dato climático presenta unas características que se adaptan a esta matriz. No obstante, es conveniente en primer lugar hacer algunas precisiones relativas al dato climático como la representación abstracta de aspectos de un sistema climático de gran complejidad.

## **II.2. El dato climático.**

El dato climático es una simplificación, una abstracción que se utiliza para intentar alcanzar un mayor grado de comprensión de la realidad muchísimo más compleja que constituye la atmósfera. La atmósfera, a su vez, es un componente de lo que se conoce como el sistema climático mundial.

Los climas de la Tierra son la consecuencia del funcionamiento este enorme sistema abierto y complejo, formado por un conjunto de elementos e interacciones que tiene la radiación solar como única entrada significativa de energía. Es un sistema abierto porque sus límites están abiertos a la entrada y salida de energía. El sistema está a su vez formado por una serie de heterogéneos subsistemas termo-hidrodinámicos acoplados por los que fluye la energía y que se corresponden con las diferentes envolturas planetarias: la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la litosfera y la biosfera (Cuadrat & Pita 2006). Las perturbaciones reciben respuestas diferentes en cada uno de estos subsistemas (por ejemplo, la respuesta suele ser más rápida en la atmósfera que en la hidrosfera), por lo que se producen desequilibrios internos dentro del sistema climático que generan flujos de energía, de manera que el sistema se encuentra en equilibrio dinámico. Este es el origen de la variabilidad natural, temporal y espacial, del sistema.

La atmósfera es el componente central del sistema climático, ya que es en ella donde tienen lugar las manifestaciones meteorológicas y climáticas. Es también quizá el subsistema más complejo en cuanto a que su naturaleza fluida y de baja densidad le confiere un mayor dinamismo con respecto al resto de componentes. La variabilidad característica de todos los componentes del sistema climático alcanza en la atmósfera su mayor expresión.

Uno de los mayores retos de la investigación climática radica en determinar cuándo una perturbación es lo suficientemente intensa como para alterar el

equilibrio general del sistema, causando un ajuste del mismo y por consiguiente, un cambio climático. Para poder responder a esta y a otras cuestiones, la comunidad científica ha adoptado desde hace ya varias décadas el paradigma sistémico, y ha acometido una intensa labor de investigación en el campo de la elaboración de modelos matemáticos que simulan el comportamiento del sistema climático. En los últimos años ha mejorado significativamente la resolución espacial y vertical de los modelos, se han ido introduciendo componentes del sistema que antes no se consideraban y se han incorporado nuevos procesos o mejorado aquellos que ya estaban presentes. Sin embargo, aún existen numerosas incertidumbres y algunos procesos, como la formación de nubes, continúan constituyendo un desafío difícil de resolver (IPCC 2013). Por ello, aunque la modelización matemática de los principios físicos que rigen el comportamiento del sistema es necesaria, no se puede prescindir de una aproximación empírica que permita alimentar los modelos y también contrastarlos (Pita 1982).

En consecuencia, la investigación climática recurre actualmente, además de a la aproximación teórica, a diferentes fuentes y métodos empíricos: datos actuales y pasados procedentes de satélites, de sensores *in situ*, de indicadores paleoclimáticos, modelos estadísticos, etc. Todo contribuye a profundizar en el conocimiento del sistema climático. Y todo produce datos, un aluvión de datos que es necesario saber gestionar, explotar y difundir adecuadamente. El tratamiento y análisis de los datos genera información climática que presenta formas más elaboradas, que permiten transmitir el conocimiento adquirido. Los datos climáticos siguen por lo tanto jugando un papel fundamental en la investigación del sistema climático, aunque no deben obviarse, a la hora de extraer conclusiones, su alto grado de abstracción y su carácter analítico.

Por una parte, casi toda la información climática derivada de la observación se refiere sólo a la capa más baja de la atmósfera, la troposfera, que es la que más

directamente afecta a la actividad humana. En ella es donde se producen prácticamente todos los fenómenos meteorológicos. Es también la capa más compleja porque se encuentra en contacto con el resto de subsistemas con los que interactúa.

Por otra parte, los datos climáticos registrados se refieren a un momento y lugar concretos. Sin embargo, como ya hemos mencionado, la atmósfera es un medio fluido y muy dinámico. Para poder caracterizar los diferentes parámetros atmosféricos, medir su variabilidad y predecir su evolución es por lo tanto necesario hacer observaciones a intervalos frecuentes y regulares tanto en el tiempo como en el espacio.

El dato climático tiene así dos dimensiones cuyo tratamiento resulta clave para superar precisamente los inconvenientes de su alto grado de abstracción: la dimensión temporal y la espacial. A continuación veremos cómo encajar las dimensiones espacial y temporal en la matriz de datos para conseguir una estructura que permita facilitar el tratamiento, análisis y explotación de los datos climáticos.

### **II.3. El dato climático en la matriz de datos.**

Una vez hechas algunas precisiones sobre el dato climático, podemos continuar viendo cómo podemos encajar su estructura en la matriz de datos presentada al inicio del capítulo.

En el estudio del clima, las unidades de análisis pueden identificarse con las características del clima en los puntos de observación (por ejemplo, en los observatorios meteorológicos) y las variables con diferentes aspectos mensurables de los elementos del clima como la temperatura, radiación, insolación, precipitación, humedad, viento, presión atmosférica, etc. (tabla 3).

| Unidad de análisis | Variable                      | Valor   |
|--------------------|-------------------------------|---------|
| Observatorio       | Temperatura máxima de un día  | 18.5 °C |
| Observatorio       | Precipitación caída en el día | 10 mm   |

Tabla 3. La estructura del dato aplicada a dos elementos básicos del clima. Fuente: Elaboración propia.

Una vez definidas las unidades de análisis y las variables que van a medirse en ellas, podemos construir nuestra matriz de datos como en la tabla 4:

|                | Temp máxima día (°C) | Temp mínima día (°C) | Temp media día (°C) | Precipitación caída en el día (mm.) |
|----------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Observatorio 1 | 18,5                 | 8,2                  | 13,4                | 10,0                                |
| Observatorio 2 | 20,0                 | 8,1                  | 14,1                | 5,0                                 |
| Observatorio 3 | 25,4                 | 6,3                  | 15,9                | 0,0                                 |
| Observatorio 4 | 27,1                 | 12,5                 | 19,8                | 6,0                                 |
| Observatorio 5 | 18,5                 | 10,6                 | 14,6                | 20,0                                |

Tabla 4. La matriz de datos de observatorios meteorológicos. Fuente: Elaboración propia.

La dimensión temporal del dato es fundamental en climatología, pues se encuentra en su propia definición. Al tratar de describir estados medios de la atmósfera, la climatología se refiere a valores representativos de periodos de tiempo definidos como el valor medio de temperatura en un día, en un mes o en un año determinados (figura 1).

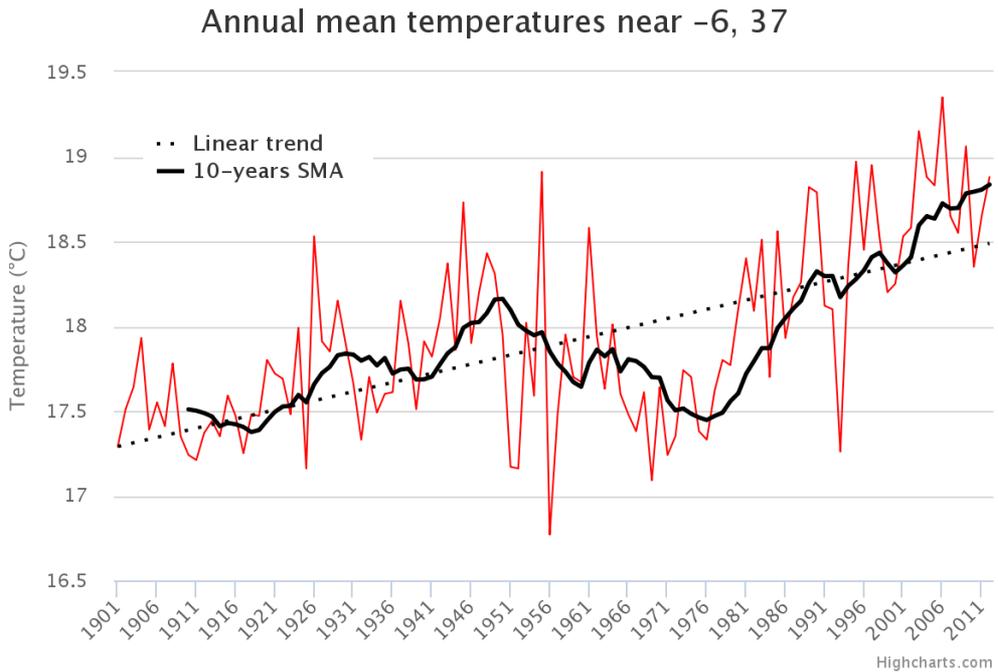


Fig. 1: Gráfico de evolución de la temperatura media anual durante el periodo 1901-2012, coordenada 6°W, 37°N. Fuente: Globalclimatemonitor.org.

Cuando observamos la figura 1, nos encontramos con un inconveniente a la hora de encajar esta serie de mediciones en la matriz de datos. La unidad de análisis debe ser, como su nombre indica, única. Por lo tanto, si consideramos que todas las observaciones se refieren a una sola unidad de análisis, obtendríamos una matriz con una fila y tantas columnas como años tuviera la serie (tabla 5), conocida como matriz “degenerada” (Baranger 2009, p.18).

|                | Temp año 1901 | Temp año 1903 | Temp año 1904 | Temp año 1905 | ... | Temp año m |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----|------------|
| Observatorio 1 | 18,5          | 17.2          | 19.1          | 18.0          | ... | 17.7       |

Tabla 5. La matriz de datos de temperaturas anuales. Fuente: Elaboración propia.

Desde el punto de vista operacional, esta estructura resulta muy poco eficiente. Pero cabe la posibilidad de ordenar los datos de manera diferente. También podríamos considerar tantas unidades de análisis como años haya en la serie, y

la tabla quedaría de la siguiente manera:

|                                   | Temp media |
|-----------------------------------|------------|
| UA1 - Observatorio en el año 1901 | 18,5       |
| UA2 - Observatorio en el año 1902 | 17.2       |
| UA3 - Observatorio en el año 1903 | 19.1       |
| UA4 - Observatorio en el año 1904 | 18.0       |
| ...                               | ...        |
| UAn - Observatorio en el año m    | 17.7       |

Tabla 6. La matriz de datos de temperaturas anuales transpuesta. Fuente: Elaboración propia.

No parece lógico considerar una unidad de análisis diferente para cada año y el mismo observatorio, pero la observación de esta tabla reordenada nos da ahora la solución que se muestra en la tabla 7: considerar el año como una nueva variable que constituye un aspecto más de la unidad de análisis (esta, ahora sí, es homogénea y se refiere a la temperatura en un observatorio).

|                     | Año  | Temp media |
|---------------------|------|------------|
| UA - Observatorio 1 | 1901 | 18,5       |
| UA - Observatorio 1 | 1902 | 17.2       |
| UA - Observatorio 1 | 1903 | 19.1       |
| UA - Observatorio 1 | 1904 | 18.0       |
| ...                 | ...  | ...        |
| UA - Observatorio 1 | m    | 17.7       |

Tabla 7. La matriz de datos de temperaturas anuales con el tiempo como variable. Fuente: Elaboración propia.

Pero, ¿Qué ocurre cuando queremos estudiar elementos del clima en su dimensión espacial? Consideremos ahora que disponemos de datos en un conjunto de observatorios meteorológicos repartidos por una región. Si queremos estudiar algún aspecto del clima de dicha región a partir de la información suministrada por este conjunto de datos, ¿Cómo podemos organizar la información en una matriz de datos? Si colocamos nuestros datos en la matriz que se muestra en la tabla 7, obtendremos una nueva matriz con la

estructura que se muestra a continuación:

|                     | Año  | Temp media |
|---------------------|------|------------|
| UA - Observatorio 1 | 1901 | 18.5       |
| UA - Observatorio 2 | 1901 | 19.8       |
| UA - Observatorio 3 | 1901 | 16.4       |
| UA - Observatorio 1 | 1902 | 17.2       |
| UA - Observatorio 2 | 1902 | 21.0       |
| UA - Observatorio 3 | 1902 | 14.8       |
| ...                 | ...  | ...        |
| UA - Observatorio 1 | m    | 17.7       |
| UA - Observatorio 2 | m    | 22.0       |
| UA - Observatorio 3 | m    | 15.6       |

Tabla 8. La matriz de datos de temperaturas anuales en varios observatorios. Fuente: Elaboración propia.

De la misma forma que el tiempo fue convertido en una variable, podríamos considerar cada observatorio como un aspecto o dimensión de toda la región, transformando las múltiples unidades de análisis en una nueva variable que definiría el observatorio. La tabla quedaría finalmente así:

|             | Observatorio | Año   | Temp media |
|-------------|--------------|-------|------------|
| UA - Región | 1            | 1901  | 18.5       |
| UA - Región | 2            | 1901  | 19.8       |
| UA - Región | 3            | 1901  | 16.4       |
| UA - Región | 1            | 1902  | 17.2       |
| UA - Región | 2            | 1902  | 21.0       |
| UA - Región | 3            | 1902  | 14.8       |
| ...         | ...          | ...   | ...        |
| UA - Región | $O_n$        | $A_n$ | $T_n$      |

Tabla 9. La matriz de datos de temperaturas anuales con el tiempo y el observatorio como variables. Fuente: Elaboración propia.

Esta organización en forma de tabla ordenada (*tidy dataset*) de los datos facilita la manipulación, el modelado y la visualización de la información (Wickham 2014) y es utilizada por la mayoría de los sistemas de gestión de bases de datos.

## II.4. Tipos de datos climáticos.

El volumen generado de datos científicos en general y de datos climáticos en particular no ha parado de crecer en los últimos tiempos (Overpeck et al. 2011; Hey & Trefethen 2003) y la previsión para las próximas décadas es que seguirá creciendo significativamente, propiciado principalmente por los datos procedentes de modelos y de satélites (figura 2).

En la actualidad existe una gran diversidad de datos climáticos. Los datos podrían ser clasificados de diferentes maneras, pero la forma en que han sido generados es una de sus características principales porque determina muchas de sus propiedades.

A continuación se hará una revisión de los diferentes tipos de datos existentes en función de su origen, poniendo en relieve sus diferentes características y haciendo especial hincapié en las variables y conjuntos de datos utilizados en este trabajo, principalmente datos medidos en superficie continental de temperatura y precipitación a escala temporal mensual.

La clasificación que se detalla en los siguientes epígrafes distingue dos grandes tipos de datos: los datos observados, ya sea a través de sensores ubicados *in situ* o bien a distancia (teledetección, radar) y los datos generados mediante modelización.

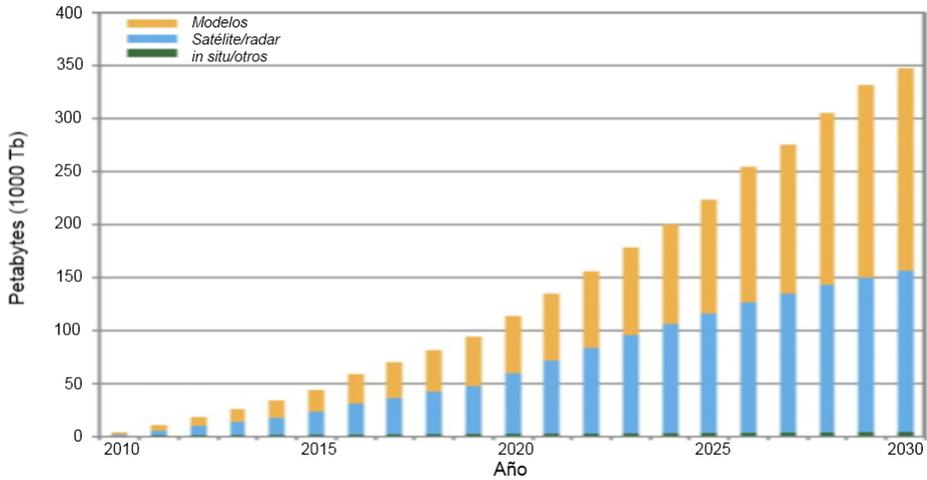


Fig. 2: Volumen de datos climáticos en el mundo según su origen. Fuente: Elaboración propia a partir de Overpeck et al. 2011.

## II.4.1. Datos observados.

Tradicionalmente, los datos observados se han obtenido a partir de sensores instalados en observatorios que registraban los valores de las diferentes variables climáticas *in situ*, es decir, en el mismo lugar en el que se encontraban ubicados. A partir de la segunda mitad del siglo XX, con la aparición de los satélites, se empezaron a registrar datos de sensores a bordo de los mismos. También los radares, ya estén instalados en tierra o a bordo de satélites, registran datos a distancia. Los productos de ambos tipos de observaciones tienen algunas diferencias importantes, principalmente desde el punto de vista de la cobertura espacial (puntual o continua), por lo que haremos una subdivisión de los datos observados según se deriven de sensores *in situ* o remotos.

### II.4.1.1. Datos procedentes de observatorios in situ

El ser humano se ha interesado por la climatología desde tiempos antiguos,

pero las primeras observaciones científicas de variables climáticas se producen con la aparición del termómetro y el barómetro durante el siglo XVII (Jones 1995; MétéoFrance n.d.). En 1654, bajo el auspicio del gran duque de Toscana, Fernando II, el padre Antinori, puso en funcionamiento la que se considera como la primera red de observación meteorológica, la *Rete Medicea*, formada por 11 estaciones en Italia y otros puntos de Europa como Varsovia o Innsbruck (Kington 1988; Camuffo et al. 2010). A finales del siglo XVIII empezaron a llevarse a cabo más campañas de medición auspiciadas por diferentes sociedades científicas, entre las que destacan la red de la *Societas Meteorologica Palatina* (Cassidy 1985) y la red de la *Société Royale de Médecine de Francia* (figura 3) que con el tiempo llevaron a la multiplicación de las redes meteorológicas de observación.

Actualmente, la red de estaciones disponible abarca todo el planeta, aunque con notables diferencias en cuanto a cobertura espacial y temporal (figura 4). Las regiones mejor cubiertas en ambos sentidos se corresponden lógicamente con los países más desarrollados. Durante las últimas décadas del siglo XX, la creciente preocupación por los temas medioambientales y por el clima de la Tierra y su evolución pasada y futura, motivó la creación de sistemas de observación que pudieran proporcionar la información necesaria para responder a las cuestiones planteadas por la sociedad con respecto al clima.

La finalidad de la mayoría de las redes de observación en los inicios del periodo instrumental era el registro de datos del clima local y no el estudio climático a escala global, por lo que la utilización de los primeros datos de observación para estos fines tiene inconvenientes relacionados con el acceso a los datos, su distribución espacial y su homogeneidad temporal.

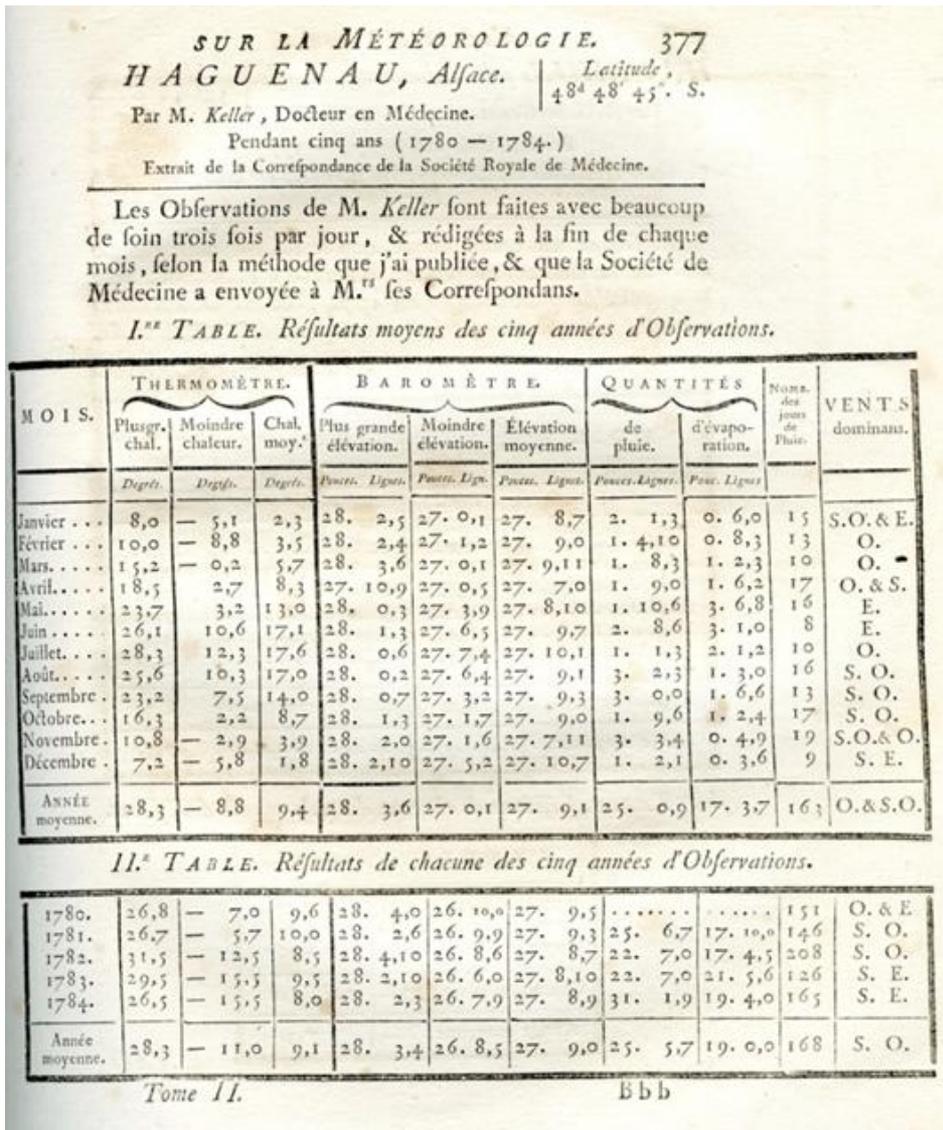


Fig. 3: Resultados medios de cinco años de observaciones (1780-1784) en Hagenau (Alsacia) realizadas por M. Keller, doctor en medicina. Fuente: Météo France.

A finales del siglo XIX empiezan a surgir iniciativas de coordinación internacional para superar estos inconvenientes. En 1873, representantes de los servicios meteorológicos de Bélgica, Francia, Holanda, Reino Unido, Portugal, Rusia, Suecia y Estados Unidos crean la Organización Meteorológica Internacional (IMO, por sus siglas en inglés). Uno de los hitos en relación con

las redes de observación fue la creación en 1905 de la comisión para el *Réseau Mondiale*, con el propósito de establecer la primera red global de observación estandarizada de la atmósfera (Sarukhanian & Walker 2004).

De la conferencia de la *IMO* de 1923 surgió una resolución para poner en marcha la iniciativa conocida como Registros meteorológicos mundiales (*World Weather Records, WWR*), que consiste en una monumental publicación periódica de datos globales mensuales de temperatura, precipitación y presión atmosférica procedentes de cientos de estaciones (Clayton 1927). En lo que concierne a estas variables, los *WWR* han constituido la fuente de datos básica utilizada por los primeros trabajos orientados al estudio del clima a escala global. A partir de 1947, la recién creada Organización Meteorológica Mundial (*WMO*) sucedió a la *IMO* y las iniciativas para la mejora de la observación del clima se multiplicaron.

En 1979 tuvo lugar la primera Conferencia Mundial sobre el Clima, en la que se urgía a las naciones, por una parte, a sacar el máximo partido del conocimiento climático y dar los pasos necesarios para mejorarlo de manera significativa, y por otra a prever y prevenir los potenciales cambios climáticos antropogénicos que pudieran afectar negativamente al bienestar humano (WMO 1979). También se estableció el Programa Mundial sobre el Clima (*WCP*, por sus siglas en inglés). El *WCP* se organizaba en cuatro sub-programas, entre los que destacaremos el Programa Mundial de Datos sobre el Clima, que pretendía impulsar una mejora en la adquisición y accesibilidad de los datos climáticos.

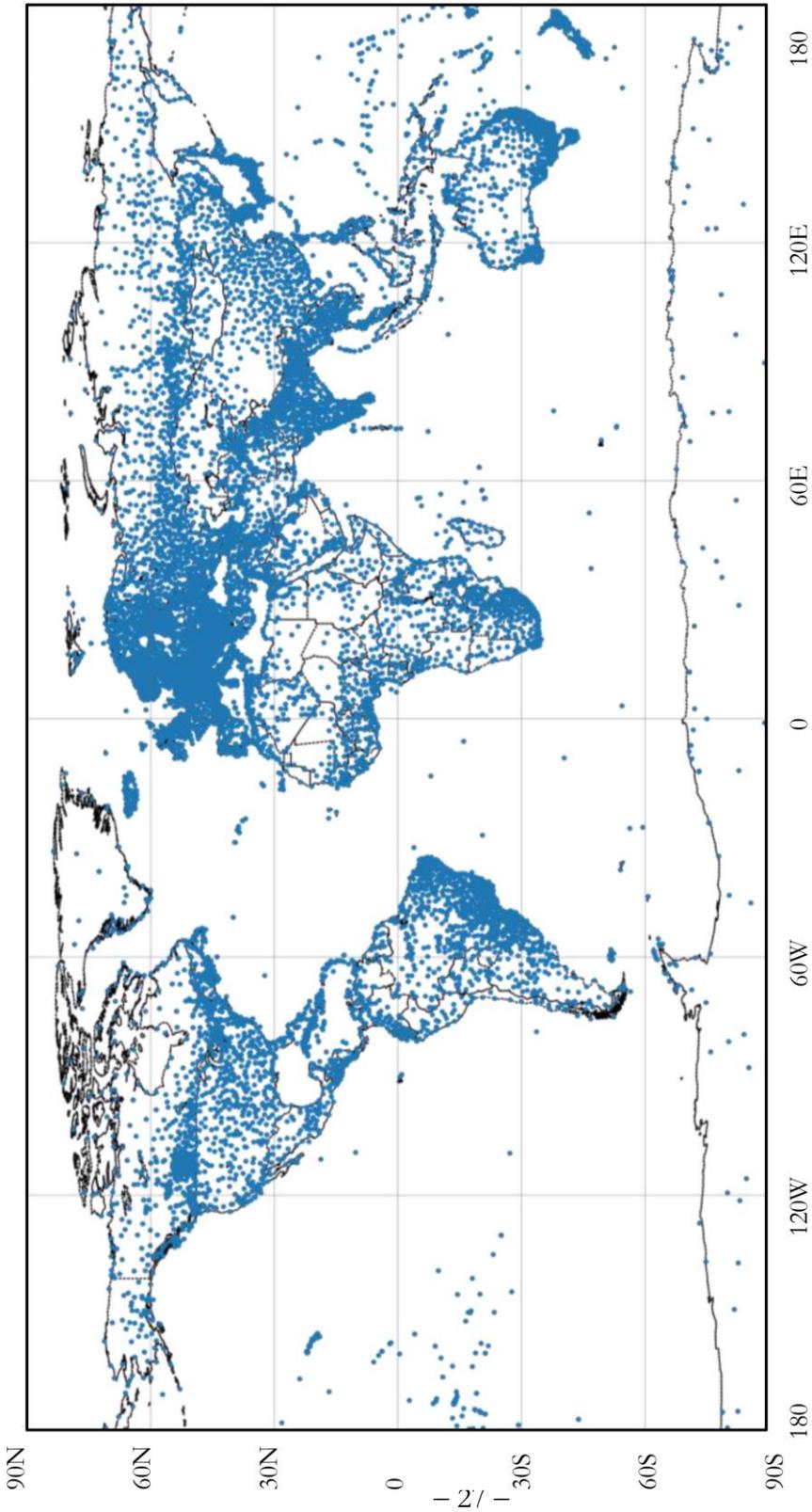


Fig. 4: Mapa de todas las estaciones del volumen A de informes meteorológicos de la WMO en 2014. Fuente: Elaboración propia a partir de WMO 2014.

La segunda Conferencia Mundial sobre el Clima tuvo lugar en Ginebra en 1990, y derivó en 1992 en la creación del *GCOS* (*Global Climate Observing System*), bajo el patrocinio de la *WMO*, la Comisión Intergubernamental Oceanográfica de la *UNESCO* (*IOC* por sus siglas en inglés), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (*UNEP*) y el Consejo Internacional para la Ciencia (*ISC*). El *GCOS* consiste en una red internacional de sistemas de observación y un programa de actividades para mantener y mejorar dicha red (*WMO* n.d.; Spence & Townshend 1995). El fin último del sistema es el de proporcionar la información necesaria para mejorar el conocimiento del sistema climático (Plummer et al. 2003).

Los datos de la red del *GCOS* se transmiten (boletines *CLIMAT* a escala mensual, con fines climatológicos; *SYNOP* en tiempo real, con fines meteorológicos, *WMO* 2009) a la *WMO* a través de la llamada Red Global de Telecomunicaciones (*GTS*, por sus siglas en inglés). En la actualidad, existe un gran número de estaciones de observación (más de 13 000, figura 4.) en el listado de estaciones elaborado por la *WMO* (*WMO* 2014) que envían sus datos sinópticos o mensuales a través de la Red Global de Telecomunicaciones de la *WMO*.

Según algunos autores, más de 100 000 estaciones registran o han registrado datos climáticos en el mundo durante los dos últimos siglos (Peterson and Vose 1997; Rudolf and Schneider 2004). Sin embargo, la utilidad de estas mediciones para el estudio y seguimiento del clima global está limitada por varias razones. Por una parte, su distribución sigue siendo irregular, y un gran número de estaciones se encuentra en zonas urbanas. Por otra parte, existen muchas estaciones que han dejado de registrar datos o que han comenzado a registrarlos sólo recientemente, por lo que las series son demasiado cortas para lo que requeriría cualquier estudio climático a escala global.

Estas razones han motivado la investigación en diversos centros para la obtención de bases de datos con series largas y homogéneas. Para obtenerlas, el primer paso debía consistir en la búsqueda y selección de una red de observatorios que permitiera la construcción de las mencionadas series. En lo concerniente a las variables de temperatura y precipitación, entre los centros de investigación que han dedicado sus esfuerzos a esta tarea destacan varios:

- El National Climatic Data Center (NCDC), actualmente incorporado en el National Centers for Environmental Information (NCEI), junto con el Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC) pusieron en marcha el proyecto GHCN (Global Historical Climatology Network), con el objetivo de “construir un conjunto de datos de base mejorado de temperatura, precipitación y presión atmosférica a escala mensual para una densa red global de estaciones” (Vose et al. 1992). Esta red cuenta con unas 7 000 estaciones meteorológicas. La red del GHCN incorpora gran parte de los datos de las publicaciones del WWR. Las series incluidas en esta red han sido sometidas a una batería de procesos básicos de control de calidad (revisión de metadatos de las estaciones, eliminación de duplicidades y detección y corrección de valores manifiestamente anómalos). El NCDC también publica, en colaboración con la WMO, los datos climáticos mensuales del mundo (MCDW, por sus siglas en inglés), una publicación periódica en formato PDF que recopila datos de temperatura media, presión, precipitación, presión de vapor e insolación de unas 2 000 estaciones repartidas por todo el mundo.
- La Climatic Research Unit (CRU). La CRU es un centro de investigación vinculado a la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad de Anglia del Este (UEA). Desde principios de los años 70, este centro ha sido pionero y se ha consolidado como un centro de referencia internacional en

los estudios de la variabilidad y cambio climático y en la generación de bases de datos y productos climáticos a escala global. Estos productos, entre los que destaca la serie global de temperatura utilizada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) para la elaboración de sus informes de seguimiento del Sistema Climático, han sido usados ampliamente en el campo de la investigación climática. La CRU, bajo la dirección del profesor Philip Jones, ha dedicado grandes esfuerzos a la obtención, selección y homogeneización de series de datos globales para la creación de sus productos espacializados en rejilla ( Jones and Raper 1986; Jones 1994). Las series originales son conocidas como la “base de datos de Jones” ( Peterson et al 1997; Peterson and Vose 1997). La primera versión del conjunto de estaciones de Jones contiene 1879 estaciones, la mayoría en el hemisferio norte. El gran valor de estas series viene dado por el exhaustivo proceso de homogeneización aplicado a los datos (P. Jones et al. 1985).

- Otras fuentes de datos procedentes de la WMO. Existen dos fuentes de datos de la WMO que indican la existencia de series largas de observaciones cuya accesibilidad depende de la voluntad de los servicios nacionales correspondientes. Se trata de dos conjuntos de series: las observaciones de las Estaciones Climatológicas de Referencia (Reference Climatological Stations, RCS) y las series normales del periodo 1961-1990 de la WMO. Una RCS se define como “una estación cuyos datos se utilizan para determinar las tendencias climáticas. Esto requiere series largas (no menos de treinta años) y homogéneas, poco afectadas por factores antrópicos en el pasado y previsiblemente en el futuro. Lo ideal sería que los registros tuvieran una longitud suficiente para permitir la identificación de cambios seculares en el clima” (Plummer et al. 2003). En 1996, el número de estaciones en la lista

de RCS era de 2283 (Peterson et al. 1997). La segunda fuente de la WMO es la base de normales climatológicas (CLINO) para el periodo 1961-1990. Esta base de datos incluye actualmente 3 084 estaciones de temperatura media y 4 261 de precipitación. La WMO sometió a estos datos a intensivos controles de calidad (WMO, 1996).

Por otra parte, a partir del inicio del presente siglo se puso en marcha la red de estaciones de superficie del *GCOS* (*GSN*, por sus siglas en inglés). La red del *GSN* se estableció a partir del filtrado de los cuatro conjuntos de estaciones citados anteriormente. La red actual está formada por un millar de estaciones (figura 5) y pretende ser una red de referencia, especialmente para el seguimiento de la variabilidad térmica a escala hemisférica y global (Peterson et al. 1997).

Además de los datos registrados en observatorios, existen otro tipo de fuentes de registros *in situ*, como los datos de globos-sonda u otros procedentes de sensores aerotransportados, de los que hay series lo suficientemente largas como para utilizarlas en estudios sobre el clima (Angell 1988; P. D. Jones 1995; Plummer et al. 2003; Compo et al. 2011; Hartmann et al. 2013). Estas observaciones permiten la exploración vertical de la atmósfera y tienen gran valor para el estudio de las tendencias climáticas, aunque están fuera del alcance de este trabajo.

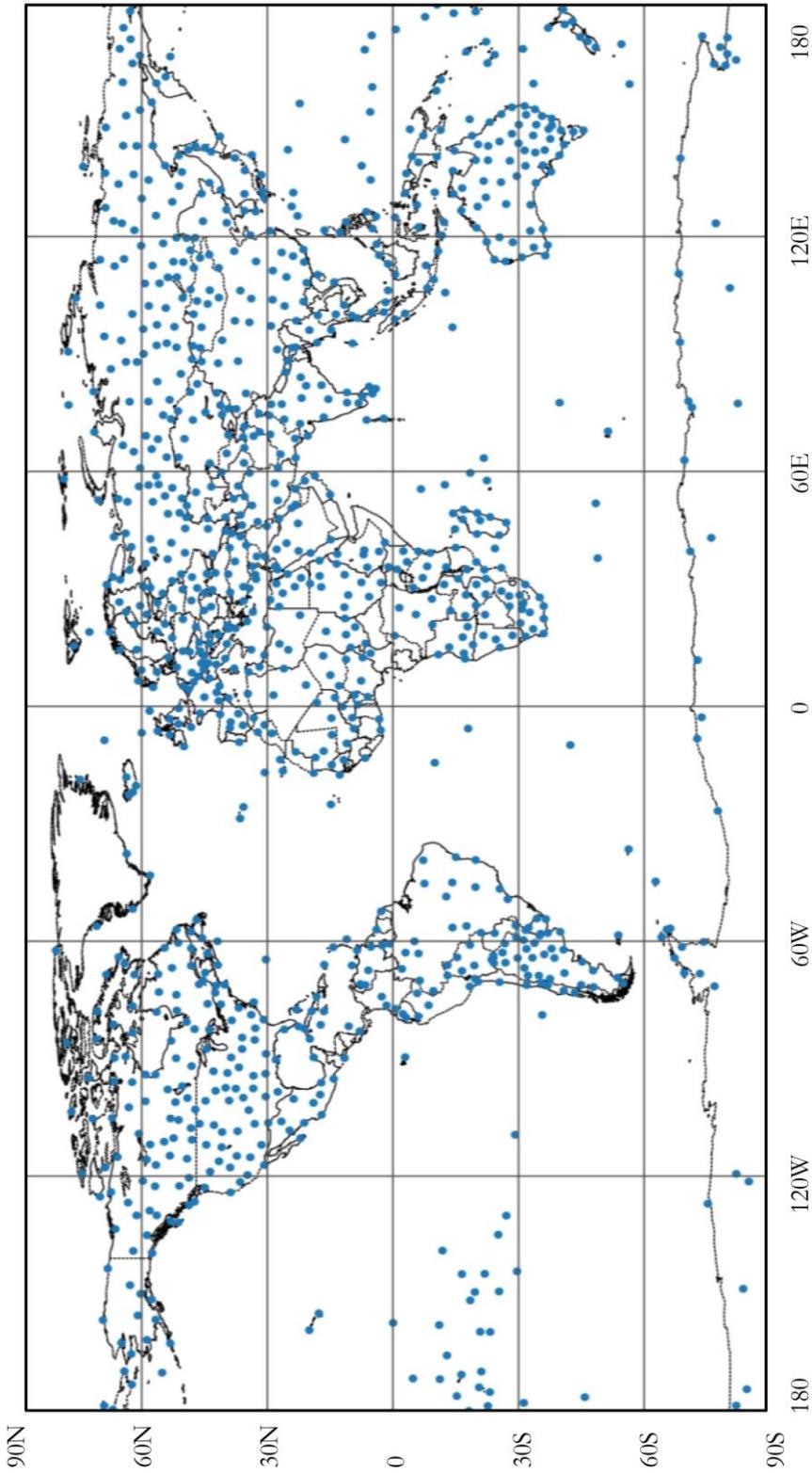


Fig. 5: Mapa de estaciones de la red GSN del GCOS. Fuente: elaboración propia a partir de Peterson, Daan, and Jones 1997.

### II.4.1.2. Datos procedentes de sensores remotos.

Hasta los años 60 del siglo pasado, los datos climáticos generados provenían en su mayor parte de observaciones *in situ*, es decir de los registros de observatorios meteorológicos repartidos por la superficie terrestre. Con el impulso de la carrera espacial, a los datos procedentes de observatorios se ha ido añadiendo una ingente cantidad de datos procedentes de sensores remotos (radar y satélite).

El éxito del satélite meteorológico *TIROS-1*, lanzado el 1 de abril de 1960, condujo al rápido desarrollo y lanzamiento de numerosos satélites de observación de la Tierra (figura 6).

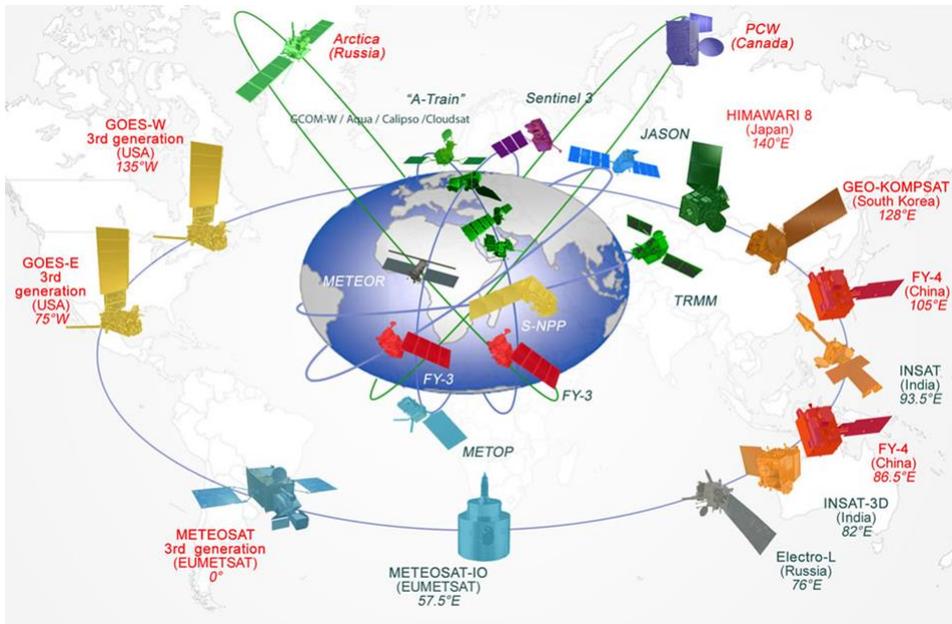


Fig. 6. Red de satélites del Global Climate Observing System en 2009. Fuente: WMO.

Con respecto a los datos obtenidos en observatorios, los datos procedentes de satélites presentan la gran ventaja de proporcionar una visión global sincrónica del estado de la atmósfera. Sin embargo, y a pesar de los grandes avances que

han tenido lugar en las últimas décadas, los inconvenientes de la utilización de esta fuente para la obtención de series largas y homogéneas siguen siendo numerosos. La corta duración de las misiones (inferior a la década), unida a la ausencia de solapes entre las mismas para poder contrastar los resultados y a la complejidad de los procesos que deben aplicarse a los datos brutos, hacen que la utilización de los datos de satélite se convierta en un reto (Peterson et al. 1997; Hijmans et al. 2005; D. Jones et al. 2009; Overpeck et al. 2011).

Podemos afirmar, en conclusión, que los datos observados en las estaciones meteorológicas, aunque sólo reflejan el resultado en superficie de un complejo sistema de relaciones, interacciones y procesos físicos dentro de la atmósfera, siguen constituyendo la fuente principal de información para el estudio del clima durante los últimos siglos en general y de determinados aspectos del mismo en particular, como el cambio climático. Esto es así por dos razones fundamentales: por una parte, los registros de los observatorios constituyen medidas directas de las variables climáticas, y por otra, han sido recopilados en un gran número de localizaciones y durante prolongados periodos de tiempo.

Sin embargo, la utilización de datos instrumentales recopilados *in situ* no está exenta de inconvenientes. Estos inconvenientes son de varios tipos. Por una parte, la representatividad espacial de los datos se ve mermada por la irregular distribución espacial de los observatorios, sobre todo a escala regional (Willmott, et al 1994). Por otra parte, las series de datos originales presentan con frecuencia inhomogeneidades producidas fundamentalmente por cuatro causas (Parker 1994; Jones et al. 1999): a) Cambios en los instrumentos de medida, la exposición y la técnica de medida, b) Cambios en la localización del observatorio, c) Cambios en los momentos de observación o en la manera de calcular las agregaciones temporales, y d) Cambios en los usos alrededor del observatorio. Para corregir o superar estos inconvenientes, se han utilizado durante las últimas décadas diferentes estrategias basadas en la modelización.

## II.4.2. Datos modelados.

Hemos clasificado los datos modelados en dos grupos: aquellos que son el producto de la elaboración de modelos matemáticos del sistema climático que aplican las leyes fundamentales de la física, y cuyas salidas son contrastadas con los datos instrumentales, o bien los que surgen de modelos matemáticos y estadísticos aplicados a los datos observados con el fin de asegurar su homogeneidad temporal (relleno de lagunas, corrección de inhomogeneidades en las series) y espacial (interpolación de los datos a una rejilla regular).

### II.4.2.1. Datos generados a partir de Modelos de Circulación General.

Un modelo climático es una representación simplificada del sistema climático, que sirve para entender mejor su funcionamiento y para poder predecir su evolución en el futuro. Desde mediados del siglo pasado, los modelos han evolucionado en complejidad y realismo gracias al aumento de las capacidades en almacenamiento y computación y al avance en los conocimientos sobre los múltiples procesos que tienen lugar en el seno del sistema climático. Existe una gran variedad de modelos, desde los de mayor abstracción de balance energético hasta los más sofisticados modelos del Sistema Terrestre más actuales (*ESM*, por sus siglas en inglés), pasando por los modelos acoplados de circulación general (*GCM*, por sus siglas en inglés, figura 7). Al contrario de lo que pudiera parecer más lógico, la evolución de los modelos no sigue una línea temporal continua desde los más simples a los más complejos, ya que los primeros *GCM* fueron desarrollados a principios de los 60, al mismo tiempo que los modelos radiativos-convectivos. Los modelos más simples de balance energético no aparecen hasta finales de la década, y los Modelos de Sistema

Terrestre de Complejidad Intermedia (*EMIC*, por sus siglas en inglés), hasta finales de los años noventa (McGuffie & Henderson-Sellers 2001).

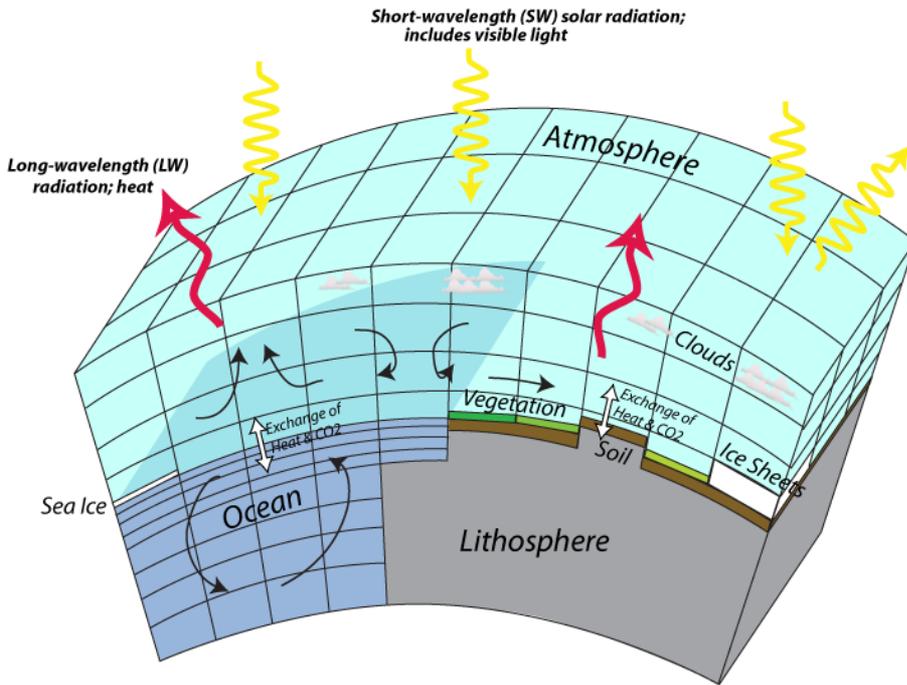


Fig. 7. Esquema simplificado de un Modelo acoplado de Circulación General Atmósfera-Océano. Fuente: D.Bice, Penn State University.

Los *GCM* actuales reproducen el funcionamiento de los grandes subsistemas que conforman el sistema climático, fundamentalmente el atmosférico y el oceánico, por lo que se les conoce por el nombre de Modelos de Circulación General Acoplados (*AOGCM* por sus siglas en inglés). Una de sus características esenciales es la resolución tanto horizontal como vertical, que determinan el tamaño de la unidad mínima del modelo (tabla 10). Los *ESM* van más allá al incluir la simulación de ciclos biogeoquímicos que juegan un papel muy importante en el sistema, como por ejemplo el ciclo del carbono (Flato 2011).

| Centro de investigación                               | Modelo | Resolución aprox. Lat x lon | Niveles verticales | Referencia                                  |
|---|--------|-----------------------------|--------------------|---|
| Bjerknes Center for Climate Research, Norway          | BCM2.0 | 2,8° x 2,8°                 | 31                 | Déqué et al., 1994                          |
| Centre National de Recherches Meteorologiques, France | CNCM3  | 2,8° x 2,8°                 | 45                 | Déqué et al., 1994; Salas-Méla et al., 2005 |
| Max-Planck-Institut for Meteorology, Germany          | ECHAM5 | 1,8° x 1,8°                 | 31                 | Roeckner et al., 2003                       |
| Freie Universität Berlin, Alemania                    | EGMAM  | 3,7° x 3,7°                 | 39                 | Huebener et al., 2007                       |

Tabla 10. Información básica relativa al subsistema de la atmósfera sobre los modelos utilizados en este trabajo. Fuente: Elaboración propia.

Las salidas de los *GCM* resultan en general poco apropiadas para estudiar el clima a escalas de mayor detalle que la escala global, si bien los últimos modelos presentan resoluciones cada vez mejores (Randall et al. 2007). Generalmente, la resolución horizontal aproximada de un *GCM* se encuentra entre 2° y 4° de latitud y longitud y la vertical comprende entre 10 y más de 40 niveles. Un modelo de circulación general sólo es capaz de reproducir el comportamiento de las variables climáticas en superficie a escala global, y no en cada una de las celdillas. Con el fin de obtener datos modelados a escalas más finas, se han desarrollado los métodos conocidos con el nombre de *downscaling*.

Existen dos grandes tipos de métodos de *downscaling*: dinámico y el estadístico (Wilby & Wigley 1997; Fowler et al. 2007; Murphy 2000; Murphy 1999). El primero se basa en la utilización conjunta de *GCM* y de Modelos Climáticos Regionales (*RCM*, por sus siglas en inglés). Los *RCM* son modelos físicos similares a los *GCM*, pero con mejor resolución espacial, y generalmente modelan sólo la componente atmosférica del sistema climático. Estos modelos se ejecutan a partir de condiciones iniciales determinadas por un *GCM*

(anidados), y sus simulaciones son capaces de dar cuenta de fenómenos que tienen lugar a escalas de mayor detalle que la unidad mínima espacial de los Modelos de Circulación General (figura 8).

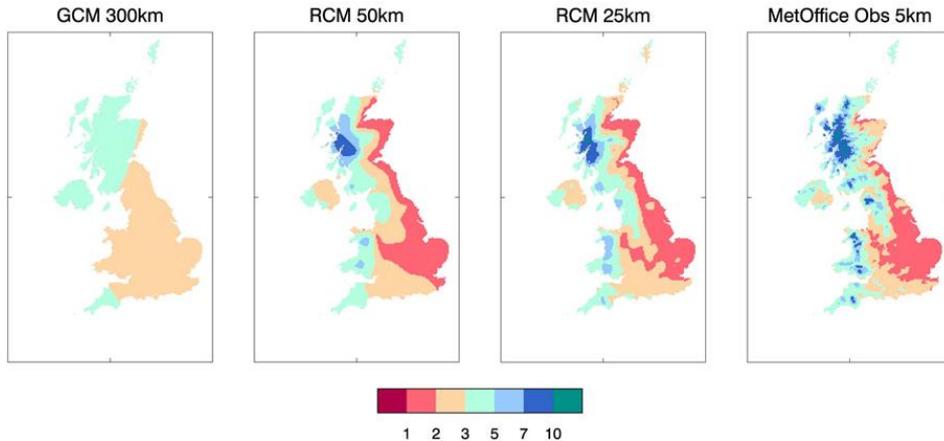


Fig. 8. Precipitación media diaria (mm./día) del invierno (1961-1990) en Reino Unido a partir de un GCM, de un RCM y de observaciones (Modelo HadCM3, Hadley Center). Fuente: Maraun et al., 2010.

Los métodos de *downscaling* estadístico, por otra parte, se basan en el establecimiento de relaciones estadísticas entre las salidas de los *GCM* y las observaciones hechas en superficie. Según como se establezcan estas relaciones, los métodos estadísticos pueden clasificarse en tres grandes grupos:

a) Métodos de regresión. Son los métodos más sencillos conceptualmente y los que menos recursos computacionales requieren. Utilizan relaciones, que pueden ser lineales o no, entre predictandos y predictores. Tienen el inconveniente de que tienden a subestimar la varianza del predictando.

b) Tipos de tiempo. En este caso se establecen relaciones entre las variables locales y una clasificación de tipos de tiempo hecha a partir de observaciones históricas. Los datos generados por un *GCM* son clasificados según su similitud con los tipos de tiempo, y de esta clasificación se deducen los valores o rangos de valores para las variables locales. Estos métodos requieren que

existan largas series de datos diarios de la zona de estudio para poder hacer la clasificación, pero son más apropiados para utilizarse con variables que no tienen una distribución normal, como la precipitación.

c) Generadores de tiempo. Se trata de modelos que son capaces de reproducir los parámetros estadísticos de una o varias variables climáticas locales (media, dispersión, etc.). Posteriormente, estos parámetros son utilizados para producir series temporales (generalmente diarias) de precipitación y otras variables dependientes de esta.

Otro tipo de datos producidos a partir de modelos de circulación general son los datos de reanálisis. Los reanálisis surgieron por la necesidad de contrastar las salidas de los *GCM*. Una de las posibles formas de validar los datos simulados por un *GCM* era generando estas simulaciones para periodos en los que se dispusiera de datos instrumentales.

El reanálisis se basa en el concepto de análisis sinóptico, o simplemente análisis, que puede definirse como el proceso mediante el cual se infiere el estado de la atmósfera en un momento determinado, a partir de un conjunto de observaciones meteorológicas de diferentes variables tomadas de manera aproximadamente sincrónica (Compo et al. 2011). Los análisis para la predicción meteorológica eran realizados tradicionalmente de forma subjetiva por un experto, hasta que a partir del siglo XX, con el desarrollo tecnológico, fue posible automatizar el proceso de creación de análisis mediante lo que se denomina la asimilación de datos. Para poder correr un modelo operacional de predicción meteorológica, es necesario asignarle un estado inicial, es decir, una serie de valores para un conjunto de variables de entrada. La asimilación de datos comprende una serie de análisis en varios pasos o ciclos en los que la información simulada con un modelo de predicción se combina con la observada (de todas las fuentes disponibles: observatorios, radiosondas, barcos,

aviones, satélite, etc.) para obtener la mejor estimación del estado de la atmósfera en un momento dado (Uppala et al. 2005).

A principios de los años ochenta, se empezaron a utilizar los análisis en la investigación climática. Sin embargo, la utilización de las salidas de modelos operacionales con fines climatológicos pronto se reveló problemática. Tanto los métodos de análisis como los de asimilación de datos presentaban errores y deficiencias que fueron subsanándose con el paso del tiempo, pero que invalidaban con probabilidad las conclusiones que pudieran derivarse de ellos desde el punto de vista de la climatología. Es por ello que a finales de la década, algunos investigadores propusieron realizar nuevos análisis (reanálisis) de los datos registrados utilizando ahora un sistema de asimilación de datos actualizado y fijo (Bengtsson & Shukla 1988; Trenberth & Olson 1988), de manera que se pudieran producir series de datos consistentes y homogéneas del clima. Desde finales del siglo pasado se han puesto en marcha muchos proyectos para la generación de reanálisis climáticos, como por ejemplo: el *NCEP-NCAR 40 year reanalysis* (Kalnay et al. 1996), el *ERA-40* (Uppala et al. 2005), el *ERA-Interim* (Dee et al. 2011) o el *MERRA* (Rienecker et al. 2011).

#### II.4.2.2. Datos generados a partir de la interpolación de datos observados.

Como se mencionó en párrafos anteriores, la necesidad de disponer de series largas que permitieran la evaluación del clima a escala global impulsó iniciativas para la creación y mantenimiento de redes globales, así como la investigación encaminada a la construcción de series homogéneas desde el punto de vista tanto espacial como temporal. Los datos observacionales también son esenciales para la evaluación de los modelos climáticos (Hulme 1992; Randall

et al. 2007).

Por otra parte, a menudo se ha recurrido a los datos de reanálisis para contrastar el desempeño de los modelos climáticos. Esta práctica presenta un gran inconveniente en el hecho de que los reanálisis son ellos mismos derivados de algún modelo, aunque también incorporen datos observacionales (Jones et al. 2013). Por ello, diversos grupos de investigación en la actualidad siguen dedicando parte de su tiempo a la construcción de conjuntos de datos en rejilla a escala global. Entre los centros de investigación que trabajan en este tipo de productos se encuentran la ya mencionada *CRU*, el *Climate Prediction Center (CPC)* de la agencia *NOAA*, el *Global Precipitation Climatology Centre (GPCC)* dependiente del servicio meteorológico nacional alemán (*DWD*, por sus siglas en alemán) y la universidad de Delaware, entre otros. En la sección dedicada a las fuentes de datos se describen con más detalle algunos de estos productos.

En relación con los datos modelados, ya sea a partir de simulaciones o por espacialización de datos observados a una rejilla, cabe destacar la amplia disponibilidad de estas series globales de datos. En la mayoría de los casos se distribuyen bajo licencias abiertas de bases de datos *Open Database License (ODbL)*, lo cual permite un uso abierto y sin restricciones con fines y propósitos no comerciales como la educación o la investigación. Ello ha producido una disponibilidad de datos globales que ha favorecido su uso cada vez más extensivo en el ámbito científico, con numerosas referencias de investigaciones basadas en estos (IPCC 1990; IPCC 2007; IPCC 1996; Jones & Moberg 2003; New et al. 2000; IPCC 2013).

En lo que respecta a la calidad de los datos, esta es variable en función de los conjuntos de datos. Los controles de calidad realizados sobre las series son de diferentes tipos, aunque todos los conjuntos de datos utilizados como

referencia, en particular las RCS, CLINO, GSN o GHCN, han pasado por procesos de revisión de metadatos de las estaciones, eliminación de duplicidades, detección y corrección de valores manifiestamente anómalos y análisis de homogeneidad. El análisis de datos en rejilla somete a los datos a nuevos test de calidad que aseguran su homogeneidad y continuidad espacial.

## **II.5. Formatos de distribución.**

Los datos anteriormente descritos representan un volumen de información considerable que requiere de formatos de almacenamiento específicos que permitan una distribución y manejo eficientes. Entre los diferentes formatos utilizados, predominan tres grandes categorías: los formatos de texto, los formatos *raster* bidimensionales y los formatos multidimensionales.

### **II.5.1. Los formatos de texto.**

Los formatos de texto fueron los primeros que se utilizaron para almacenar y transmitir la información climática. Generalmente, los formatos de texto están formados por una secuencia de líneas acabadas en un carácter especial. La codificación utilizada suele ser *ASCII*. La ventaja de los formatos de texto es que pueden ser leídos directamente por el ser humano, pero tienen el gran inconveniente de requerir mucho más espacio de almacenamiento que otros formatos.

### **II.5.2. Los formatos *raster* bidimensionales.**

Son formatos *raster* geo-referenciados. Aunque existe una gran variedad de

estos formatos, sólo mencionaremos aquí el formato *GeoTIFF*, por ser el estándar más utilizado para la distribución de la información climática. El formato *GeoTIFF* es una variante del estándar *Tagged Image File Format* (*TIFF*) con información adicional de geo-referenciación. El formato *TIFF* es uno de los formatos *raster* más populares. Una de las características más relevantes de este formato es que es capaz de usar una compresión sin pérdida de calidad, y de ahí su utilidad para la distribución de datos científicos. La compresión sin pérdida de calidad permite recuperar completamente la información original, lo cual es esencial para la distribución de datos. El formato *TIFF* incluye una serie de informaciones o etiquetas en su cabecera, que definen la geometría del archivo. El estándar *GeoTIFF* incluye nuevas etiquetas para insertar en ellas la información de geo-referenciación de los datos. Este formato permite distribuir datos bidimensionales, y por lo tanto no es adecuado para almacenar y distribuir largas series de datos en rejilla. Para esto último es necesario recurrir a formatos que permitan el almacenamiento de múltiples dimensiones.

### II.5.3. Los formatos multidimensionales.

Los formatos multidimensionales almacenan la información en tres (*cube*) o más (*hypercube*) dimensiones. Son formatos apropiados para almacenar y distribuir datos relativos a largas series temporales geo-referenciadas.

Entre los formatos multidimensionales se encuentran el formato *GRIB*, el *NetCDF* y el *HDF*. Son todos formatos independientes de la plataforma y auto-descriptos, es decir que pueden ser abiertos por el software adecuado sin que el usuario tenga necesidad de conocer los detalles de su estructura o contenido. Estos formatos han evolucionado con el tiempo, y las versiones actuales son *GRIB2*, *NetCDF4* y *HDF5*.

La amplia mayoría de los conjuntos de datos modelados (*GCM*, *RCM*, reanálisis, rejilla, etc.) a los que aludimos en los párrafos anteriores son servidos actualmente en algunos de estos formatos a través del protocolo ftp desde los propios centros productores.

## **II.6. Conclusión del capítulo.**

La ciencia se nutre de datos para la generación y la contrastación de hipótesis. El dato climático es una abstracción que da cuenta de una realidad mucho más compleja, el sistema climático. El dato climático, como cualquier dato científico, puede caracterizarse por presentar una estructura tripartita en unidad de análisis, variable y valor. No obstante, presenta dos dimensiones esenciales, la temporal y la espacial, que deben ser tenidas en cuenta a la hora de organizarlo en un marco que permita optimizar su tratamiento, análisis y difusión.

Por otra parte, la intensa actividad en la investigación del sistema climático que se ha producido durante las últimas décadas ha propiciado la generación de una gran cantidad y variedad de datos climáticos, procedentes de numerosas fuentes. Una primera clasificación de los datos puede hacerse distinguiendo entre los que proceden de la observación y aquellos generados por la modelización.

En el primer grupo se encuentran los datos obtenidos a partir de observatorios distribuidos sobre la superficie del globo y los datos procedentes de satélites u otros sensores aerotransportados. Los datos observados presentan un inconveniente mayor relacionado con las discontinuidades espaciales y temporales presentes en las series. Los datos de satélite ofrecen una mayor cobertura y son cada vez de mayor utilidad en la investigación sobre el sistema

climático, pero todavía presentan inconvenientes en relación con la cobertura temporal y con el hecho de que proporcionan una medida indirecta de los parámetros observados.

En el segundo grupo están los datos producidos por las simulaciones de los modelos de circulación general y los datos que proceden de la interpolación espacial de datos observados a una rejilla regular. Ambos grupos de datos permiten disponer de series de variables climáticas espacializadas a escala global que se extienden sobre largos periodos de tiempo, tanto en el pasado como hacia el futuro.

En la actualidad, la mayor parte de estas series están disponibles de manera libre y gratuita para cualquier usuario que disponga de acceso a internet. No obstante, es importante subrayar que las dificultades asociadas al manejo de los formatos técnicos en los que se distribuyen los datos climáticos y al volumen de información que suponen, circunscribe su utilización a un número reducido de personas casi exclusivamente ligadas a ámbitos científicos. El conocimiento del clima puede, sin embargo, interesar a un número mucho más amplio de personas y de usuarios, especialmente en contextos de conocimiento abierto y de desarrollo de políticas y de espacios de decisión participativos en los que el acceso a la información se torna en uno de los aspectos fundamentales.

En el siguiente capítulo se hace una introducción al concepto de *open data* y se analizan aspectos relacionados con el acceso de los diferentes usuarios potenciales a la información climática.



**III. EL ACCESO DE LOS USUARIOS  
A LA INFORMACIÓN  
CLIMÁTICA**



“OK, we have to ask for raw data now.”

(Tim Berners-Lee, 2009)

Los datos proporcionan una representación de los hechos que permiten contrastar el conocimiento científico. En este sentido, mientras mayores sean las posibilidades de acceso a los datos, mayor será la transparencia y la reproducibilidad de las investigaciones científicas. Cada vez un mayor número de usuarios de todo tipo demandan el acceso libre y gratuito a los datos, ya no sólo científicos, sino a todo tipo de datos públicos, en lo que se conoce como el movimiento *Open Data*.

### **III.1. La información climática y el *open data* movement.**

Antes de entrar en la cuestión de la identificación de los diversos usuarios de la información climática, creemos necesario situarnos en el contexto actual del acceso a la información, haciendo un breve repaso de determinados conceptos relacionados con el llamado *open data movement*. Este emergente, y relativamente reciente, movimiento global promueve un cambio profundo en el comportamiento de los diferentes actores sociales en relación con los datos. El objetivo es el de incrementar la colaboración y conectividad para mejorar la transparencia, la rendición de cuentas, el acceso y la generación de conocimiento en la sociedad. Para ello, es esencial que se proporcione el mejor acceso posible, sin restricciones, a los datos (Dove 2015).

Existen dos grupos de conceptos que consideramos deben definirse aquí: por una parte el concepto de apertura y por otro el o los objetos de la misma, como son el dato, la información o el conocimiento.

### III.1.1. Dato, información y conocimiento.

En el contexto de las ciencias de la información, los conceptos de datos, información y conocimiento son considerados como los pilares básicos sobre los que se construye el pensamiento científico en este campo. Son tres conceptos íntimamente relacionados y cuyo significado (y las interrelaciones que se establecen entre los ellos) puede variar en gran medida según los autores (Zins 2007) y el contexto en el que se interpretan (Aamodt & Nygård 1995). En este trabajo, adoptaremos el marco teórico conocido como la jerarquía *DIKW* (*Data, Information, Knowledge, Wisdom*, Ackoff, 1989), si bien nos centraremos en los tres primeros componentes de la misma, ya que el último está en relación con cuestiones filosóficas que van más allá del objeto de este trabajo.

El **dato**, como ya se mencionó en el capítulo anterior, es una representación abstracta de un hecho. El dato se obtiene de manera individual y subjetiva mediante los sentidos o bien de forma objetiva mediante sensores diseñados para tal fin. El dato por sí mismo carece de sentido (Cooper 2014).

El crecimiento continuo de las capacidades de almacenamiento y de proceso de los sistemas de *hardware* ha permitido el mantenimiento, la gestión y el análisis de una cantidad de datos e información inconcebible hasta hace poco. La cantidad de información generada es tal que se habla de diluvio de datos (*data deluge*), o sobrecarga (*overload*) de información, en el sentido de que la capacidad para gestionar y explotar tanta información no ha crecido al mismo ritmo (Hey & Trefethen 2003; Anderson 2008; Borgman 2012).

En relación con el diluvio de datos, uno de los términos más recurrentes en los últimos años es el de *big data*. La definición de *big data* resulta complicada. Se pueden encontrar numerosas definiciones en la literatura, algunas de ellas

contradictorias entre sí (Thatcher 2014; Ward & Barker 2013). Una de las definiciones que más consenso concitan es la que caracteriza al *big data* como un conjunto de datos cuyo volumen y/o complejidad exceden la capacidad de almacenaje y/o proceso de los sistemas actuales (Jacobs 2009; Ward & Barker 2013). A menudo también se alude en la definición a tres características fundamentales del *big data*, representadas por tres uves: gran volumen, gran velocidad y gran variedad, que requieren nuevas formas de análisis (Thatcher 2014; Evans et al. 2014; Sharma 2013; Shearer 2015; Kitchin 2014). Algunos autores han llegado a hablar, en relación con el diluvio de datos y el *big data*, de un nuevo paradigma en la ciencia caracterizado por el “fin de la teoría”, en el sentido de que el enorme volumen de datos disponibles permitiría adquirir conocimiento de una manera directamente empírica y sin necesidad de recurrir a teorías previas (Anderson 2008; Prensky 2009). Otros, en un término medio, defienden una ciencia guiada por los datos (*data-driven*), de manera que se generen hipótesis de los datos más que de la teoría (Kelling et al. 2009). Además, la inmensa mayoría de estos datos tienen una importante componente espacial o son susceptibles de ser geo-referenciados en alguna medida, de tal forma que se habla también de *spatial* o *geospatial big data* para referirse a este aluvión de datos referidos directamente al espacio y que aparecen en todas las disciplinas relacionadas con las ciencias de la Tierra (Amirian et al. 2014; Evans et al. 2014; Lee & Kang 2015).

La **información** es también una representación abstracta de los hechos, que se crea generalmente a partir de los datos mediante una serie de procesos de contextualización, análisis, interrelación, ordenación, agregación, resumen, etc. La información proporciona significado a los datos. También puede considerarse la información, como señala Zins, como una forma de representación del conocimiento, como conocimiento empírico (Zins 2007), ya que el conocimiento por sí mismo sólo existe en la mente del que lo ha

adquirido o generado. Al convertir el conocimiento en una representación simbólica, mediante un proceso de comunicación, se genera información.

El **conocimiento** representa la información interpretada por un individuo en un marco conceptual. El conocimiento es información interiorizada, es decir, integrada en las estructuras cognitivas de una persona (Segundo 2002). Como se ha mencionado, la transmisión del conocimiento requiere, por lo tanto, de su plasmación en una información que pueda ser emitida en un mensaje y comprendida por el receptor. Los conceptos de información y conocimiento son por tanto parecidos, pero no sinónimos. Podríamos decir que la información es un vehículo de transmisión y generación de conocimiento, porque en el proceso de interiorización o aprendizaje, cada receptor puede crear, ampliar y mejorar el conocimiento al incorporarlo a su estructura cognitiva.

Las relaciones entre datos, información y conocimiento se han descrito tradicionalmente por medio de una pirámide o una cadena. Los datos se sitúan en el primer escalón, y son los que ocupan un mayor volumen, y el conocimiento en el último, con un volumen menor. Los datos brutos producen información y la información permite generar conocimiento. Esta representación, aunque ha sido criticada por algunos expertos en ciencias de la información (Zins 2007; Braganza 2004), nos parece adecuada para el propósito de este trabajo, si bien incluimos algunos matices ya apuntados anteriormente para expresar los flujos en la dirección opuesta, como el proceso de externalización o comunicación del conocimiento, el de generación de nuevos datos a partir de nuevos conocimientos (retroalimentación o *feedback*) o el papel que juega el conocimiento en la generación de información a partir de los datos (ver figura 9).



Fig. 9. Esquema de la relación dato-información-conocimiento. Fuente: Elaboración propia.

Tradicionalmente, la transmisión del conocimiento científico se ha hecho en su mayor parte a través de libros y publicaciones en revistas especializadas. En las últimas décadas, el impulso tecnológico ha propiciado un cambio radical en las posibilidades de transmisión de datos, información y conocimiento. El desarrollo de múltiples y diversas herramientas de gestión, tratamiento, análisis, visualización, difusión y colaboración ha ampliado también de forma considerable las posibilidades de generación y transmisión de conocimiento. Quizá uno de los mayores retos que se plantean a las sociedades de hoy en día sea el de conseguir gestionar esta avalancha de datos para optimizar la extracción de información y creación y transmisión de conocimiento. En este contexto, el acceso a los datos y a la información, cuyas posibilidades se han ampliado también de forma radical, juega un papel fundamental.

### III.1.2. Open Data Movement.

Durante estas últimas décadas, la idea de poner a disposición de todos los ciudadanos datos de todo tipo, cuyo acceso había estado hasta entonces restringido, ha ido cobrando fuerza y se ha materializado en diferentes iniciativas puestas en marcha desde gobiernos y plataformas civiles. Este emergente movimiento social global, conocido como *Open Data Movement*

(Murray-Rust 2008; Molloy 2011; Ferrer-Sapena et al. 2011; Dawes 2012; Leonelli 2013; Cimiano et al. 2013; Ferrer-Sapena & Sánchez-Pérez 2013; Dove 2015), se ha puesto de moda en prácticamente todas las facetas de nuestra sociedad, y en particular el término inglés *open*, la encontramos a menudo formando expresiones como *open government*, *open source*, *open access*, *open data*, *open knowledge*, *open science*, *open standard*, etc.

La apertura es un concepto transversal, un nuevo paradigma que va más allá del mero acceso a los datos. Es un principio que se basa en una comunicación transparente, permanente y multidireccional entre los diferentes componentes de la sociedad, apoyándose en la estructura fundamental que suponen las actuales tecnologías de la información y la comunicación.

### III.1.3. Open Access.

La idea de la apertura de datos, aunque ha tomado fuerza recientemente, no es nueva. Si bien hoy en día se ha extendido a todos los sectores de la sociedad, es en la comunidad científica donde surgen las primeras iniciativas de apertura, principalmente en relación con las publicaciones científicas. Ya en los años 40, el sociólogo Robert King Merton defendía la idea de que una apertura de la investigación científica supone un enorme beneficio para la ciencia. En su sociología de la ciencia, Merton propone los principios de la ética de la ciencia moderna. Uno de estos principios es el de *communism*<sup>1</sup>, según el cual los descubrimientos científicos representan un bien común y los investigadores deben renunciar a los derechos de propiedad intelectual para el avance de la ciencia (Merton 1942).

---

<sup>1</sup> Otros autores usan el término *communalism*, con un significado algo diferente. Ziman lo define en el sentido de “eliminar o prohibir el secreto” (Ziman 2002).

El término acuñado para referirse a la apertura de las publicaciones científicas es el de *open access*. El concepto ha sido debatido en profundidad y definido fundamentalmente a partir de tres declaraciones públicas: *Budapest Open Access Initiative*<sup>1</sup> en febrero de 2002, *Bethesda Statement on Open Access Publishing*<sup>2</sup> en junio de 2003 y *Berlin Declaration on Open Access to Knowledge in the Sciences and Humanities*<sup>3</sup> en octubre de 2003. Peter Suber extrae de las tres declaraciones lo que él llama la “definición BBB” de *open access*: “La literatura *open access* es digital, en línea, gratuita y libre de la mayoría de restricciones de licencia o copyright” (Suber 2012, 4).

Según un artículo publicado en 2011, a partir del cambio de milenio, se produjo un aumento considerable de las publicaciones *open access*, pasando de una veintena de publicaciones y menos de 500 artículos a principios de los años noventa, hasta unos 200 000 artículos publicados en casi 5 000 revistas (Laakso et al. 2011).

Por otra parte, otras investigaciones destacan la repercusión positiva de las publicaciones *open access* (Antelman 2004; Hajjem et al. 2006; Swan & Brown 2008; Evans & Reimer 2009; Suber 2012), sobre todo por su capacidad para abrir las fronteras de la investigación científica a aquellas zonas cuyos recursos limitan considerablemente el acceso a las publicaciones convencionales.

Sin embargo, el acceso a las publicaciones no ha venido generalmente acompañado de un acceso a los datos sobre los que se sustentan las investigaciones. Una de las razones principales por las que esto ha ocurrido tradicionalmente radica en la inadecuación del soporte en papel para la transmisión de datos (Vision 2010). Hoy en día, esto no supone un

---

<sup>1</sup> <http://www.budapestopenaccessinitiative.org/>.

<sup>2</sup> <https://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/4725199/suber%20bethesda.htm?sequence=1#scientists>.

<sup>3</sup> <http://openaccess.mpg.de/Berlin-Declaration>.

impedimento, pero sigue existiendo la inercia de estos hábitos de publicación. Por esta razón, en las últimas décadas, son muchas las voces que se han alzado para pedir un acceso completo y libre a los datos asociados a las publicaciones científicas (Arzberger et al. 2004; Uhlir & Schröder 2007; Murray-Rust 2008; Schofield et al. 2009; Molloy 2011; Joint-Programming-Initiatives 2015).

### III.1.4. Open scientific data.

En los años cincuenta, el Consejo Internacional para la Ciencia (*ICSU*, de su antiguo nombre *International Council of Scientific Unions*), creó el Sistema de Centro Mundial de Datos (*WDC*, *World Data Center*), con el objetivo el administrar y proporcionar acceso a los datos generados en el marco del Año Geofísico Internacional de 1957. Se trata de una iniciativa pionera que estableció el concepto de acceso abierto (*open access*) a los datos científicos en el contexto internacional.

El término *open data* referido a los datos científicos aparece por primera vez en 1995, con motivo de una publicación del *Committee on Geophysical and Environmental Data (CGED)* en la que se criticaba la propuesta del *WMO* de mayo del mismo año para cambiar su política de distribución de datos<sup>1</sup>, haciéndola más restrictiva (National Resesarch Council 1995).

El Sistema Mundial de Datos (*WDS*, por sus siglas en inglés) sucedió al *WDC* en 2008 como adaptación a la nueva situación creada por la evolución social y tecnológica, y declaró en 2015 cuatro principios éticos básicos por los que todo miembro debe guiarse con el fin facilitar y mejorar el acceso a los datos

---

<sup>1</sup> En el documento se habla, más precisamente, de *open scientific data*. Puede consultarse un resumen en: <http://www.nap.edu/readingroom.php?book=exch&page=summary.html#fn1>.

científicos<sup>1</sup>:

- Los datos, metadatos, productos e información deben ser completa y abiertamente compartidos, respetando siempre las leyes nacionales e internacionales y los estándares éticos científicos internacionales.
- Los datos, metadatos, productos e información generados para la investigación, educación y el dominio público estarán disponibles en el mínimo plazo de tiempo y sin cargas más allá del coste de la distribución.
- Aquellos que producen, comparten o usan datos y metadatos son responsables y deben velar por su autenticidad, calidad e integridad, así como respetar las fuentes preservando si fuera preciso la privacidad y citando siempre el origen.
- Los datos pueden marcarse como sensibles o restringidos únicamente en casos debidamente justificados, siguiendo protocolos claramente definidos, y esas restricciones, de tener lugar, deben minimizarse en la medida de lo posible.

Durante estos últimos años, numerosas instituciones relacionadas con la investigación científica de todo el mundo han adoptado tesis similares y las promueven en sus declaraciones de principios.

En particular, en el caso de la información geográfica, cabe destacar la puesta en marcha por parte de la Unión Europea, el 14 de marzo de 2007, de la Directiva por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea, más conocida como *INSPIRE* (Comisión Europea 2007), de obligado cumplimiento por los estados miembros. Esta directiva fija normas generales con vistas al establecimiento de una infraestructura de información espacial en la Unión Europea, basándose en las ya establecidas y

---

<sup>1</sup> *WDS Data Sharing Principles*, <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.34354>

gestionadas por los Estados miembros. La norma regula tres aspectos claves para establecer esta infraestructura: los metadatos, la interoperabilidad y los servicios de red. También refleja, aunque de forma algo tímida, la necesidad de ofrecer al público un número mínimo de servicios (los de localización y de visualización) con carácter gratuito. Normativas e iniciativas en el mismo sentido se han implementado en otros lugares del globo, como por ejemplo la *National Spatial Data Infrastructure* en Estados Unidos (Federal Register 1994), la *Canadian Geospatial Data Infrastructure* o la Infraestructura de Datos Espaciales de las Naciones Unidas (*UNSDI* por sus siglas en inglés) (Tonchovska & Adlington 2011).

A pesar de ello, y aunque los avances en la apertura de datos son evidentes, siguen existiendo algunas barreras para un acceso abierto a los datos científicos, tal y como lo han expresado recientemente algunos autores (Overpeck et al. 2011; Themeßl 2014; Joint-Programming-Initiatives 2015). Uno de los retos más importantes en relación con el acceso abierto a los datos científicos radica en cómo gestionar y mantener el ingente volumen de datos generado y el que se producirá en el futuro, al tiempo que se proporciona acceso y se diseñan herramientas y métodos para explotar de manera efectiva tanta información por parte de un número cada vez mayor y más diverso de usuarios (Hey & Trefethen 2003; Gray et al. 2005; Uhler & Schröder 2007; Dawes 2012; Kitchin 2014).

La compleja cantidad y variedad de datos científicos supone un reto a la hora de gestionar el acceso a los datos y su compartición. Como afirma Borgman, se trata de un difícil e intrincado problema, que esquematiza en un modelo de cuatro planteamientos fundamentales para la compartición de datos (figura 10). El autor añade que difícilmente podrá mejorar la situación si no aumentan los incentivos a los investigadores y centros de investigación para la facilitar el

acceso a los datos (Borgman 2012).

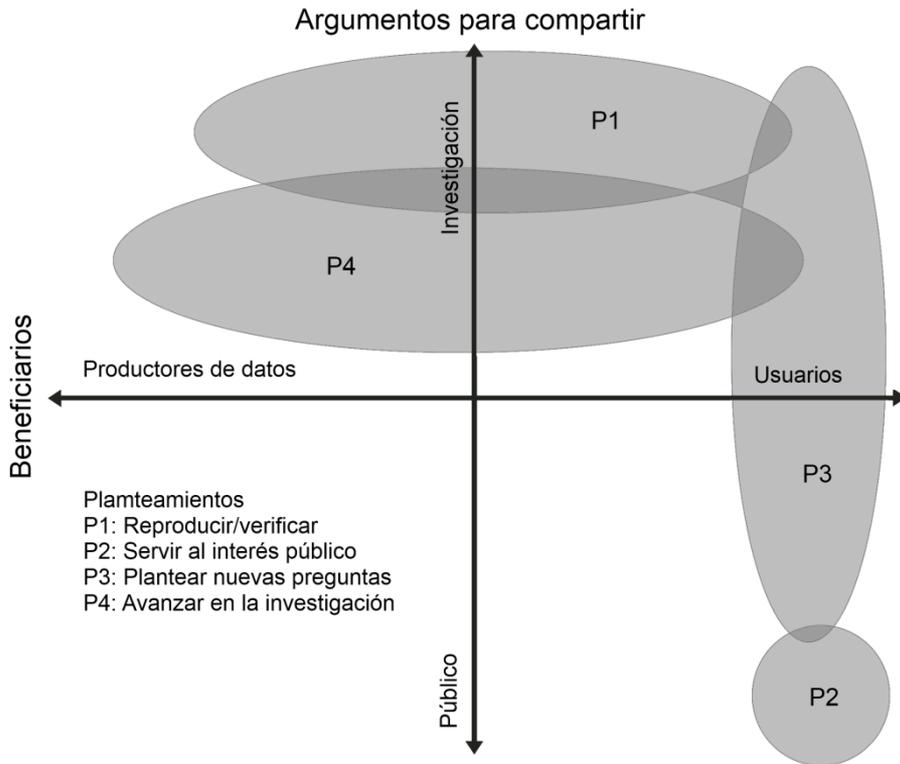


Fig. 10. Esquema de las razones fundamentales para la compartición de datos. Fuente: Elaboración propia a partir de Borgman 2012.

### III.1.5. Información climática y *open data*.

Como hemos mencionado en párrafos anteriores, la comunidad científica fue pionera en la idea de compartir los datos de los que se nutren las investigaciones. En particular, en climatología y meteorología, como destacaba el Consejo Nacional de la Ciencia estadounidense ya en 1995, “el intercambio libre y sin restricciones de datos meteorológicos y climatológicos bajo la égida de la *WMO* ha sido, durante un largo tiempo, un brillante ejemplo de colaboración científica internacional en beneficio de todas las naciones

participantes” (National Resesarch Council 1995). Según Maibach *et al.*, “en términos de apertura y transparencia, la ciencia climática estaba muy avanzada en comparación con otras disciplinas científicas” (Maibach et al. 2012).

Sin embargo, el episodio de la revelación en internet de un cierto número de correos y otros documentos internos de la CRU en 2009, conocido como *Climategate*<sup>1</sup>, puso de manifiesto, como coinciden en señalar las conclusiones de las numerosas investigaciones llevadas a cabo (House of Commons. Science and Technology Committee 2010; Oxburgh et al. 2010; Assmann et al. 2010; Heymann 2010), que era práctica común no compartir los datos brutos ni los códigos de los programas utilizados en los trabajos de investigación.

Este asunto, con la ciencia climática como protagonista, no hizo más que reafirmar e intensificar la consciencia de una gran parte de la sociedad de la necesidad de la apertura de datos asociados a la investigación y la mejora de la transmisión del conocimiento científico. Desde 2013, las grandes instituciones y consejos científicos (la Comisión Europea y el *National Research Council* entre otros), han impulsado políticas de fomento del *open data* en la investigación científica (Gewin 2016). Así, actualmente es posible acceder de forma libre y gratuita a los datos de grandes proyectos sobre el clima de, por ejemplo, el Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo<sup>2</sup> (*ECMWF*, por sus siglas en inglés) o la *NOAA*<sup>3</sup>. Aun así, persisten hoy en día algunas barreras que dificultan esta comunicación. Esto es así por muchas y diversas razones. Muchos investigadores siguen perpetuando hábitos tradicionales que no favorecen la comunicación con el resto de la sociedad (Boulton et al. 2011). En ocasiones, los investigadores no disponen de la experiencia, recursos o

---

<sup>1</sup> <http://rationalwiki.org/wiki/Climategate>

<sup>2</sup> <http://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets>

<sup>3</sup> <http://www.ncdc.noaa.gov/data-access>

incentivos necesarios para compartir los datos que manejan (Borgman 2012). A menudo, el investigador está más centrado en el uso del dato que en su descripción para beneficio de otros, y la detallada documentación de los metadatos supone para él una inversión de tiempo demasiado costosa (Edwards et al. 2011). Otra dificultad estriba en el coste que supone poner a disposición pública y mantener los repositorios de datos abiertos, así como gestionar temas como la confidencialidad, privacidad, seguridad y propiedad intelectual en relación con determinados datos (Boulton et al. 2011).

También desde el punto de vista de los usuarios existen múltiples impedimentos de todo tipo, desde la no publicación o la imposición de tasas de acceso, hasta la insuficiencia de los metadatos que permitan una correcta comprensión de los datos facilitados (Zuiderwijk et al. 2012). También la existencia de un amplio espectro de usuarios de *open data* introduce una gran complejidad a la hora de establecer los mecanismos involucrados en los procesos de acceso abierto a los datos y la información científica, ya que también son diferentes sus necesidades.

## **III.2. Los usuarios de la información climática.**

El clima interesa a una gran cantidad de personas de muy diferentes sectores de la sociedad, porque las características del clima y sus variaciones han afectado y afectan al ser humano en muchos sentidos. De esta dependencia existen innumerables ejemplos, que van desde la relación de la civilización egipcia con las crecidas del Nilo hasta la programación de las rutas de vuelo en función de los vientos dominantes en las capas altas de la atmósfera. Por ello, los datos, la información y el conocimiento sobre el clima han sido demandados desde tiempos remotos con diversos fines, que pueden ir desde la planificación de la gestión del agua o la agricultura a la elección de destinos turísticos.

En los últimos años esta demanda crece exponencialmente como consecuencia de la eclosión del problema del cambio climático. Gobiernos, empresas e instituciones de todo tipo tienen que desarrollar programas de adaptación al cambio climático, para lo cual necesitan disponer de los datos relativos a los escenarios de clima del futuro. A su vez, los gobiernos y poderes públicos necesitan también conocer los datos climáticos actuales para realizar el seguimiento del problema y de la efectividad de las políticas puestas en marcha para luchar contra él. La consecuencia de todo ello es que ya resulta obligada la puesta a disposición de los usuarios de toda la información climática disponible y en los formatos adecuados para ellos.

La información climática debe ajustarse lo mejor posible a las necesidades de los usuarios para resultar útil. Por lo tanto, es importante conocer cuáles son los usuarios potenciales de la información y sus necesidades para poder, no sólo ofrecer un simple acceso a la información climática, sino diseñar las herramientas que permitan sacar el mayor partido de ella.

### **III.2.1. Grupos de usuarios potenciales.**

Los científicos ya no solo tienen la obligación de compartir los datos entre ellos, sino también con una creciente comunidad de usuarios externos, con necesidades muy diversas, procurando al mismo tiempo optimizar la usabilidad de dichos datos (Overpeck et al. 2011).

La caracterización de los distintos grupos de usuarios potenciales es una tarea fundamental en la identificación de los requerimientos de los mismos. En los trabajos previos sobre servicios climáticos<sup>1</sup>, existen algunas experiencias

---

<sup>1</sup> Un servicio climático se define como un conjunto de datos e información climática dispuesto para responder a las necesidades de los usuarios (World Meteorological Organization 2011).

previas en la realización de esta tarea que nos pueden ayudar a trazar un dibujo más claro de cuáles son los diferentes grupos potenciales de usuarios de la información climática.

Una primera clasificación que puede hacerse entre los usuarios distingue entre los expertos y los no expertos. Muchos autores hacen la distinción entre científicos o especialistas y el público en general (Bartling & Friesike 2014; Themeßl 2014). Esta clasificación es muy genérica y además resulta ambigua si no se definen con total claridad las características de un usuario especialista.

La Organización Meteorológica Mundial distingue cinco categorías principales de usuarios de la información climática: responsables de políticas, gestores, ingenieros, investigadores, estudiantes y público en general (World Meteorological Organization 2011). Themeßl hace una clasificación sectorial de los usuarios a partir de una encuesta nacional en Austria (Themeßl 2014). Bessembinder discute sobre la posibilidad de clasificar a los usuarios según diferentes criterios, como por ejemplo, los sectores de interés, el uso que pretenden dar a la información o bien las capacidades de acceso y uso de la información climática por parte de los usuarios (tabla 11, Bessembinder 2012).

Los grupos de usuarios que se muestran en la tabla 11, sin ser exhaustivos, dan idea de la complejidad en la clasificación de los mismos. Los grupos de las tres columnas pueden combinarse y determinan múltiples y diversas necesidades.

| Sectores               | Usos               | Capacidades  |
|------------------------|--------------------|--|
| Agro-forestal          | Investigación      | Alta capacidad para acceder y usar grandes volúmenes de datos.             |
| Energía                | Toma de decisiones |  |
| Gestión del agua       | Negocios           | Capacidad para acceder y usar la información con algún tipo de apoyo.      |
| Industria              | General            |  |
| Financiero             |                    | Límites técnicos: tiempo, recursos.  |
| Administración pública |                    |  |
| Transporte             |                    | Límites de conocimiento o experiencia en el acceso y uso de la información |
| Científico             |                    |  |
| Educativo              |                    |  |
| Comunicación           |                    |  |

Tabla 11. Grupos de usuarios según sector de actividad, uso de la información y capacidades del usuario. Fuente: **Elaboración propia a partir de Bessembinder 2012.**

### III.2.2. Requerimientos de los usuarios.

En general, independientemente del tipo de usuario, sus requerimientos pueden responder a diferentes criterios que podemos agrupar en tres categorías:

- a) Datos, información y conocimiento.

En este grupo se incluyen los propios datos, las variables climáticas a diferentes escalas temporales y espaciales. También se incluye otro tipo de información, como por ejemplo:

- Otras variables ambientales relacionadas.
- Variables e indicadores derivados de las variables básicas, como tendencias,

indicadores de sequía, de estacionalidad, de extremos, etc.

- Metadatos, información sobre la calidad y la incertidumbre de los datos proporcionados.
- Herramientas para la representación de datos y series de datos.
- Publicaciones relacionadas con los datos.

b) Formato y accesibilidad.

Para una mejor comprensión de la información, los usuarios tienen una serie de requerimientos relacionados con la forma de acceso y el formato de presentación:

- Lenguaje de comunicación.
- Formato de descarga.
- Formato de la aplicación web de presentación y navegación.

c) Soporte.

La presentación de los datos debe estar acompañada de herramientas de ayuda y comunicación de distintos tipos, como por ejemplo:

- Ayuda a la navegación por la aplicación.
- Información sobre ejemplos en la utilización de los datos.
- Herramientas de comunicación con el proveedor del servicio.

Existen ya teorías bastante elaboradas acerca de cómo responder de manera más eficiente a los requerimientos, en especial de los usuarios no expertos, y facilitar así un acceso más eficiente a los datos científicos (Overpeck et al. 2011; Edwards et al. 2011; Rood & Edwards 2014) y hay numerosos trabajos empíricos mostrando los procedimientos para lograr ese objetivo en

disciplinas tales como la estadística, los recursos energéticos o las ciencias de la salud (Karlis et al. 2001; Perez et al. 2011; Kharazmi et al. 2014). Ha surgido incluso el grupo *Climate Knowledge Brokers (CKB)*, formado por organizaciones y profesionales orientados a la mejora de la calidad y el empleo del conocimiento climático en la toma de decisiones. Su manifiesto<sup>1</sup>, publicado en 2015, describe muy detalladamente el papel que sería atribuible a estos *brokers* o catalizadores del conocimiento (Bauer & Smith 2015), el cual podría sintetizarse en la comunicación de las ideas en el lenguaje y el sistema de valores de la audiencia. Esta tarea exigiría desenvolverse bien en los numerosos ámbitos disciplinares implicados en la producción de los datos climáticos, en su organización y almacenamiento y en los ámbitos correspondientes a los numerosos potenciales usuarios. En último término, el papel del *broker* sería el de generar conocimiento derivado, útil para la toma de decisiones (Boden & Avram 2009; Bauer & Smith 2015). Para un buen desempeño de este papel todos parecen concordar en asignar una importancia capital a la tecnología y al desarrollo de sofisticadas herramientas de software para acceder, filtrar y visualizar el gran número de datos observados y modelados disponible en la red (Overpeck et al. 2011).

### III.3. Conclusión del capítulo.

La sociedad actual demanda de manera cada vez más generalizada un acceso abierto, es decir, libre y gratuito, a todo tipo de datos, y en particular a los datos científicos. Pero el dato por sí solo no es capaz de generar conocimiento. El dato debe ser convenientemente organizado y analizado, puesto en un contexto que permita crear información y conocimiento. El acceso abierto a los datos

---

<sup>1</sup> <http://manifiesto.climateknowledgebrokers.net>

es por tanto una condición indispensable pero no suficiente para conseguir acrecentar el conocimiento científico y extenderlo a una mayor parte de la sociedad. Es necesario crear y potenciar al máximo los medios existentes para conseguirlo.

La comunidad científica, y en especial en el campo de la climatología y meteorología, ha sido pionera en la puesta en marcha de mecanismos de apertura de datos en los últimos años, y actualmente se encuentran disponibles de manera libre y gratuita enormes bases de datos sobre el sistema climático. Aun así, la explotación de este ingente volumen de datos sigue constituyendo un desafío importante.

La importancia del clima en las actividades humanas hace que existan numerosos usuarios interesados en acceder a la información climática. La gran diversidad de los usuarios potenciales de la información introduce un complejidad más en la ya de por sí difícil tarea de proporcionar acceso y poner los medios para que aquellos puedan utilizar la información para sus fines y en definitiva generar conocimiento. Entre muchas otras, la visualización de los datos climáticos contextualizados en el tiempo y en el espacio es una herramienta útil para transmitir y generar conocimiento climático. En el siguiente capítulo se hará un estado de la cuestión en el campo de la geovisualización web de la información climática.



## **IV. LA GEOVISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA**



*“Ideas come from previous exploration more often than from lightning strokes.”*

(Tukey 1980, p. 23)

Frente a las herramientas informáticas, que son capaces de procesar grandes volúmenes de datos y detectar con relativa rapidez patrones espaciales conocidos, el cerebro humano posee una alta capacidad para descubrir e interpretar complejos patrones espaciales que las computadoras no son capaces de gestionar de manera eficiente (MacEachren & Kraak 2001; Peuquet & Kraak 2002; Swienty 2005; Aigner et al. 2008; Keim et al. 2008; Iosifescu-Enescu et al. 2010; Ladstädter & Steiner 2010; Sacha et al. 2014). En este sentido, las herramientas que permiten la exploración visual de la información espacial son especialmente útiles para la generación y difusión del conocimiento.

## IV.1. La geovisualización.

La visualización geográfica o geovisualización (MacEachren et al. 1998, 2004; Harrower et al. 2000; Crampton 2002) es una disciplina que combina elementos de la cartografía tradicional con otros procedentes de otros campos, como la visualización científica o los sistemas de información geográfica, para tratar de responder a cuestiones relacionadas con el espacio.

En palabras de MacEachren y Kraak, “La Geovisualización integra aspectos de la visualización científica, la cartografía, el análisis de imágenes, el Análisis Exploratorio de Datos y los Sistemas de Información Geográfica, con el fin de proporcionar la teoría, métodos y herramientas para la exploración visual, el análisis, la síntesis y la presentación de datos espaciales” (MacEachren y Kraak

2001, p. 3).

Crampton define la geovisualización como una “aproximación a la visualización de los datos geográficos con el fin de explorar patrones, generar hipótesis, reconocer conexiones o discontinuidades e identificar tendencias” (Crampton 2002, p. 85).

Otros autores aportan matices a la definición desde la perspectiva del usuario en el proceso de exploración y visualización de la información espacial. Según Dykes, la geovisualización tiene que ver “con las personas, los mapas, los procesos y la adquisición de conocimiento” (Dykes et al. 2005, p. 4). También J-M. Kraak destaca que la geovisualización “se sirve de la representación espacial para explorar los datos y generar hipótesis a partir de las mismas, resolver problemas y construir conocimiento” (Kraak 2003, p. 390).

De estas definiciones se desprenden dos hechos fundamentales:

Por una parte, el carácter multidisciplinar de la geovisualización. Esta disciplina aúna las aportaciones de diversos campos de investigación. Toma sus raíces en las teorías y métodos de la cartografía tradicional y el análisis y exploración de datos, y las combina con las nuevas herramientas de visualización científica y los sistemas de información geográfica. Este carácter multidisciplinar le confiere una gran complejidad y al mismo tiempo una alta versatilidad para afrontar los retos de la explotación eficiente de los grandes volúmenes de datos y la diversidad de usuarios de la información.

Por otra parte, también se revela la importancia del usuario en el proceso de exploración, visualización y descubrimiento de conocimiento a partir de los datos. Los usuarios no son los mismos que tradicionalmente demandaban los productos cartográficos. Con la evolución de las tecnologías de la información y la comunicación, el abanico de usuarios se ha ampliado para abarcar a sectores de la sociedad que antes no demandaban dicha información. Además,

la forma en que los usuarios interactúan con los datos espaciales también ha evolucionado hasta llegar, en muchos casos a participar en procesos colaborativos (o *crowdsourcing*<sup>12</sup>) que los convierten al mismo tiempo en usuarios y productores de la información.

Durante los años 90, MacEachren desarrolló conceptos fundamentales de la geovisualización y los representó en el modelo conocido como el *Map Uses Cube* (MacEachren & Kraak 1997). En el cubo de MacEachren se definen cuatro usos u objetivos principales de la geovisualización (exploración, análisis, síntesis y presentación), que son caracterizados por tres dimensiones continuas: el grado de interacción con los mapas, el tipo de audiencia y la relación entre los datos (desde el descubrimiento de relaciones desconocidas y construcción del conocimiento, hasta la transmisión del conocimiento previamente adquirido) (figura 11).

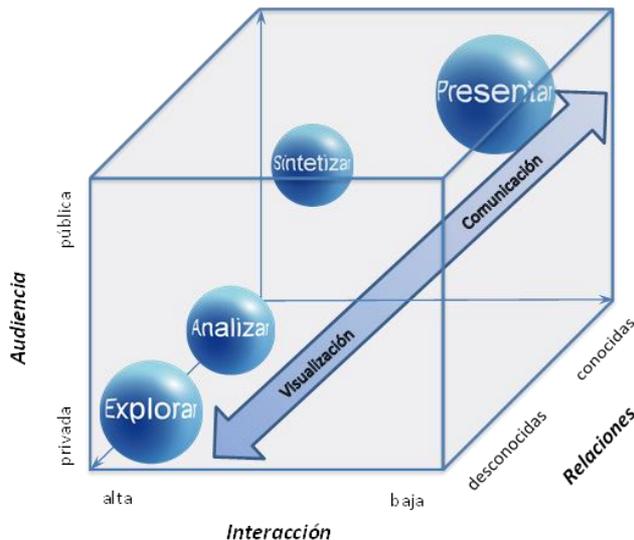


Fig. 11. El cubo de MacEachren. Fuente: Adaptado de MacEachren & Kraak 1997.

Son muchos los desafíos que se plantean en el campo de la geovisualización y

<sup>12</sup> <http://www.wired.com/2006/06/crowds/>

muy numerosas las líneas de investigación, como ya se planteó hace más de una década desde la Asociación Cartográfica Internacional (*ICA*, por sus siglas en inglés). La *ICA* lideró un importante esfuerzo para la creación de una agenda de investigación en la disciplina, asignando a diferentes equipos internacionales de expertos cada uno de los temas a abordar. Se plantearon numerosas cuestiones que se agruparon en cuatro grandes ejes: la representación, la integración de visualización y computación, el diseño de interfaces de geovisualización y los usuarios (MacEachren & Kraak 2001).

Este trabajo se centra en algunos aspectos fundamentales de la geovisualización. Estos aspectos están sobre todo relacionados con la representación de la información climática en la web y el diseño de sistemas web de geovisualización (Cartwright et al. 2001; Kramis et al. 2009; Roth et al. 2008) de datos climáticos, utilizando las estructuras y tecnologías de lo que se conoce como *web mapping* (Plewe 2007; Haklay et al. 2008; Neumann 2008). En las secciones que siguen se hará una descripción de conceptos, de la evolución, los componentes y tecnologías que forman la base de los sistemas de cartografía web.

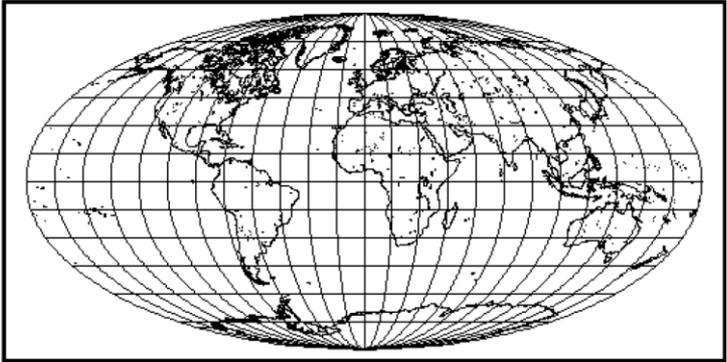
## **IV.2. *Web mapping* y cartografía web.**

Según Neumann, la expresión *web mapping* define el proceso que permite el diseño, implementación, generación y distribución de mapas a través de la *World Wide Web*, mientras que la cartografía web se ocupa de otros aspectos desde un enfoque teórico, como el uso de los mapas en la web, la evaluación y optimización de técnicas y flujos de trabajo, los aspectos sociales, etc. (Neumann 2008).

Prácticamente desde el nacimiento de la *World Wide Web* a principio de los años

90, se empezaron a producir los primeros mapas en la web. Putz publicó el *Interactive Map Viewer* en 1993 (Putz 1994), que permitía a los usuarios visualizar un mapa del mundo e interactuar con él mediante algunas herramientas básicas, que funcionaban a través de hiperenlaces. Las imágenes y los documentos *HTML* (*HyperText Markup Language*) eran generados de manera dinámica mediante un programa diseñado para tal fin en el servidor (figura 12). Un año después apareció el primer atlas en línea, el Atlas Nacional de Canadá (Neumann 2008).

**Map Viewer: world 0.00N 0.00E (1.0X)**



Select a point on the map to zoom in (by 2), or select an option below. Please read [About the Map Viewer](#), [FAQ](#) and [Details](#).

**Options:**

- Zoom In: [\(2\)](#), [\(5\)](#), [\(10\)](#), [\(25\)](#); Zoom Out: [\(1/2\)](#), [\(1/5\)](#), [\(1/10\)](#), [\(1/25\)](#)
- Features: [Default](#), [All](#); [+borders](#), [+rivers](#)
- Display: [color](#); Projection: [elliptical](#), [rectangular](#), [sinusoidal](#); [Narrow](#), [Square](#)
- Change Database to [USA only](#) ([more detail](#))
- [Hide Map Image](#), [No Zoom on Select](#), [Reset All Options](#)

Options can also be typed in as search keywords (e.g. "lon=-100", see [details](#)). Current region is 360.00 deg. wide by 180.00 deg. (12420.00 miles) high.

**Preset Coordinates:**

- [Globe](#), [USA](#), [Alaska](#), [Hawaii](#), [San Francisco Bay](#), [United Kingdom](#)

Fig. 12. Página del “Interactive Map Viewer” en su configuración por defecto. Los términos subrayados son hiperenlaces. Fuente: Putz 1994.

Desde entonces, el *web mapping* no ha cesado de crecer, si bien, como afirman Haklay *et al.*, no se han producido cambios significativos en la funcionalidad, sino en cómo las tecnologías emergentes han creado nuevas formas de enfocar la distribución de la información geográfica y, más importante aún, en el aumento de la usabilidad y de la facilidad en el desarrollo de aplicaciones (Haklay *et al.* 2008).

Plewe distingue cuatro generaciones de *web mapping* (Plewe 2007):

- La primera generación, basada en protocolos web simples, con interfaces *HTML* sencillas, mapas de pequeñas dimensiones, con interactividad muy limitada y poca funcionalidad.
- Una segunda generación que saca partido de tecnologías emergentes que aportan interactividad y funcionalidad, como el *HTML* dinámico (*HTML + Javascript + CSS*), *Java* o *ActiveX*.
- Una tercera generación, protagonizada por *Google Maps*, en la que se produce una mejora significativa de la experiencia del usuario, al incorporar dos nuevos desarrollos tecnológicos: por una parte, *AJAX* (*Asynchronous JavaScript And XML*), que resulta del aprovechamiento eficiente de tecnologías que ya existían y permite, entre otras cosas, realizar cambios en una página por parte del cliente sin tener que recargarla, mejorando la interactividad, velocidad y usabilidad de la aplicación; por otra parte, las *Web API* (*Application Programming Interface*), que aumentan la capacidad de conexión con múltiples funciones y recursos desde diversas fuentes (*Mashups*) y simplifican el desarrollo de aplicaciones web, permitiendo que personas sin conocimientos de programación puedan crear mapas en la web.
- La cuarta generación liderada por *Google Earth*, en la que la navegación se aproxima cada vez más a la realidad mediante la representación

tridimensional de la superficie terrestre con los *virtual globes*. Plewe destaca también la posibilidad de los usuarios de crear sus propios contenidos a través de *Google Earth*.

Haklay *et al.*, simplifican esta evolución en dos etapas de *web mapping*, paralelas a la propia evolución de la web: desde una primera *web 1.0* poco interactiva, en la que el usuario era un sujeto pasivo que consultaba la información, hasta una *web 2.0* en la que la interoperabilidad y las herramientas de colaboración colocan al usuario en un rol activo y participativo, transmisor y creador de conocimiento. Del mismo modo, el *web mapping* habría pasado por una primera etapa caracterizada por interfaces que ofrecían una reducida interacción con el usuario y una experiencia poco satisfactoria en términos de velocidad y funcionalidad. En esta primera etapa, la interacción entre el cliente y el servidor se implementaba a través de un programa que se ejecutaba en este último, conocido como *script CGI (Common Gateway Interface)*. Desde principios del siglo XXI, el desarrollo de un conjunto diverso de tecnologías va a propiciar un cambio significativo en la manera en que se accede y visualiza la información cartográfica en la web. Los autores destacan especialmente el incremento masivo en la capacidad de transmisión de datos, la aparición de los estándares geoespaciales del *Open Geospatial Consortium* (en adelante, *OGC*), la supresión de la degradación intencionada de la señal *GPS* por parte del gobierno estadounidense y el desarrollo de dos tecnologías como *AJAX* y las *web API*.

Desde que los autores previamente mencionados plantearan esta evolución, el *web mapping* ha seguido creciendo y hoy en día habría que señalar dos tecnologías que están teniendo cada vez mayor importancia: por una parte, la arquitectura *REST* (después de más de 10 años de su aparición) y su relación con los datos enlazados o *linked data* (Berners-Lee 2006; Groth & Gil 2011; Veenendaal *et al.* 2016) va adquiriendo creciente relevancia; por otra parte

destacan las capacidades que la última versión *HTML v5/JavaScript* aporta a los navegadores web (Boulos et al. 2010; Johansson 2010; Lienert et al. 2012; Ho 2013).

Una de las principales finalidades de las aplicaciones de *web mapping* es la de mostrar la información espacial de manera rápida y fácil a los usuarios, de manera que no necesiten poseer más capacidad que la de leer los mapas (Nebert 2004). Para conseguir esto es necesaria una estructura que va más allá de una simple página *HTML* servida por un servidor web. Esta estructura está formada por varios componentes necesarios, como un sistema que permita el almacenamiento y gestión de los datos, otro que facilite la comunicación con los usuarios y finalmente una interfaz que sirva al usuario para interactuar con el sistema. Las aplicaciones de cartografía interactiva en la web utilizan un modelo cliente-servidor en el que los recursos fluyen mediante un sistema de petición por parte de los clientes y respuesta de los servidores. Estas interacciones tienen lugar entre tres componentes básicos: el servidor de datos, el servidor de mapas y el usuario (figura 13). A continuación veremos con algo más de detalle estos componentes.

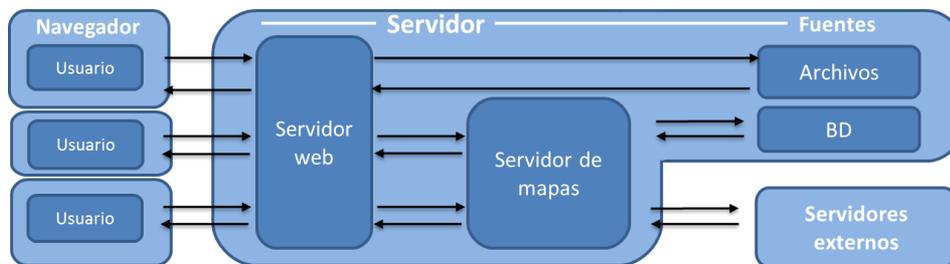


Fig. 13. Marco general de comunicación de un sistema de web mapping. Fuente: elaboración propia.

## IV.2.1. Los datos y su almacenamiento.

Las fuentes de datos que utiliza un servidor web en una aplicación de *web mapping* pueden clasificarse de varias formas. Según la ubicación de los datos originales que se utilizan para generar la visualización, es posible distinguir los datos que se encuentran en el sistema de aquellos que proceden de otros sistemas. Como se mencionó anteriormente, los servicios web y las *API* permiten la conexión con recursos externos al propio sistema para combinar los datos de muy diversas fuentes. Según la forma en que se generen los mapas en el momento de la petición por parte de un cliente, la información de la que se nutre un sistema de *web mapping* puede ser también de dos tipos. En un primer grupo se encuentra la información en forma de mapas que han sido previamente generados y se encuentran almacenados en algún formato *raster* en un servidor. Por otra parte están los mapas que se generan dinámicamente a partir de datos que se encuentran almacenados en algún tipo de formato vectorial. A la hora de servir grandes volúmenes de datos, la forma más utilizada hoy en día para organizar, tratar y consultar la información es mediante su almacenamiento en un Sistema Gestor de Bases de Datos Relacional (*RDBMS*, por sus siglas en inglés).

### IV.2.1.1. Mapas estáticos y mapas dinámicos.

Hablamos de mapas estáticos en el sentido de que están previamente generados y almacenados en el servidor, de manera que el cliente accede directamente a un recurso del servidor, sin que ninguna aplicación intermedia tenga que ocuparse de construir el mapa. Este es el procedimiento más tradicional dentro de los sistemas de cartografía interactiva en web. Con la aparición del teselado, popularizado por *Google Maps*, la transmisión de mapas estáticos adquirió una nueva dimensión. El teselado consiste en la

fragmentación del espacio en una serie de cuadrículas (teselas o *tiles*) y escalas predefinidas (niveles de zoom), y la posterior generación y almacenamiento en el servidor de todas las imágenes correspondientes. Esta estrategia permitió aumentar de manera significativa la velocidad de transmisión de las imágenes en los sistemas de *web mapping*, mejorando de esta forma la experiencia del usuario. Actualmente sigue utilizándose el teselado para la visualización de imágenes de satélite y todo tipo de mapas base.

Los mapas estáticos no son adecuados cuando lo que se quiere representar son datos que varían con frecuencia relativamente alta. Un ejemplo de alta variabilidad lo representan los datos climáticos, que varían a lo largo del tiempo. En este caso, resulta más adecuado abordar una aproximación dinámica. En los mapas dinámicos, las imágenes son generadas a demanda por el cliente. De esta manera, cuando un usuario se sitúa en una zona del mapa, el servidor genera una imagen correspondiente a dicha zona con los parámetros previamente configurados para la variable que se solicite. Esta forma de transmisión de la información resulta mucho más versátil que los mapas estáticos, porque permite proporcionar al usuario la posibilidad de variar diferentes parámetros de la visualización. Al mismo tiempo, este dinamismo se traduce en una mayor demora en la transmisión de la imagen con respecto al teselado. Los mapas dinámicos pueden generarse a partir de datos almacenados en el servidor bajo diferentes formatos generalmente vectoriales y sobre todo, a partir de datos almacenados en un Sistema Gestor de Bases de Datos.

#### IV.2.1.2. Sistemas Gestores de Bases de Datos Relacionales.

Los *RDBMS* son sistemas gestores de bases de datos que se basan en el modelo relacional descrito por E. F. Codd hace más de treinta años (Codd

1969, 1970). Posteriormente, Peter Chen propuso el modelo entidad-relación como una forma de unificar las propuestas de modelos lógicos de datos existentes (Chen 1976).

Una base de datos relacional es un conjunto finito de relaciones (tablas) organizadas en tuplas (filas) y atributos (columnas). Estas relaciones se establecen mediante un campo en común, llamado generalmente id, identificador o clave. El modelo relacional es, desde hace ya varias décadas, el paradigma de la mayoría sistemas de información computacionales para el almacenamiento y gestión de datos. Su éxito se basa en algunas características:

- Eliminación de redundancias. Ya que todos los datos relativos a una entidad se almacenan en la misma ubicación, y son enlazados con otros datos mediante claves, no es necesario almacenarlos de nuevo en otro lugar. Esto también evita inconsistencias en los datos, pues sólo es necesario actualizarlos o modificarlos una vez.
- El modelo relacional garantiza independencia física de la base de datos, es decir, que el usuario no necesita conocer la estructura interna de la misma, percibiéndola como una estructura lógica de entidades, tablas e interrelaciones entre los registros de las mismas. Esta estructura es simple y uniforme a los ojos del usuario.
- El modelo garantiza la independencia lógica, ya que permite que varios usuarios puedan verla de maneras diferentes. Esto le confiere una gran flexibilidad y versatilidad y se consigue mediante la definición de vistas.
- Una base de datos relacional es fácilmente extensible mediante la creación de nuevas vistas.

Un *RDBMS* espacial o geográfico es capaz de almacenar también datos espaciales en dos o tres dimensiones. Además, este tipo de sistemas incorpora un conjunto de funciones y operadores para realizar consultas de índole

espacial. Estas consultas pueden referirse a objetos individuales (la longitud de un segmento, el área de un polígono) o a complejas relaciones establecidas entre varios objetos espaciales.

Los sistemas de gestión de bases de datos se han adaptado rápidamente a la necesidad de gestionar la información espacial, y la lista de *RDBMS* espaciales es muy extensa. Destacan por su implantación tres soluciones comerciales como *Oracle*, *IBM DB2* y *Microsoft SQL Server*, y dos en el campo del software libre, como *PostgreSQL* y *MySQL*.

Una herramienta fundamental en los *RDBMS* la constituye el lenguaje *SQL* (*Structured Query Language*). El lenguaje *SQL*, con ligeras variantes dependiendo del sistema gestor de bases de datos que lo utilice es, desde 1986, un estándar (*ANSI-SQL*) para el acceso y manipulación de bases de datos relacionales. Se trata de un lenguaje declarativo de alto nivel. Un lenguaje de alto nivel es aquel que tiene una sintaxis cercana a la del lenguaje humano, lo que lo hace más sencillo de entender. Es también declarativo en el sentido en que especifica el qué y no el cómo. Esta característica es importante porque determina que no exista un orden explícito de ejecución en una sentencia *SQL*. Este hecho puede repercutir gravemente en la eficiencia del sistema, por lo que se hace necesario optimizarlo previamente con, por ejemplo, la construcción de índices que aceleren la ejecución de determinadas consultas. Esto es especialmente importante cuando el *RDBMS* contiene grandes volúmenes de datos.

Mediante *SQL* es posible realizar un gran número de operaciones, como ejecutar consultas complejas o la creación, eliminación y actualización de registros o tablas.

## IV.2.2. Difusión de la información. Servidores y servicios.

La difusión de la información en la web es posible gracias a la comunicación que se establece entre datos y usuarios basada en la arquitectura cliente-servidor. Esta arquitectura de red define dos tipos de entidades diferenciadas (asimétricas) que se responsabilizan de acciones diferentes<sup>13</sup>.

El modelo de interacción de la arquitectura cliente-servidor está basado en el concepto de servicio implementado sobre un diálogo petición-respuesta. El cliente es la parte activa, porque es la que se encarga de hacer las peticiones, mientras que el servidor se mantiene a la espera de dichas peticiones. Un servicio web puede definirse, de manera genérica, como un sistema de software que permite la comunicación entre máquinas a través de la web. El principio de los servicios web está en la desagregación de la funcionalidad de grandes aplicaciones en partes funcionales más pequeñas. Para favorecer la interoperabilidad, las comunicaciones se realizan por medio de estándares (*HTTP*, *XML*, etc.). Esto permite una interacción fluida entre diferentes lenguajes y/o sistemas operativos.

Cliente y servidor se comunican por medio de diferentes protocolos que actúan a varios niveles: al nivel más bajo se encuentran los protocolos de transmisión y recepción de datos, como el protocolo *TCP/IP*, y a nivel más alto, los conocidos como protocolos de aplicación, de los que hay muchos tipos y entre los más utilizados están *HTTP*, *FTP*, *SMTP*, *POP3* o *SOAP*. Entre estos destaca el *HTTP* (*Hypertext Transfer Protocol*) porque representa el pilar fundamental de las comunicaciones en la web. Una característica muy

---

<sup>13</sup> Existen otros tipos de arquitecturas de red, como por ejemplo *peer to peer*, en las que la relación entre las entidades es simétrica.

importante del *HTTP*, que ha determinado la evolución de las tecnologías web, es que es un protocolo sin estado, es decir, no guarda ninguna información sobre conexiones anteriores. Esta es la razón principal por la que, tradicionalmente, la implementación de sitios web altamente interactivos ha resultado complicada. Para superar este inconveniente han surgido tecnologías como *Javascript*, *Java*, *ActiveX* o las *cookies*. Generalmente, la respuesta de un servidor es enviada al cliente bajo la forma de un documento en lenguaje *HTML*, que define la estructura de la página.

En los sistemas de cartografía interactiva en la web, entre los datos almacenados en un servidor y el usuario, se encuentra el componente que se encarga de responder a las peticiones de los últimos y les devuelve un mapa o los datos almacenados en forma de un archivo, o bien solicita la ejecución de una serie de instrucciones que dan como resultado también un archivo en algún formato determinado. Este componente es el servidor web.

Dentro del servidor web, los servidores de aplicaciones son los encargados de ejecutar los procesos que generan recursos solicitados que no se encontraban almacenados previamente en el servidor.

#### IV.2.2.1. Servidores web y servidores de aplicaciones.

En un sistema de *web mapping*, el servidor web es un programa que se ocupa de recibir la petición de un cliente y devolver una respuesta mediante *HTTP*. Esta respuesta suele tener la forma de un documento *HTML*. Si la petición es de un recurso estático (por ejemplo, la imagen de un mapa), el servidor simplemente lo busca y devuelve al cliente (figura 14). Si se trata de un recurso dinámico, el servidor web delega la tarea en un programa, conocido como servidor de aplicaciones, capaz de manejar la petición.

Entre los servidores web, destacan dos por ser de código abierto y por su alto

grado de implantación: el servidor *HTTP Apache* y el servidor *Nginx*. Según un estudio de *Netcraft's Web Server Survey*, en abril de 2016, ambos son, con diferencia, los dos servidores web más usados en dominios activos en el mundo<sup>14</sup>. El servidor *Nginx* es relativamente reciente y ha experimentado un crecimiento constante desde su lanzamiento. Debe su éxito a su alta capacidad para responder a peticiones concurrentes y a su bajo uso de memoria en comparación con otros servidores web<sup>15</sup>.

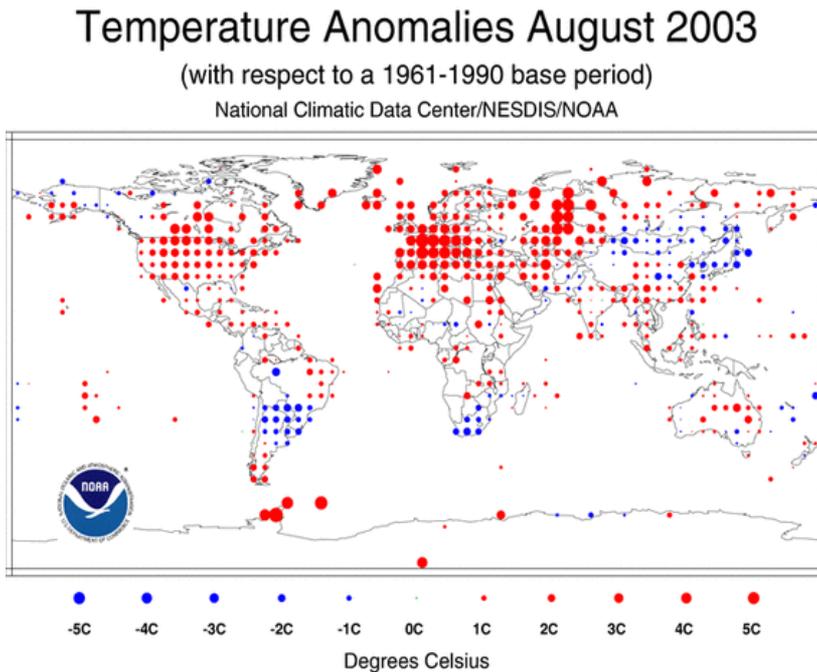


Fig. 14. Ejemplo de recurso estático. Mapa global de anomalías térmicas del mes de agosto de 2003 con respecto al periodo normal 1961-1990. Fuente: NCDC/NESDIS/NOAA.

El servidor de aplicaciones especializado en servir información geoespacial es el servidor de mapas o servidor cartográfico. Cuando el cliente solicita un recurso dinámico, como puede ser un mapa de una fecha determinada, el servidor web transmite la petición al servidor cartográfico, que se encarga de

<sup>14</sup> <http://news.netcraft.com/archives/2016/04/21/april-2016-web-server-survey.html>

<sup>15</sup> [http://wiki.dreamhost.com/Web\\_Server\\_Performance\\_Comparison](http://wiki.dreamhost.com/Web_Server_Performance_Comparison)

generar un mapa con los parámetros especificados por el cliente (figura 15). Estos parámetros pueden ser la fecha, la variable a cartografiar, la extensión geográfica, la proyección cartográfica, etc. Si el cliente no especifica todos los parámetros necesarios para la generación del mapa, el servidor cartográfico aplicará los que tiene definidos por defecto.

La comunicación entre el cliente, el servidor web y el servidor de mapas se ha solucionado mediante dos tecnologías diferentes implementadas en el lado del servidor. La primera en aparecer fue la tecnología *CGI*. Como alternativa al *CGI*, se inició a finales de los noventa la utilización de los *Java Servlets*, que eran más eficientes y utilizaban menos recursos del servidor. Los servidores cartográficos más ampliamente utilizados se sirven de estas tecnologías: *Mapserver*<sup>16</sup> usa *CGI* y *Geoserver*<sup>17</sup>, *Java Servlet*.

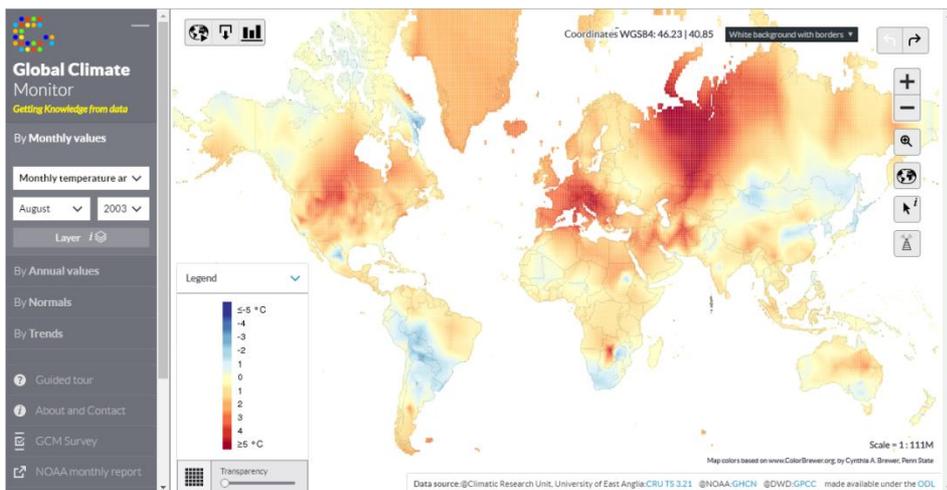


Fig. 15. Ejemplo de recurso dinámico. Mapa global de anomalías térmicas del mes de agosto de 2003 con respecto al periodo normal 1961-1990. Fuente: Globalclimatemonitor.org.

<sup>16</sup> <http://mapserver.org/>

<sup>17</sup> <http://geoserver.org/>

Durante un tiempo, los diferentes proveedores de información espacial a través de sistemas de *web mapping* desarrollaron sus propias tecnologías para distribuir los mapas por la web. La problemática que planteaba la heterogeneidad de servicios cartográficos condujo al desarrollo de los estándares geospaciales para conseguir la interoperabilidad entre los diversos sistemas. Entre otros, se han desarrollado determinados estándares de servicios web para la distribución de la información espacial en sus diversas formas.

#### IV.2.2.2. Interoperabilidad y estándares OGC.

El *Open Geospatial Consortium (OGC)* es una organización sin ánimo de lucro que agrupa (en marzo de 2016) a más de 500 entidades públicas y privadas (empresas, agencias gubernamentales, universidades) cuyo objetivo general es el de facilitar los procesos de consenso para resolver los problemas relacionados con la creación, comunicación y uso de la información espacial. Una de las tareas a las que más tiempo y trabajo ha dedicado la *OGC* es la definición y desarrollo de estándares geográficos con el fin de conseguir la interoperabilidad de la información espacial en la web. Según la *OGC*, la “interoperabilidad es la capacidad de comunicar, ejecutar programas o transferir datos entre varias unidades funcionales de manera que se requiera del usuario muy poco o ningún conocimiento de las características particulares de dichas unidades” (Open Geospatial Consortium 2002, figura 16).

Basándose en esta definición, la *OGC* define igualmente la interoperabilidad geográfica como la habilidad de los sistemas de información para intercambiar libremente todo tipo de información espacial sobre la Tierra y para ejecutar programas de manera cooperativa para manipular dicha información.

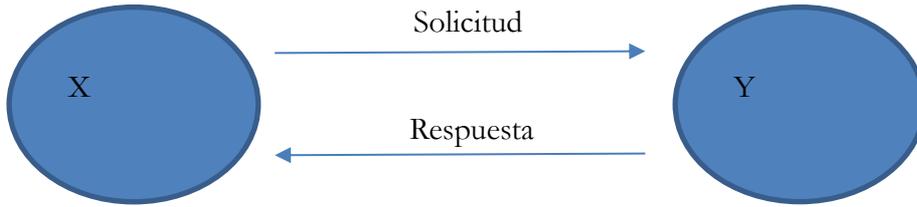


Fig. 16. Interoperabilidad entre dos unidades funcionales. Los dos componentes son interoperables cuando X puede enviar solicitudes de servicios a Y, basándose en un entendimiento mutuo de la solicitud por parte de X e Y, y si Y puede devolver de la misma forma su respuesta a X. Fuente: Percivall 2002.

La definición de estándar de la *OGC* es la siguiente: “Un documento, establecido por consenso y aprobado por los miembros de la *OGC*, que proporciona reglas y directrices a seguir con el fin de alcanzar el grado óptimo de interoperabilidad en un contexto dado” (Reed 2013).

La *OGC* ha desarrollado una arquitectura orientada a servicios (Open Geospatial Consortium 2005b) y toda una batería de estándares de servicios web geospaciales, bajo el nombre de *OGC Web Services (OWS)*, de los que destacaremos dos grupos:

- Los servicios web orientados a la visualización, como *WMS*, *WMTS*.
- Los servicios web orientados a los datos, como *WFS* y *WCS*.

A continuación describiremos, por su relevancia en el contexto de este trabajo, los estándares para la distribución de mapas geo-referenciados (*WMS*), de teselado (*WMTS*) y de entidades geográficas (*WFS*).

#### *IV.2.2.2.1. Web Map Service.*

Un servicio *Web Map Service (WMS)*, (Open Geospatial Consortium 2006) es un servicio web que define un protocolo estándar para servir mapas geo-

referenciados a través de la web<sup>18</sup>.

Una petición de un mapa *WMS* define una o más capas geográficas (*layers*) y un ámbito espacial (*bounding box*) y la envía al servidor. Éste responde devolviendo uno o más mapas georeferenciados del ámbito solicitado en un formato de imagen (*JPG*, *PNG*, *TIFF*, etc.) que puede ser mostrada en cualquier navegador web. Un servicio *WMS* no sirve el dato geográfico en sí mismo, sino que compone, a partir de los datos, un mapa (con una simbología predefinida) y lo sirve en un formato de imagen. El estándar *WMS* define tres operaciones:

- a) Solicitud de los metadatos del servicio (*GetCapabilities*, tabla 12). Esta petición devuelve un archivo *XML* en el que se describe el servicio (Capas que sirve, sistema de referencia de coordenadas (*CRS*), si es interrogable o no, extensión de las capas).
- b) Solicitud de un mapa determinado para una extensión definida (*GetMap*, tabla 13). El cliente debe definir toda una serie de parámetros (raíz del servicio, capas, *CRS*, extensión, estilo, etc.) para poder obtener el mapa.
- c) Solicitud de información (*GetFeatureInfo*, tabla 14) sobre entidades de una capa del servicio. Esta información se extrae directamente de los atributos asociados a la geometría original.

| Request parameter       | Mandatory/optional | Description                                 |
|-------------------------|--------------------|---|
| VERSION=version         | O                  | Request version                             |
| SERVICE=WMS             | M                  | Service type                                |
| REQUEST=GetCapabilities | M                  | Request name                                |
| FORMAT=MIME_type        | O                  | Output format of service metadata           |
| UPDATESEQUENCE=string   | O                  | Sequence number or string for cache control |

Tabla. 12. Los parámetros (requeridos u opcionales) de la operación *GetCapabilities* de un servicio *WMS*. Fuente: Open Geospatial Consortium 2006.

<sup>18</sup> [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=14416](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=14416)

| Request parameter           | Mandatory/optional | Description  |
|-----------------------------|--------------------|--|
| VERSION=1.3.0               | M                  | Request version.   |
| REQUEST=GetMap              | M                  | Request name.  |
| LAYERS=layer_list           | M                  | Comma-separated list of one or more map layers.                                      |
| STYLES=style_list           | M                  | Comma-separated list of one rendering style per requested layer.                     |
| CRS=namespace:identifier    | M                  | Coordinate reference system.   |
| BBOX=minx,miny,maxx,maxy    | M                  | Bounding box corners (lower left, upper right) in CRS units.                         |
| WIDTH=output_width          | M                  | Width in pixels of map picture.  |
| HEIGHT=output_height        | M                  | Height in pixels of map picture.   |
| FORMAT=output_format        | M                  | Output format of map.  |
| TRANSPARENT=TRUE FALSE      | O                  | Background transparency of map (default=FALSE).                                      |
| BGCOLOR=color_value         | O                  | Hexadecimal red-green-blue colour value for the background color (default=0xFFFFFF). |
| EXCEPTIONS=exception_format | O                  | The format in which exceptions are to be reported by the WMS (default=XML).          |
| TIME=time                   | O                  | Time value of layer desired.   |
| ELEVATION=elevation         | O                  | Elevation of layer desired.  |
| Other sample dimension(s)   | O                  | Value of other dimensions as appropriate.  |

Tabla. 13. Los parámetros (requeridos u opcionales) de la operación GetMap de un servicio WMS. Fuente: Open Geospatial Consortium 2006.

| Request parameter           | Mandatory/optional | Description   |
|-----------------------------|--------------------|---|
| VERSION=1.3.0               | M                  | Request version.  |
| REQUEST=GetFeatureInfo      | M                  | Request name.   |
| map request part            | M                  | Partial copy of the Map request parameters that generated the map for which information is desired. |
| QUERY_LAYERS=layer_list     | M                  | Comma-separated list of one or more layers to be queried.   |
| INFO_FORMAT=output_format   | M                  | Return format of feature information (MIME type).   |
| FEATURE_COUNT=number        | O                  | Number of features about which to return information (default=1).                                   |
| I=pixel_column              | M                  | <i>i</i> coordinate in pixels of feature in Map CS.   |
| J=pixel_row                 | M                  | <i>j</i> coordinate in pixels of feature in Map CS.   |
| EXCEPTIONS=exception_format | O                  | The format in which exceptions are to be reported by the WMS (default= XML).                        |

Tabla. 14. Los parámetros (requeridos u opcionales) de la operación GetFeatureInfo de un servicio WMS. Fuente: Open Geospatial Consortium 2006.

La posibilidad de efectuar estas operaciones tiene que existir para que se cumpla el estándar, pero no impide que puedan realizarse otras, como

*GetLegendGraphics*, mediante la cual se obtiene la leyenda de una capa. Todas las operaciones *WMS* pueden invocarse desde un navegador web a través de una dirección *URL*. Esta dirección se construye de una manera u otra dependiendo de la petición que desee realizarse.

#### *IV.2.2.2.2. Web Map Tile Service.*

Un servicio *Web Map Tile Service* (*WMTS*, Open Geospatial Consortium 2010) es un servicio web que define un protocolo estándar para servir mapas a través de la web en forma de teselas geo-referenciadas<sup>19</sup>. Los servicios de teselas han sido desarrollados para aumentar el rendimiento de los servicios de mapas mediante la previa generación y almacenamiento de los mapas en el servidor. Una vez generada la información, el servidor únicamente debe enviarla al cliente que la solicita, por lo que el tiempo de respuesta a las peticiones se reduce de forma drástica.

Como las teselas deben generarse de antemano, este servicio se encuentra con dos inconvenientes: la escala y el sistema de referencia de coordenadas. Ya que no es factible generar teselas a todas las escalas y en todos los *CRS* posibles, la solución del servicio *WMTS* consiste en la selección de un número limitado de escalas y *CRS*. Para las escalas se han definido una serie de niveles de zoom, de manera que el usuario va dando saltos de una escala a otra en lugar de usar una escala continua. Para cada nivel de zoom, se define una matriz de teselas (ver figura 17).

---

<sup>19</sup> [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=35326](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=35326)

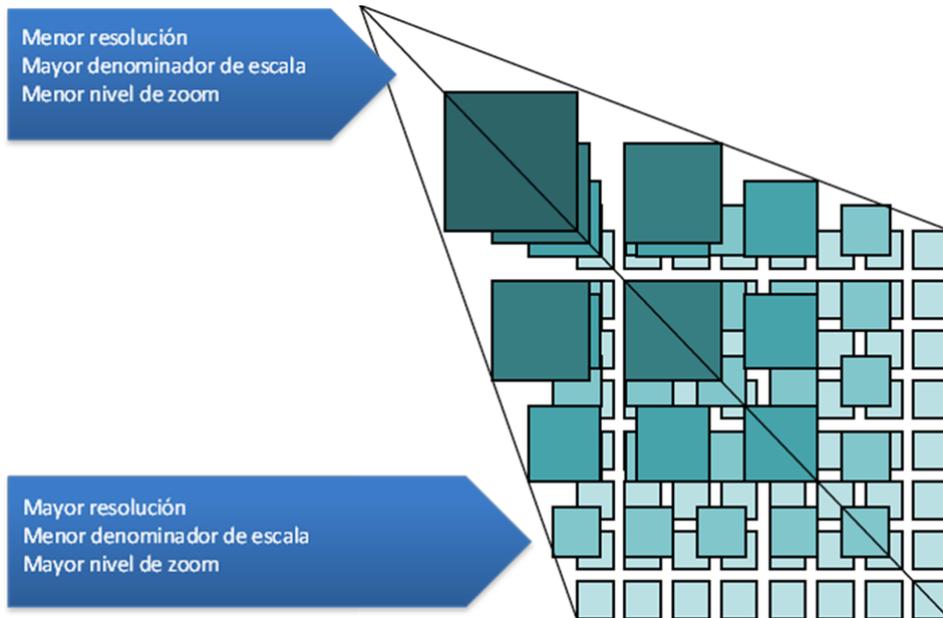


Fig. 17. Esquema de teselado con cinco niveles de zoom. Fuente: Adaptado de Open Geospatial Consortium 2010.

El *CRS* depende de los datos, aunque siempre se suelen servir las teselas al menos en dos proyecciones: la proyección cilíndrica equidistante, equi-rectangular o *plate carrée*, con código *EPSG* 4326 (mal conocida como *WGS84* o geográfica) y en la proyección usada por los servicios cartográficos de Google, que es una variante de la Mercator, con código 3857 (o el antiguo 900913).

El estándar *WMTS* define también tres operaciones: *GetCapabilities*, *GetFeatureInfo* y la operación *GetTile*, que permite al cliente solicitar una tesela determinada, cuyos parámetros se muestran en la tabla 15.

| Names  | Definition                         | Data type and values   | Multiplicity and use   |
|--|------------------------------------|--|------------------------|
| service<br>Service                                 | Service type identifier            | Character String type, not empty<br>SHALL be "WMTS"  | One (mandatory)        |
| request<br>Request                                 | Operation name                     | Character String type, not empty<br>SHALL be "GetTile"   | One (mandatory)        |
| version<br>Version                                 | Standard version for operation     | Character String type, not empty<br>SHALL contain "1.0.0"  | One (mandatory)        |
| layer<br>Layer                                     | Layer identifier                   | Character String type, not empty<br>identifier that is defined in the<br>ServiceMetadata document                                    | One (mandatory)        |
| style<br>Style                                     | Style identifier                   | Character String type, not empty<br>identifier that is defined in the<br>ServiceMetadata document                                    | One (mandatory)        |
| format<br>Format                                   | Output format of the tile          | Character String type, not empty<br>value that is defined in the<br>ServiceMetadata document   | One (mandatory)        |
| <i>Other<br/>sample<br/>dimensions<sup>a</sup></i> | Value allowed for this dimension   | Character String type, not empty<br>a single value from a list or a range<br>defined in the ServiceMetadata<br>document              | Zero or one (optional) |
| tileMatrix<br>Set<br>TileMatrix<br>Set             | TileMatrixSet identifier           | Character String type, not empty<br>identifier that is defined in the<br>ServiceMetadata document                                    | One (mandatory)        |
| tileMatrix<br>TileMatrix                           | TileMatrix identifier <sup>b</sup> | Character String type, not empty<br>value that is defined in the<br>ServiceMetadata document   | One (mandatory)        |
| tileRow<br>TileRow                                 | Row index of tile matrix           | Non negative integer type<br>value between 0 and<br>MatrixHeight-1 of this tile matrix<br>defined in the ServiceMetadata<br>document | One (mandatory)        |
| tileCol<br>TileCol                                 | Column index of tile matrix        | Non negative integer type<br>value between 0 and MatrixWidth-<br>1 of this tile matrix defined in the<br>ServiceMetadata document    | One (mandatory)        |

Tabla. 15. Los parámetros (requeridos u opcionales) de la operación GetTile de un servicio WMTS. Fuente: Open Geospatial Consortium, 2010.

#### IV.2.2.2.3. Web Feature Service.

Un servicio Web Feature Service (WFS, Open Geospatial Consortium 2005a) es un servicio web que define un protocolo estándar para la consulta, descarga y/o edición de entidades geográficas a través de la web<sup>20</sup>. El servicio WFS

<sup>20</sup> [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=8339](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=8339)

devuelve la información requerida en “bruto” (geometría y atributos de la información espacial), en forma de archivo de la familia XML. A diferencia del WMS, este servicio no proporciona simbología para las entidades geográficas. En principio, el servicio WFS siempre devuelve la información íntegra de la capa (sin embargo, como veremos más adelante, pueden utilizarse parámetros no estándares para hacer filtros espaciales y por atributos). Como una capa vectorial puede contener muchas entidades, la comunicación puede demorarse mucho, dependiendo de la velocidad de conexión. La ventaja es que, una vez descargada la información en el cliente, se obtiene control total sobre los datos, pudiendo aplicar simbologías personalizadas y editar libremente la geometría y atributos asociados.

Un servicio *WFS* soporta cinco operaciones, que se muestran en la tabla 16.

| Operación                  | Descripción  |
|----------------------------|--|
| <b>GetCapabilities</b>     | Genera un documento de metadatos que describe el servicio WFS.   |
| <b>DescribeFeatureType</b> | Devuelve la descripción de las entidades servidas por un servicio WFS.   |
| <b>GetFeature</b>          | Devuelve una selección de entidades de una fuente de datos servida a través del servicio WFS incluyendo geometría y atributos. |
| <b>LockFeature</b>         | Evita la edición de una entidad de manera permanente.  |
| <b>Transaction</b>         | Permite la creación, actualización o eliminación de entidades.   |

Tabla. 16. Operaciones de un servicio WFS. Fuente: Open Geospatial Consortium 2005.

Los parámetros de las operaciones *DescribeFeatureType* y *GetFeature* se muestran en la tabla 17.

| Parámetro       | Descripción   |
|-----------------|---|
| <b>service</b>  | Nombre del servicio - WFS   |
| <b>version</b>  | Versión del servicio  |
| <b>request</b>  | Nombre de la operación - DescribeFeatureLayer                                       |
| <b>typeName</b> | Nombre de la entidad (featuretype) a describir (typeName para WFS 1.1.0 y anterior) |

Tabla. 17. Parámetros de las operaciones *DescribeFeatureType* y *GetFeature* de un servicio WFS. Fuente: Open Geospatial Consortium 2005.

#### IV.2.2.2.4. Otros estándares del OGC.

Además de los estándares que acabamos de describir, la OGC ha desarrollado y está trabajando en el diseño de otros muchos dedicados a diferentes aspectos relacionados con la cartografía en web<sup>21</sup>, de los que podemos destacar los siguientes:

Web Coverage Service (*WCS*, Open Geospatial Consortium 2012). Se trata de un servicio orientado a datos que permite el acceso a coberturas espaciales de tipo raster, como imágenes de satélite, radar, fotografías aéreas, modelos digitales del terreno y cualquier otro fenómeno geográfico representado mediante el modelo raster.

---

<sup>21</sup> Puede consultarse la lista completa en la dirección:  
<http://www.opengeospatial.org/standards/>

Web Processing Service (*WPS*, Open Geospatial Consortium 2007). Son servicios dedicados a proporcionar las reglas para un acceso estándar a herramientas de procesamiento espacial a través de la web. Estas herramientas comprenden todo tipo de operaciones sobre datos vectoriales o raster, desde los algoritmos más simples a modelos complejos de procesamiento espacial.

*Catalog Service for the Web (CSW)*. Se trata de un servicio estándar para la publicación y consulta de metadatos sobre datos espaciales en la web en formato estándar *XML*. *CSW* es uno de los componentes (perfil) del *OGC Catalog Service* (Open Geospatial Consortium 2007a).

*Styled Layer Descriptor (SLD)*, Open Geospatial Consortium 2007a). *SLD* es un lenguaje estándar basado en *XML* que permite definir el aspecto visual de una capa solicitada a través de un servicio web cartográfico.

*Geographic Markup Language (GML)*, Open Geospatial Consortium 2007b). También es un lenguaje basado en *XML* que sirve para modelar, describir y transferir entidades geográficas. Los servicios *WFS* sirven los datos codificados en *GML*.

*Keyhole Markup Language (KML)*, Open Geospatial Consortium 2015). *KML* es otro lenguaje de marcas basado en *XML* que fue desarrollado por *Google* para su aplicación *Google Earth*, y que en 2008 se aceptó como un estándar del *OGC*. Aunque tiene muchos puntos en común con *GML*, éste es más un lenguaje para el modelado, mientras que *KML* está orientado a la visualización de los objetos geográficos.

*Well Known Text Coordinate Reference Sysytem (WKT CRS)*, Open Geospatial Consortium 2015a). *WKT* es una sintaxis en formato *ASCII* diseñada para describir objetos espaciales en forma vectorial. Muchos sistemas gestores de bases de datos que poseen motores espaciales, como *PostgreSQL/PostGIS*

utilizan *WKT* para almacenar los objetos espaciales. El formato *WKT* es fácilmente entendible tanto por máquinas como por humanos, y se utiliza igualmente como estándar para representar los Sistemas de Referencia de Coordenadas (o *CRS*, por sus siglas en inglés) de las capas espaciales.

### IV.2.3. Presentación de la información.

El tercer componente de un sistema de *web mapping* es el que se encarga de la interacción con el cliente, y se conoce como capa de presentación, interfaz gráfica o *front-end*. Es el componente que presenta el sistema al usuario, le comunica la información y captura los datos del mismo para generar la interacción.

Según cómo se lleve a cabo el balanceo de carga de computación o procesamiento en las tareas de *web mapping*, se distinguen dos tipos de clientes, los clientes pesados y los clientes ligeros.

#### IV.2.3.1. Clientes Pesados.

En la arquitectura cliente-servidor, se habla de cliente pesado (también conocidos en inglés como *thick clients* o *fat clients*) cuando este asume la mayor parte de las tareas de procesamiento en el sistema. Los clientes pesados necesitan de la instalación, en la máquina cliente, de la aplicación que va a soportar la interacción con el usuario. Todos los programas SIG de escritorio actuales disponen de herramientas para la visualización o descarga de datos mediante servicios web estándares del *OGC*. También incluimos dentro de esta categoría de clientes a aquellos que constituyen una solución intermedia entre los pesados y los ligeros. Este tipo de clientes utilizan un navegador web como interfaz de comunicación con el usuario, pero necesitan la instalación de

pequeños programas adicionales para funcionar, conocidos como *plugins*. La principal ventaja de los clientes pesados es su capacidad para aprovechar los recursos de la máquina cliente, lo que permite la creación de interfaces muy complejas y completas para la visualización y el procesamiento espacial. Sin embargo, presentan algunos inconvenientes importantes relacionados con la distribución del software, la actualización y la compatibilidad, ya que son dependientes del *software* y *hardware* de la máquina en la que se instalan. También resultan más difíciles de implementar, ya que su programación resulta generalmente mucho más compleja que la de los clientes ligeros.

#### IV.2.3.2. Clientes ligeros.

Los clientes ligeros (*thin clients*) son aquellos en los que la carga principal de procesamiento recae sobre el servidor. Aunque existen varios tipos de clientes ligeros, nos referiremos únicamente aquí a los clientes que utilizan un navegador web como interfaz de comunicación entre el usuario y el servidor. Básicamente, las tareas de estos clientes son las de mostrar la información en pantalla y enviar al servidor los datos introducidos por el cliente. Durante las primeras etapas de la evolución de la cartografía interactiva en la web, uno de los inconvenientes principales de los clientes ligeros ha sido la ineficiente interacción cliente-servidor y las limitadas capacidades de exploración, manipulación y procesamiento de los datos. Con el desarrollo de las tecnologías mencionadas anteriormente, como las *API* o *AJAX*, el aumento de la capacidad de transmisión de datos a través de la red o la progresiva estandarización de los servicios web geoespaciales, la tendencia en el *web mapping* se ha dirigido hacia una generalización de los clientes ligeros enriquecidos con las múltiples posibilidades ofrecidas por dichas tecnologías.

El desarrollo de aplicaciones de *web mapping* se fundamenta, al igual que la

mayoría de las aplicaciones web actuales, en la utilización de tres lenguajes estándares especializados en tres aspectos concretos del desarrollo web: *HTML*, *CSS* y *Javascript*.

El lenguaje *HTML* (*HyperText Markup Language*) es el lenguaje de marcado que define la estructura y contenidos de una página web. Este lenguaje fue creado por Tim Berners Lee en 1991<sup>22</sup>, y desde entonces ha evolucionado hasta la versión *HTML v5* actual. Este lenguaje se basa en insertar únicamente el texto de forma directa en una página, mientras que el resto de elementos son insertados mediante una referencia a su ubicación. El *HTML* utiliza etiquetas o marcas para definir los distintos elementos de la página y algunas de sus propiedades. Entre los elementos que se definen con *HTML* están, por ejemplo, las tablas, los encabezados, los formularios, las listas, los contenedores, el texto, la ubicación de las imágenes o los enlaces.

Para definir la apariencia de los elementos de una página web se utiliza el lenguaje de estilos en cascada conocido como *CSS* (*cascading style sheets*). El *CSS* se basa en la separación de la estructura web y su apariencia, lo que reduce drásticamente el trabajo de diseño, ya que los estilos son reutilizables por diferentes páginas y elementos.

El lenguaje *Javascript* es el que se utiliza para introducir la interactividad y el comportamiento de los elementos de una página. A diferencia de los anteriores, este es un lenguaje de programación, y su uso se ha extendido hasta llegar a ser uno de los lenguajes de programación web más populares. Como se ha comentado anteriormente, durante la última década, el lenguaje *Javascript* en combinación con un conjunto de tecnologías web, conocidas bajo el acrónimo de *AJAX*, ha facilitado la multiplicación de herramientas del lado del cliente

---

<sup>22</sup> <http://lists.w3.org/Archives/Public/www-talk/1991SepOct/0003.html>

para la implementación de sistemas de cartografía interactiva en la web. Conocidas como librerías o *API javascript*, existe actualmente una amplia colección de estas herramientas dedicadas a todo tipo de fines. Entre las librerías de *web mapping*, destacan dos de código abierto: *Openlayers*<sup>23</sup>, por su amplia implantación y madurez, su extensa documentación y funcionalidades, y *Leaflet*<sup>24</sup>, por su sencillez, ligereza, soporte móvil y rendimiento. Además existen numerosas *API* dedicadas a otras tareas que pueden servir para enriquecer en gran medida las aplicaciones de cartografía interactiva, como por ejemplo las que permiten inestiar gráficos dinámicos<sup>25</sup> u otras librerías como la popular *jQuery*, optimizadas para realizar funciones frecuentes de interacción con los documentos HTML.

### **IV.3. Sistemas de cartografía web climática actuales.**

Son muchos los sistemas de *web mapping* diseñados para la visualización y descarga de variables e indicadores climáticos. Este epígrafe hace una revisión de los principales sistemas de cartografía web dedicados específicamente a la información climática global. La revisión se centra únicamente en los sistemas que permitan un acceso fácil y cómodo a un número mayor de potenciales usuarios de la información climática (clientes ligeros o visores web geospaciales) y en particular a aquellos que incorporan datos sobre las variables fundamentales del clima procedentes de observaciones o de modelos, tanto del pasado como del futuro. Se destacan los siguientes:

---

<sup>23</sup> <http://openlayers.org/>

<sup>24</sup> <http://leafletjs.com/>

<sup>25</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_JavaScript\\_charting\\_frameworks](https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_JavaScript_charting_frameworks)

La herramienta de visualización del *IPCC*<sup>26</sup>. Se trata de un visor web basado en *Openlayers 2*, de alcance general, que muestra la climatología normal de 30 años o de 10 años del conjunto de datos *CRU TS 2.1* (figura 18).

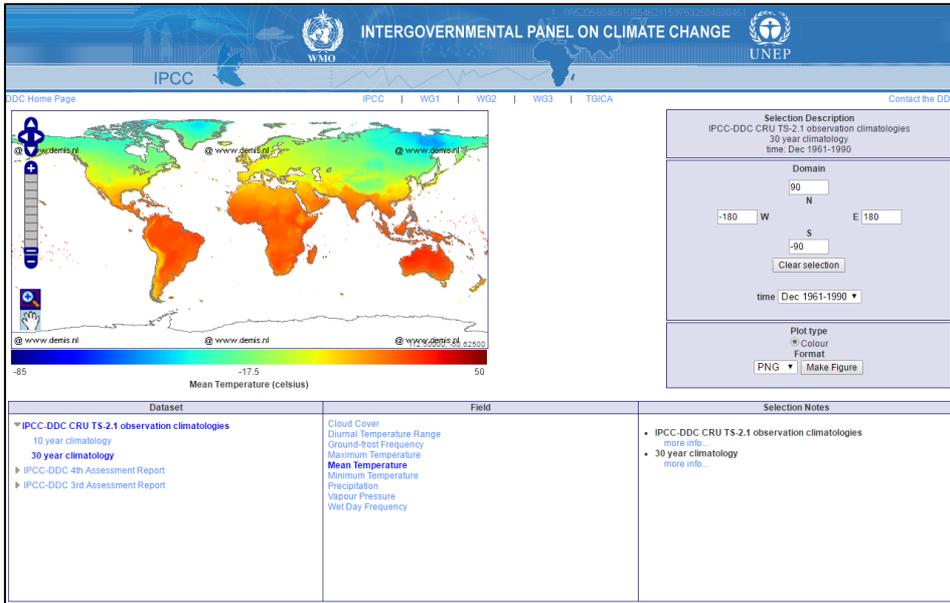


Fig. 18. Vista de la página del visor del IPCC. Se muestra la temperatura media normal del mes de diciembre del periodo 1961-1990. Fuente: <http://www.ipcc-data.org/maps/>.

También pueden visualizarse las anomalías y medias de periodos de 20 y 30 años proyectadas durante el siglo XXI, correspondientes al 3<sup>er</sup> y 4<sup>o</sup> informe del *IPCC*.

La posibilidad de interacción del usuario con el mapa es muy baja, limitándose a las tres herramientas básicas de zoom y mover el mapa. También es posible descargar el mapa visualizado en un formato de imagen, aunque no es personalizable. No existe mención directa en la página a la opción de descarga de datos, aunque a través del enlace de información se accede a una página de descarga directa de los valores normales. Para poder descargar datos de

<sup>26</sup> <http://www.ipcc-data.org/maps/>

proyecciones es necesario registrarse con una dirección de correo válida y se descargan archivos en formato *netCDF* sin proporcionar mucha más información en el momento de la descarga.

El visor ***NOAAView Global Data Explorer***<sup>27</sup> de la NOAA. Este visor permite la visualización de múltiples mapas de variables medioambientales a partir de imágenes previamente generadas y almacenadas en sus servidores. En el apartado *Climate* se pueden visualizar las anomalías de precipitación y temperatura mensuales y anuales (figura 19). Los mapas de datos observacionales proceden, en el caso de la precipitación, de la versión 2.2 del proyecto *Global Precipitation Climatology Project*, mientras que los de temperatura corresponden al producto llamado *Merged Land and Ocean Surface Temperature version 3.5.4*, que es una combinación de la versión 3.2.2 del *GHCN* mensual y la versión 3b del proyecto *ERSST (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature)*.<sup>28</sup> Utiliza *Openlayers 2.12* y otras librerías *Javascript* para la interacción con el usuario. La aplicación ofrece la descarga del mapa en formato *PNG* o *KML* comprimido (*KMZ*), pero no de los datos. La posibilidad de interacción con el mapa es mayor en este caso, pudiendo visualizar los valores concretos de los píxeles, personalizar algunas opciones del menú y visualizar una secuencia de imágenes en el tiempo.

---

<sup>27</sup> <http://www.nvvl.noaa.gov/view/globaldata.html>

<sup>28</sup> <http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/marineocean-data/extended-reconstructed-sea-surface-temperature-ersst-v3b>

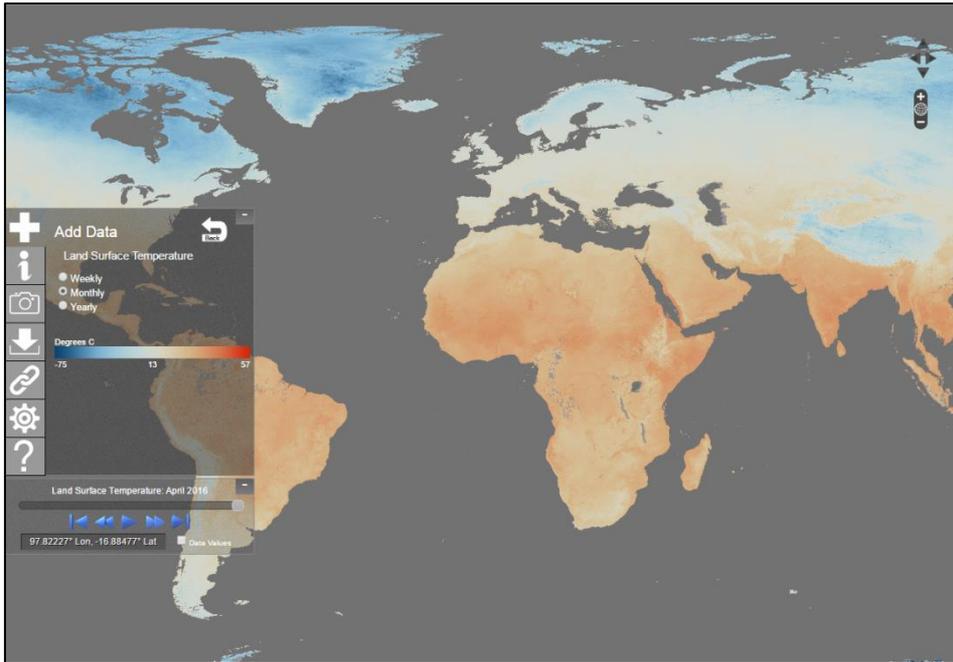


Fig. 19. Vista del visor Global Data Explorer. Se muestra la temperatura media del mes de abril de 2016. Fuente: NOAA.

El visor *Climatewizard*<sup>29</sup>, desarrollado por la ONG *The Nature Conservancy*, la Universidad de Oregón y la Universidad del Sur de Mississippi. Este visor, desarrollado utilizando un conjunto de librerías *Javascript*<sup>30</sup>, presenta datos del pasado (conjunto de datos *CRU TS 2.1* desde 1950) y del futuro (del proyecto *CMIP3*, figura 20). El sistema recupera la información de una base de datos externa y utiliza la *API* de *ArcGis* y el paquete estadístico *R* para la representación de la información (Girvetz et al. 2009). La interacción con el mapa es relativamente limitada, incluyendo, más allá de las herramientas básicas, sólo la posibilidad de personalizar la transparencia de la capa. Es

<sup>29</sup> <http://www.climatewizard.org/>

<sup>30</sup> *Dojo Toolkit*. <http://dojotoolkit.org/>

posible descargar los datos en formato *raster ASCII* y un mapa básico con una leyenda y un título en formato *PNG*. El sitio también incluye algunas herramientas de visualización interesantes, como el enlace a un nuevo visor en el que se pueden visualizar animaciones sobre el cambio climático<sup>31</sup>, o una herramienta de comparación de mapas.

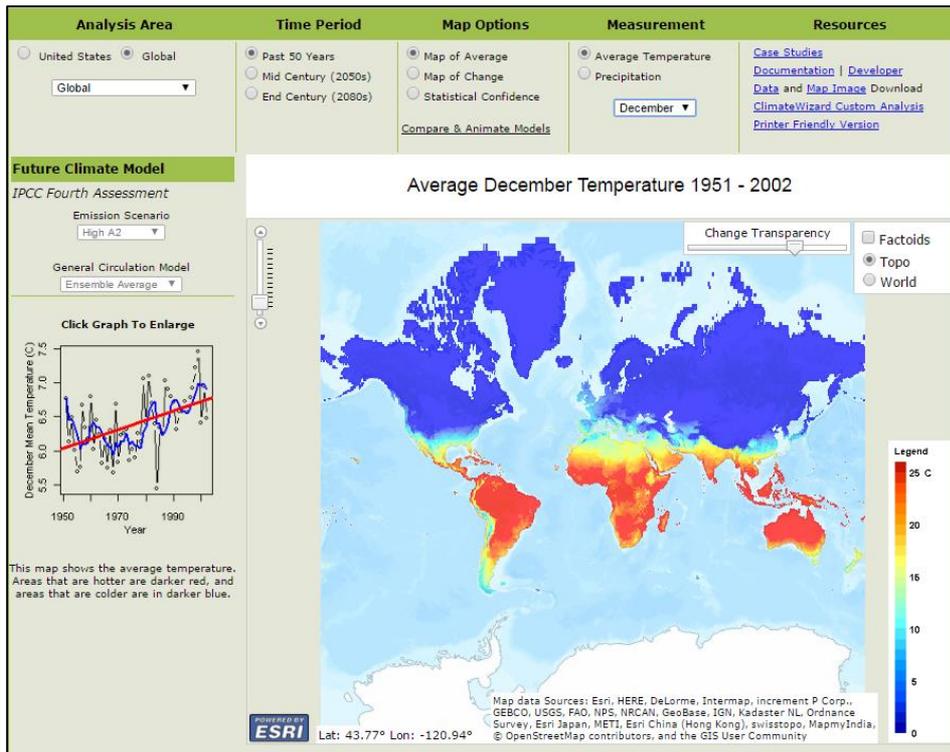


Fig. 20. Vista del visor Climatewizard. Se muestra la temperatura media normal del mes de diciembre del periodo 1951-2002. Fuente: <http://www.climatewizard.org>

El visor del *IRI*<sup>22</sup> (*International Research Institute for Climate and Society*) de la Universidad de Columbia. La librería de datos climáticos del *IRI* implementa una sección llamada *Maproom* (figura 21), desde la que se puede acceder a

<sup>31</sup> <http://www.climatewizard.org/tnc/ClimateChange.html>

<sup>32</sup> <http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/index.html>

cartografías de temperatura y precipitación globales procedentes de la red CAMS (ver epígrafe V.2.2.2). La descarga del mapa se puede hacer en formatos de imagen. El visor es de dimensiones reducidas y la interacción es limitada.

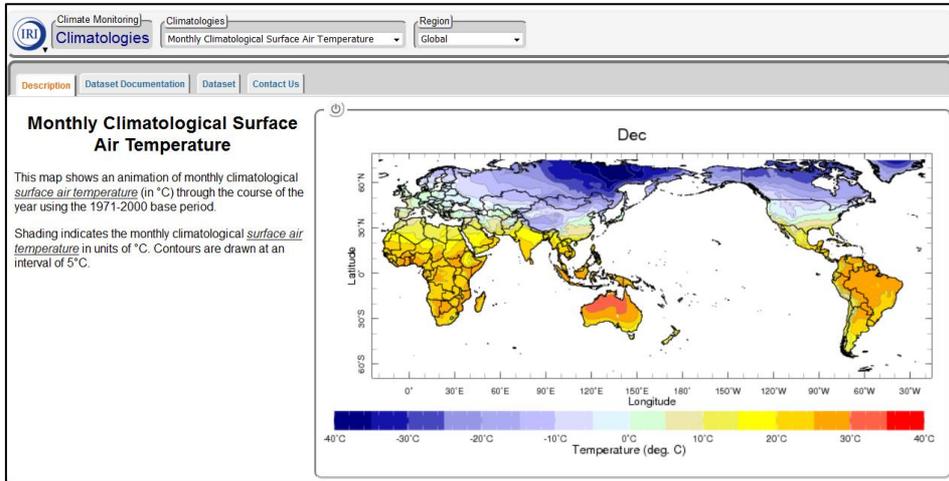


Fig. 21. Vista de la página del visor del IRI. Se muestra la temperatura media normal del mes de diciembre del periodo 1971-2000. Fuente: <https://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/>.

El visor de cambio climático del *USGS* (*United States Geological Survey*)<sup>33</sup>. Con el nombre *Global Climate Change Viewer (GCCV)*, este visor muestra resúmenes de los resultados del proyecto *CMIP5* (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*). El usuario puede visualizar las proyecciones de temperatura y precipitación medias para periodos de 25 años a lo largo del siglo XXI (Alder et al. 2013). También es posible acceder a la visualización de datos paleoclimáticos del proyecto *PMIP3* (*Paleoclimate Modelling Intercomparison Project phase 3*). El visor *GCCV* se basa en *Adobe Flex* (Actualmente *Apache Flex*) para crear la interfaz de usuario (figura 22). Es necesario por tanto tener instalado el *plugin Flash Player* en el navegador para poder interpretar los archivos *swf* generados por la aplicación. Este visor no ofrece ninguna herramienta de descarga de datos

<sup>33</sup> <http://regclim.coas.oregonstate.edu/visualization/gccv/cmip5-global-climate-change-viewer/index.html>

integrada en la interfaz.

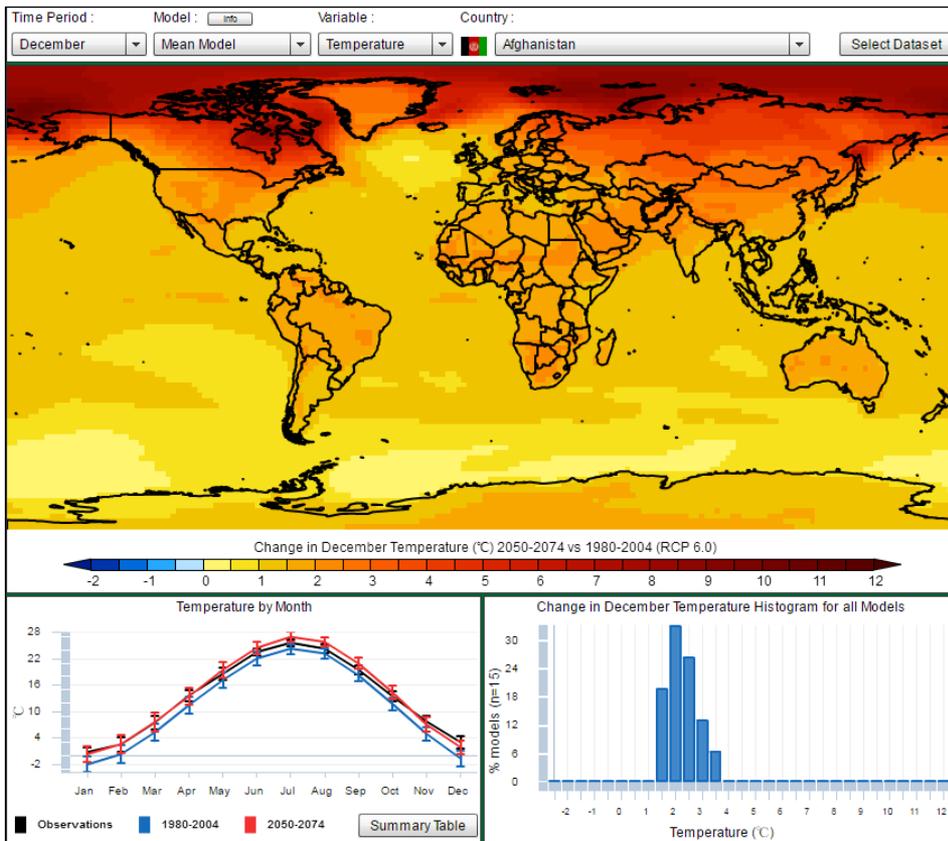


Fig. 22. Vista del CMIP5 Global Climate Change Viewer. Se muestran las diferencias entre las temperatura media normal del mes de diciembre del periodo 1980-2004 con respecto a la media de los modelos del CMIP5 para el escenario RCP6.0 para el mismo mes del periodo 2050-2074. Fuente: <http://regclim.coas.oregonstate.edu/visualization/index>.

El visor *Climateinternational.org*<sup>34</sup>, de la NASA (figura 23). Se trata de una interfaz diseñada para la visualización de datos de *downscaling* para todo el globo para el periodo desde 1950 hasta 2100, obtenidos del proyecto de la NASA denominado *NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP)*<sup>35</sup>. Está desarrollado con el cliente *Openlayers 3.0.0* y otras librerías

<sup>34</sup> <http://www.climateinternational.org/#map>

<sup>35</sup> <https://nex.nasa.gov/nex/projects/1356/>

*JavaScript*. Se trata de una interfaz intuitiva que incorpora una herramienta para la comparación de proyecciones con dos escenarios diferentes. En lo que respecta al acceso a los datos, tan sólo ofrece el enlace a la página del proyecto desde la que se pueden descargar los mismos.

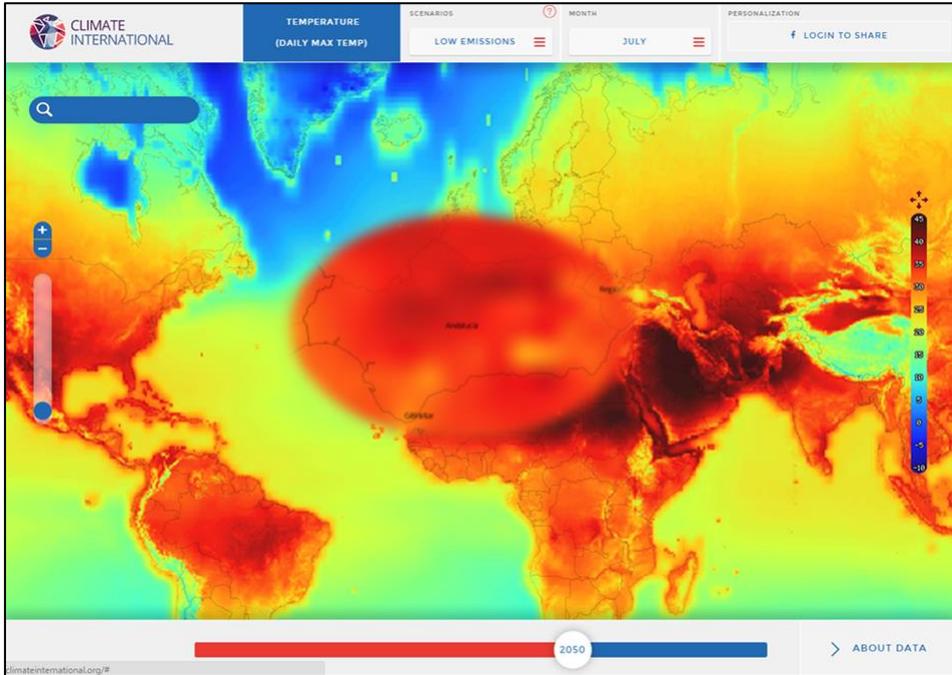


Fig. 23. Vista del visor Climateinternational.org. Se muestra la temperatura máxima diaria media proyectada para el verano de 2100. Se ha insertado el detalle de Andalucía en el centro, para mostrar la resolución espacial. Fuente: <http://www.climateinternational.org>.

El visor de mapas de la *NCDC-NOAA*<sup>36</sup>. Es un visor web especializado en el acceso y descarga de datos de la red *GHCN*. La herramienta de visualización utiliza la tecnología *flash (plugins)* para conseguir la interactividad en la interfaz del visor (figura 24).

<sup>36</sup> <https://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/>

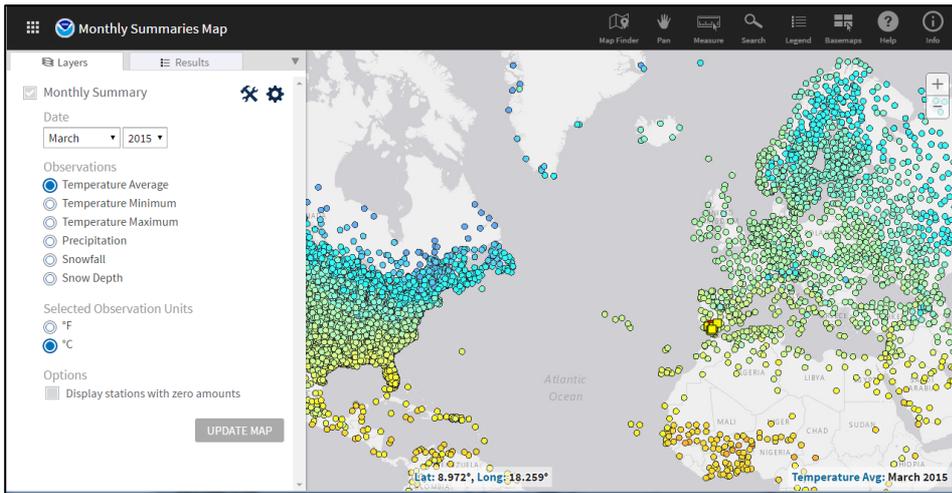


Fig. 24. Vista de la página del visor de la NCDC-NOAA. Se muestran la cobertura de estaciones de la red GHCN para la selección de datos mensuales. Fuente: <https://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/>.

Un aspecto crucial en el valor añadido que puede ser alcanzado a partir de las variables climáticas primarias es la producción de indicadores climáticos (anomalías, tendencias, índices de sequía, valores de extremos) que pueden ser derivados a partir de las primeras. En este sentido podemos encontrarnos en la actualidad con proyectos y páginas web de indicadores climáticos globales pero cuya cartografía se limita a imágenes estáticas sin ningún entorno de geovisualización o bien, por el contrario, buenos sistemas de cartografía interactiva, aunque aplicados específicamente a algún indicador muy concreto. En este último caso destacaremos algunos ejemplos de visores dedicados al fenómeno de la sequía, como los que se describen a continuación:

El propio visor de mapas de la *NCDC-NOAA*<sup>37</sup>, que acabamos de mencionar también ofrece la posibilidad de visualizar el índice de sequía pluviométrica *SPI* (*Standardized Precipitation Index*) de 1 a 24 meses (figura 25), tanto en estaciones como calculado a partir de datos espacializados procedentes del *GPCC*.

<sup>37</sup> <https://gis.ncdc.noaa.gov/maps/nccl/drought/global>

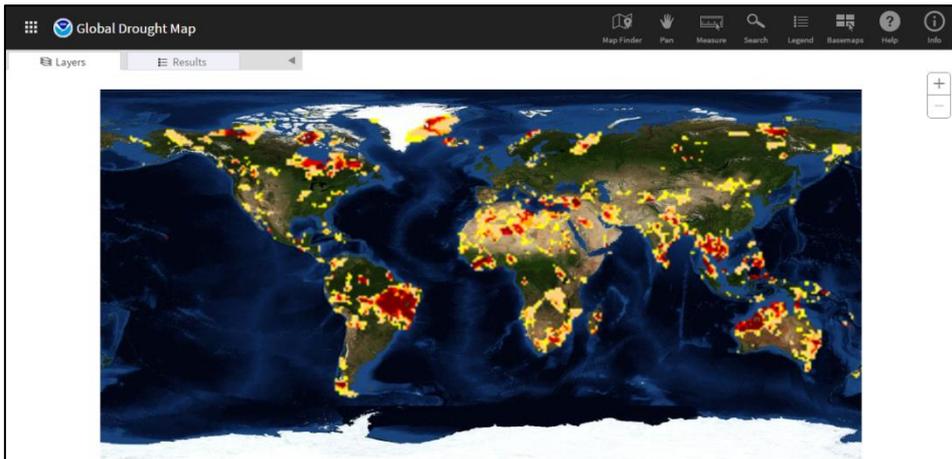


Fig. 25. Vista de la página del visor de la NCDC-NOAA de sequía global. Se muestra el SPI a tres meses a partir de datos del GPCC. Fuente: <https://gis.ncdc.noaa.gov/maps/ncei/drought/global>.

El visor *GIDMaPS* (*Global Integrated Drought Monitoring and Prediction System*)<sup>38</sup>, de la Universidad de California-Irvine (figura 26). Está basado en *Openlayers 3* y *jQuery* y representa tres índices de sequía (*SPI*, *SSI* y *MSDI*) a partir de datos de reanálisis.

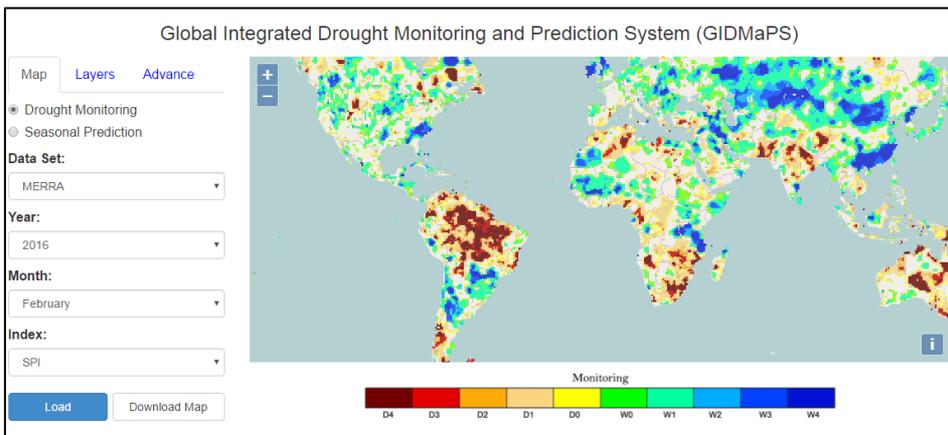


Fig. 26. Vista de la página del visor GIDMaPS. Índice SPI correspondiente al mes de febrero de 2016. Fuente: <http://drought.eng.uci.edu/>.

<sup>38</sup> <http://drought.eng.uci.edu/>

El visor *Global drought monitor*, de la Universidad de Zaragoza<sup>39</sup>. Este visor muestra el índice de sequía conocido como *Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI)* a diferentes horizontes temporales (1-48 meses), utilizando como fuente de datos los conjuntos en rejilla de la *GHCN-CAMS* para la temperatura y del *GPCC-First Guess Monthly* para la precipitación. Se basa en la versión 3 de la *API* de *Google* y otras librerías *Javascript* para la interacción con la aplicación (figura 27). Los mapas han sido creados previamente y están almacenados en un servidor dedicado en forma de teselas georeferenciadas.

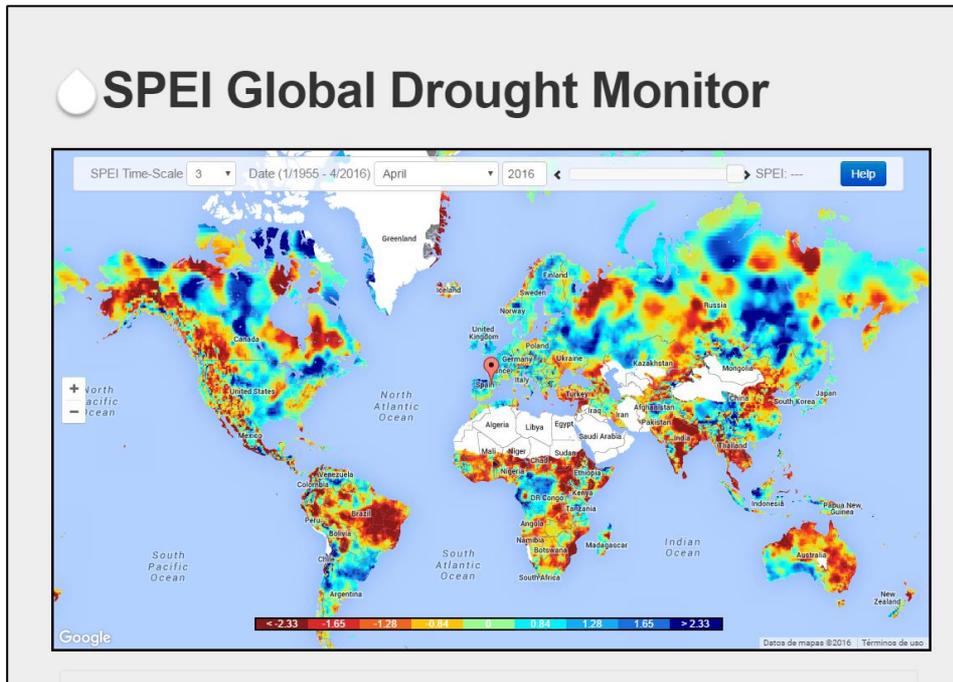


Fig. 27. Vista del visor Global drought monitor. Se muestra el SPEI a tres meses correspondiente al mes de abril de 2016. Fuente: <http://sac.csic.es/spei/index.html>.

<sup>39</sup> <http://sac.csic.es/spei/map/maps.html>

## IV.4. Conclusión del capítulo.

La geovisualización es una disciplina relativamente reciente que combina las aportaciones de varios campos de investigación y nuevas tecnologías que tratan de optimizar los recursos que actualmente ofrecen las computadoras y su capacidad de comunicar y distribuir la información espacial a través de la visualización.

Por la relevancia de su dimensión espacial, la visualización de la información climática se constituye como una potente herramienta para descubrir patrones en los datos, generar hipótesis, reconocer relaciones e identificar tendencias. Uno de los aspectos de la geovisualización que más han evolucionado en los últimos años ha sido el desarrollo de sistemas de visualización y exploración interactiva de la información a través de la web.

Los sistemas que permiten la cartografía interactiva en la web, conocidos como sistemas de *web mapping*, se basan actualmente en el paradigma de computación cliente-servidor, en el que la información fluye entre el usuario (cliente) y el proveedor (servidor) con la mediación de una serie de tecnologías llamadas servicios web geospaciales. La estructura de estos sistemas suele estar formada por tres componentes básicos: un primer componente dedicado a la gestión y almacenamiento de la información, ya sea en forma de archivos o por medio de sistemas gestores de bases de datos; un segundo componente que se encarga de ofrecer la presentación de la información al usuario, mediante un visor geográfico; y un último componente que gestiona las transacciones y flujos entre los contenedores o gestores de datos y las interfaces de presentación que interactúan con el usuario.

Los sistemas de *web mapping* actuales consagrados a datos climáticos globales son relativamente numerosos y diversos en cuanto a su funcionamiento y capacidad de interacción con el usuario. En general, las variables climática más

fundamentales suelen situarse en los visores climáticos en un papel secundario frente a otro tipo de datos como, por ejemplo, los indicadores de sequía, para los existen visores especializados que ofrecen un grado de interacción con el usuario relativamente alto. Los visores climáticos más especializados en las variables fundamentales ofrecen, por el contrario, una experiencia al usuario relativamente pobre en términos de dinamismo, velocidad e interacción.

La posibilidad de descargar los datos en formatos manejables por los usuarios finales es un factor también importante para conseguir los objetivos de un sistema de cartografía interactiva en la web. La mayoría de los sistemas que se han descrito permiten algún tipo de descarga, aunque en general se trata únicamente del mapa visualizado en pantalla en algún formato convencional de imagen, muchas veces sin incluir información de georeferenciación. En los infrecuentes casos en que se ofrece alguna herramienta para la descarga de los datos originales, se trata de enlaces a la ubicación de archivos que suelen tener formatos poco manejables para un usuario no experto, como el formato *netCDF*.

## **V. METODOLOGÍA**



En este capítulo se detallan las escalas temporales y espaciales, las fuentes de datos y la metodología empleada en la tesis doctoral. En primer lugar se introducen el marco metodológico, las escalas y las fuentes de datos, posteriormente se describen los pasos metodológicos.

## V.1. Marco metodológico.

Los sistemas de cartografía interactiva en web son sistemas de información. Se entiende por sistema un conjunto de dos o más elementos que directa o indirectamente están interconectados (Backlund 2000). Una representación esquemática de un sistema se muestra en la figura 28. Los elementos  $f$  y  $e$  son externos al sistema, porque el flujo es unidireccional:  $f$  puede afectar al sistema pero no se ve afectado por él, y  $e$  no tiene influencia sobre el sistema aunque sí se ve afectado por él.

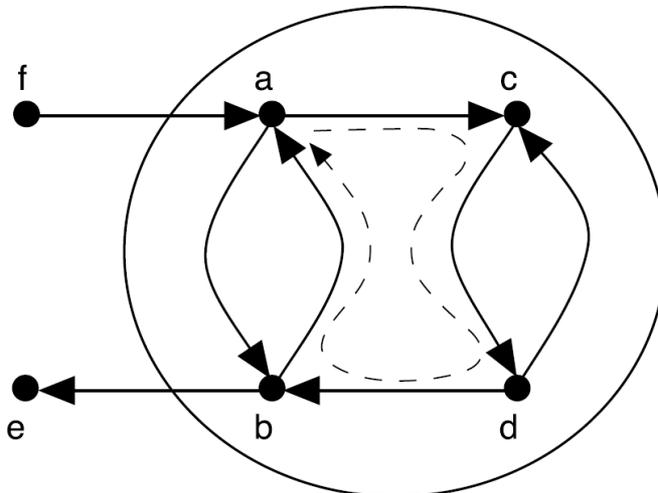


Fig. 28. Ejemplo de la definición de un sistema. Fuente: Backlund 2000.

Según lo que ya se ha tratado en los capítulos anteriores, los sistemas de *web mapping* son por lo tanto sistemas de información, compuestos por una serie de elementos interconectados (usuarios, máquinas, aplicaciones, datos) mediante una red de comunicación, y que tienen como objetivo el diseño, creación, distribución y comunicación de la información espacial.

Los pasos metodológicos seguidos en este trabajo especifican y descomponen la funcionalidad de los sistemas de cartografía web interactiva siguiendo las metodologías clásicas de diseño de sistemas de información.

Desde mediados del siglo XX han ido desarrollándose una gran diversidad de metodologías de desarrollo de sistemas de información. Entre estas metodologías cabe destacar varios tipos, como la estructurada, la evolutiva, la incremental, la orientada a prototipos y la orientada a objetos. Todas ellas constituyen aproximaciones diferentes para afrontar la cinco actividades fundamentales que describe Pressman en el proceso de desarrollo de un sistema de software (Pressman 2010):

- Comunicación. Esta actividad permite definir los objetivos del sistema y reunir los requerimientos de los usuarios con el fin de delimitar las características y funciones del sistema.
- Planificación. En esta fase, el objetivo es realizar un plan de trabajo que describa las tareas técnicas a realizar, los recursos disponibles, los productos deseados y la programación del trabajo.
- Modelado. Durante esta fase, se crean modelos de los componentes del sistema que ayudarán a entender mejor los requerimientos del software y el diseño del mismo.
- Construcción. Esta actividad se corresponde con las tareas de implementación y generación de código y la comprobación del buen funcionamiento del sistema.

- Despliegue. En esta etapa, el sistema se pone a disposición del usuario, que puede evaluarlo y aportar el resultado de su experiencia (*feedback*) que permita la corrección de errores o la mejora de determinados aspectos de funcionamiento del sistema.

Existen dos grandes tendencias que definen la manera en que se abordan las actividades del proceso de desarrollo de sistemas de información. La tendencia tradicional es la que siguen las *metodologías prescriptivas*, que inciden en definir, identificar y aplicar con detalle las actividades descritas y las tareas implicadas, mientras las *metodologías ágiles* hacen una aproximación más informal, con el fin de conseguir una mayor flexibilidad y un ahorro de costes y tiempo. Estos últimos son especialmente útiles en el desarrollo de aplicaciones web (Pressman 2010).

Por otra parte, una característica importante de la metodología de desarrollo de un sistema como el que se propone en este trabajo es la manera en que se establece el flujo de procesos en el tiempo. En este sentido, cabe destacar también la existencia de varias aproximaciones metodológicas (figura 29):

Un primer grupo es el de las metodologías basadas en *flujos lineales*, en las que la secuencia de las cinco actividades básicas descritas anteriormente se ejecuta de forma lineal, desde la comunicación al despliegue.

Otras metodologías introducen la iteración en forma de *flujos evolutivos*, cuando el ciclo completo de actividades se repite hasta conseguir los objetivos propuestos, o *iterativos*, en el que determinadas actividades se llevan a cabo varias veces hasta llegar al despliegue final.

Una tercera aproximación se basa en la utilización de *flujos paralelos*, de manera que se llevan a cabo varias actividades al mismo tiempo.

La realidad a la hora de llevar a cabo proyectos de desarrollo de software es que

en muchas ocasiones se utilizan metodologías mixtas, que aprovechan las fortalezas de las diferentes estrategias metodológicas y confieren al proceso de desarrollo la flexibilidad necesaria para responder a los cambios.

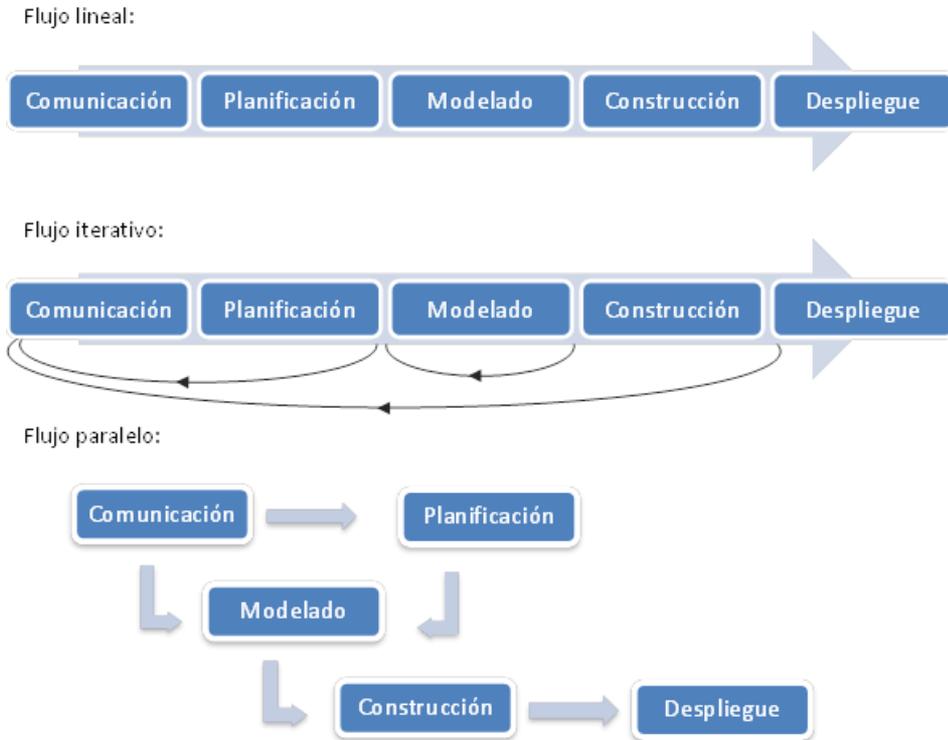


Fig. 29: Tipos de flujos de procesos en el desarrollo de sistemas de información. Fuente: Elaboración propia a partir de Pressman 2010

Para la elección de la metodología es necesario volver a los objetivos de este trabajo de investigación. En particular destacamos dos objetivos: a) El diseño de un sistema abierto que permita el acceso a datos globales sobre el clima a un gran número de usuarios y, b) Aplicar conceptos y métodos de geovisualización para permitir un acceso y visualización rápidos con el fin de facilitar la extracción de conocimiento a partir de los datos.

Considerando estos dos objetivos, desde el punto de vista metodológico,

resultan fundamentales tres etapas:

- La etapa que incluye los métodos para la transformación de la información original en un formato que optimice su gestión para su representación visual y en definitiva su transmisión de manera efectiva al usuario final.
- Una fase de definición del diseño de la arquitectura del sistema de almacenamiento de los datos y de los métodos utilizados para su distribución.
- Una etapa de diseño de las interfaces que permiten la interacción del sistema con el usuario.

Este capítulo se centrará por lo tanto en estas tres etapas, pues es en ellas en las que el proyecto de investigación introduce sus aportaciones más significativas. Para el diseño del modelo de datos se sigue una aproximación lineal utilizando las herramientas estándares que proporciona el *Structured Systems Analysis and Design Method (SSADM)*, The Stationery Office 2000).

Antes de entrar a describir los pasos metodológicos, se presenta a continuación la descripción de las fuentes de datos y escalas del trabajo de investigación.

## V.2. Fuentes de datos y escalas.

En los sistemas implementados en este trabajo, se utilizan dos tipos de datos de naturaleza diferente. Por una parte, en el sistema a escala global se utilizan los datos interpolados en rejilla de temperatura media, precipitación total y evapotranspiración potencial a escala temporal mensual, procedentes de tres organismos: la CRU de la universidad de Anglia del Este, el *Climate Prediction Center (CPC)* de la agencia NOAA y el *Global Precipitation Climatology Centre (GPCC)* dependiente del servicio meteorológico nacional alemán (DWD, por

sus siglas en alemán). Por otra parte, el sistema a escala regional (Andalucía) se nutre de datos obtenidos mediante el *downscaling* de modelos climáticos.

### V.2.1. Escalas del trabajo de investigación.

La escala de trabajo utilizada para los datos climáticos en este trabajo es la escala mensual. La elección de esta escala se justifica en primer lugar por la amplia disponibilidad de datos, tanto observados como modelados. Por otra parte, constituye un periodo lo suficientemente largo como para servir de base para la caracterización del clima.

En cuanto a la dimensión espacial, se proponen dos sistemas que se sitúan a dos escalas espaciales que resultan fundamentales en el estudio del sistema climático y su variabilidad: la escala planetaria o global y la escala regional. La definición de escala regional no es sencilla porque se han hecho diferentes definiciones dependiendo del contexto, que puede ser de índole político, geográfico, climático, etc. (IPCC 2001). En este trabajo se utiliza el criterio del IPCC, que adopta una definición operacional y considera las escalas regionales como aquellas que abarcan áreas en el rango entre  $10^4$  y  $10^7$  km<sup>2</sup>. Desde el punto de vista climático, son áreas en las que los patrones de circulación general se ven modulados por factores como la topografía, los usos del suelo, los contrastes en la interfase tierra-mar, la distribución de las corrientes oceánicas, y muchos otros. Las fuentes de datos utilizadas corresponden a dos tipos de datos en rejilla de naturaleza diferente: datos desde 1901 hasta la actualidad modelados a partir de observaciones a escala global y datos de proyecciones de futuro procedentes de las salidas de modelos de circulación general y adaptados a la escala regional (Andalucía) mediante un proceso de *downscaling* estadístico.

## V.2.2. Los conjuntos de datos globales en rejilla.

Los conjuntos de datos globales en rejilla utilizados son tres: el conjunto de datos *CRU TS*, de la Climatic Research Unit de la Universidad de East Anglia, el conjunto *GHCN-CAMS* de la *NOAA* y el conjunto *GPCC First-Guess-Monthly* de la DWD. A continuación se describen con detalle estas fuentes de datos.

### V.2.2.1. Conjunto de datos *CRU TS*.

Se trata de series temporales de datos mensuales en rejilla global de alta resolución espacial (0.5 x 0.5 grados). La primera versión de este conjunto de datos se publicó en el año 2000 (New et al. 2000). La última versión (*CRU TS 3.23*, Harris et al., 2014) cubre el periodo que se extiende desde el 1 de enero de 1901 hasta el 31 de diciembre de 2014. La versión utilizada en este trabajo es la 3.21, que abarca hasta el 31 de diciembre de 2012. Este producto es el resultado de una interpolación a una rejilla de 0.5° en latitud y longitud (aprox. 56 km. en el ecuador) de los datos procedentes de más de 4 000 observatorios en superficie, que cubre toda las tierras emergidas a excepción de la Antártida (ver figura 30).

Además de las temperaturas media, mínima y máxima y la precipitación, se proporcionan valores de variables como la evapotranspiración potencial, la amplitud térmica diurna, el número de días de lluvia, el número de días de helada, la presión de vapor de agua y la cobertura nubosa.

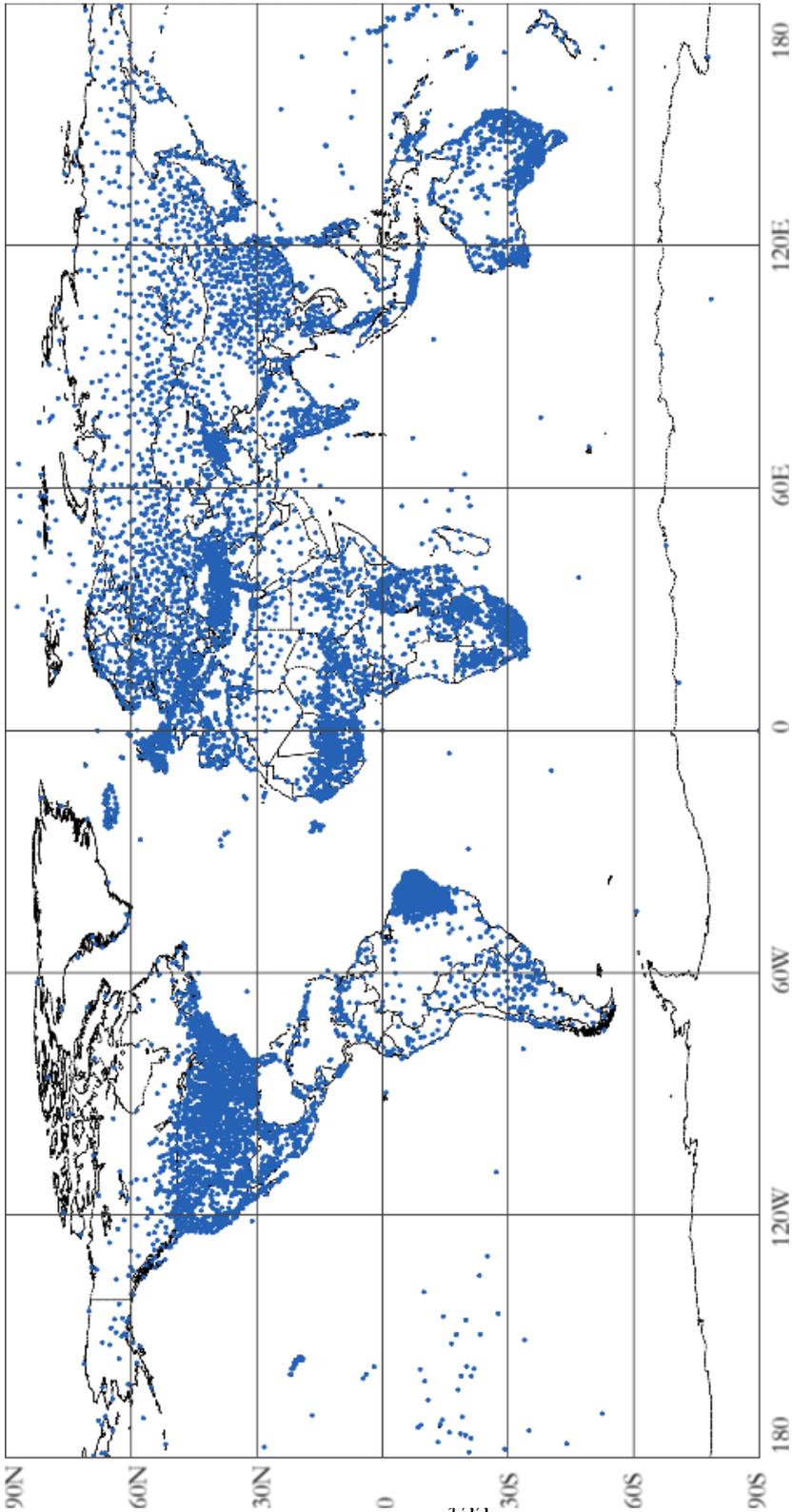


Fig. 30: Distribución espacial de los observatorios de las redes para la construcción del conjunto de datos de precipitación de CRU TS 3.23.  
Fuente: Elaboración propia a partir de «CRUTS v3.23 Observations», s. f.

Las fuentes de datos instrumentales utilizadas para la construcción del conjunto de datos *CRU TS* son fundamentalmente tres: los datos de los informes *CLIMAT* de la *WMO* (más de 2 000 estaciones), los datos del informe *Monthly Climatic Data for the World (MCDW)*, del National Climatic Data Center (unas 2 000 estaciones) y los datos de la publicación *WWR* (unas 1700 estaciones). Además, se incorporan datos o actualizaciones de los mismos a escala nacional gracias a acuerdos entre la *CRU* y los servicios meteorológicos de determinados países, como Australia (un centenar de estaciones), Nueva Zelanda (13 estaciones) y Canadá (más de 200 observatorios, Vincent & Gullett, 1999). El método utilizado para construir este conjunto de datos es el método de las anomalías climáticas (*Climate Anomaly Method, CAM*, P. D. Jones et al., 1986; Mitchell & Jones, 2005; Thomas C. Peterson et al., 1998).

En este método, en primer lugar, se construye una rejilla con los valores mensuales normales para un periodo de referencia establecido (1961-1990 en este caso, ver figura 31 y New et al., 1999).

Para el cálculo de las normales de precipitación mensual se utilizaron un total de 19 295 observatorios, y 12 092 para las de temperatura. La interpolación a una rejilla regular se llevó a cabo aplicando el método *thin plate splines* (Hutchinson, 1995; considerando cada superficie a interpolar como una función de la longitud, la latitud y la altitud) de manera independiente en cada una de las teselas (de tamaño irregular) en que se habían dividido previamente la superficies emergidas. Posteriormente, las series de cada estación se expresan en forma de anomalías con respecto a ese periodo normal. Estos valores de anomalías son interpolados (utilizando un algoritmo que calcula una triangulación de Delaunay y posteriormente lleva a cabo una interpolación lineal en cada triángulo) a una rejilla de las mismas características que la rejilla normal, y finalmente se suman ambas rejillas (normales y anomalías

interpoladas) para obtener los valores absolutos de la variable en cada punto de rejilla.

Es importante destacar que se trata de uno de los conjuntos de datos climáticos globales utilizados por el *IPCC* en su quinto informe en el capítulo dedicado a la revisión de la evolución de las temperaturas planetarias de los últimos cien años. Es además el que se ofrece en el apartado de datos de la página web de dicho organismo y sobre la que se centra la geo-visualización global de las normales climatológicas que puede encontrarse en su centro de datos.

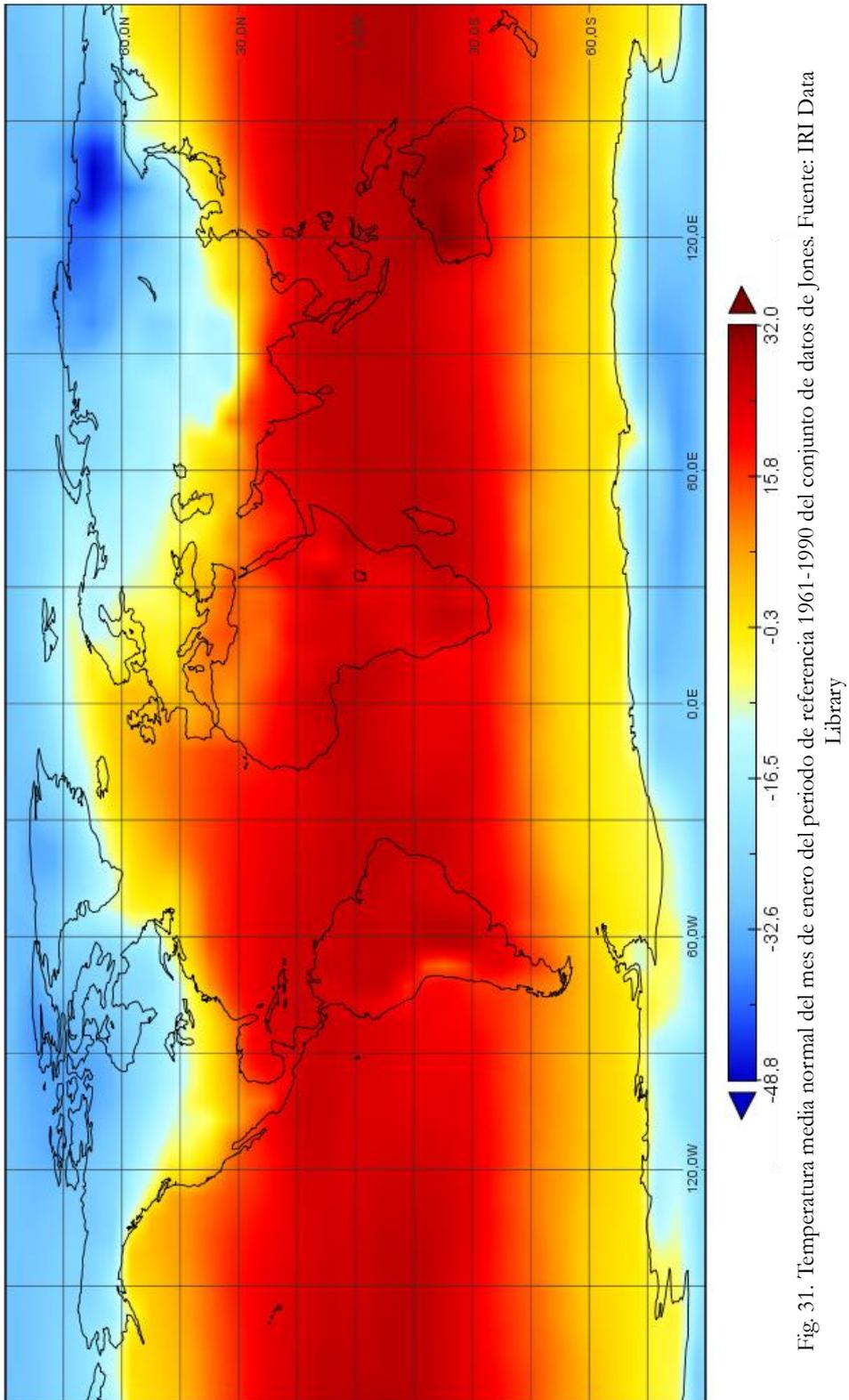


Fig. 31. Temperatura media normal del mes de enero del periodo de referencia 1961-1990 del conjunto de datos de Jones. Fuente: IRI Data Library

### V.2.2.2. Conjunto de datos *GHCN-CAMS*.

El conjunto de datos denominado *GHCN-CAMS* utiliza dos grandes redes de estaciones. La red *GHCN*, en su versión 2 (Fan & Dool 2008; Peterson & Vose 1997), con un máximo de 7 280 estaciones y la red del *Climate Anomaly Monitoring System* o *CAMS* (Ropelewski et al. 1984), con un máximo de 6 158 estaciones (ver figura 32).

Según T. C. Peterson & Vose (1997), las series de la *GHCN* se actualizan regularmente y han sido sometidas a pruebas de calidad en tres etapas: en una primera etapa se examinó la calidad de las fuentes de información, después se comprobaron individualmente las series, comparándolas con otros datos en rejilla, y finalmente se buscaron e identificaron datos posiblemente anómalos. También se realizaron tests de homogeneidad de las series anuales con más de 20 años de registros, y se creó un subconjunto de datos homogeneizados.

La red de la *CAMS* se creó para seguir la evolución en tiempo real de las anomalías en variables de superficie significativas mediante observaciones de calidad que dispusieran de registros históricos largos. A partir de 1981 la *CAMS* se nutre de datos en tiempo real a través del *GTS*. Hasta los años 80, la red *GHCN* aportaba más datos que la *CAMS*; esta situación se ha invertido después, como puede verse en la figura 33. La red *CAMS* aporta, una vez eliminados los duplicados, unas 3 700 estaciones nuevas, aunque no pasan por controles de calidad tan sofisticados como las de la red *GHCN*. (Fan & Dool 2008).

Los datos del conjunto final de observatorios utilizados (más de 8 000) son interpolados a una rejilla regular de 0,5 por 0,5 grados. El método de interpolación utilizado es también el de las anomalías, con ligeras modificaciones, como la utilización de un algoritmo diferente (*Cressman objective analysis*, Cressman, 1959) para la construcción de la rejilla de datos normales.

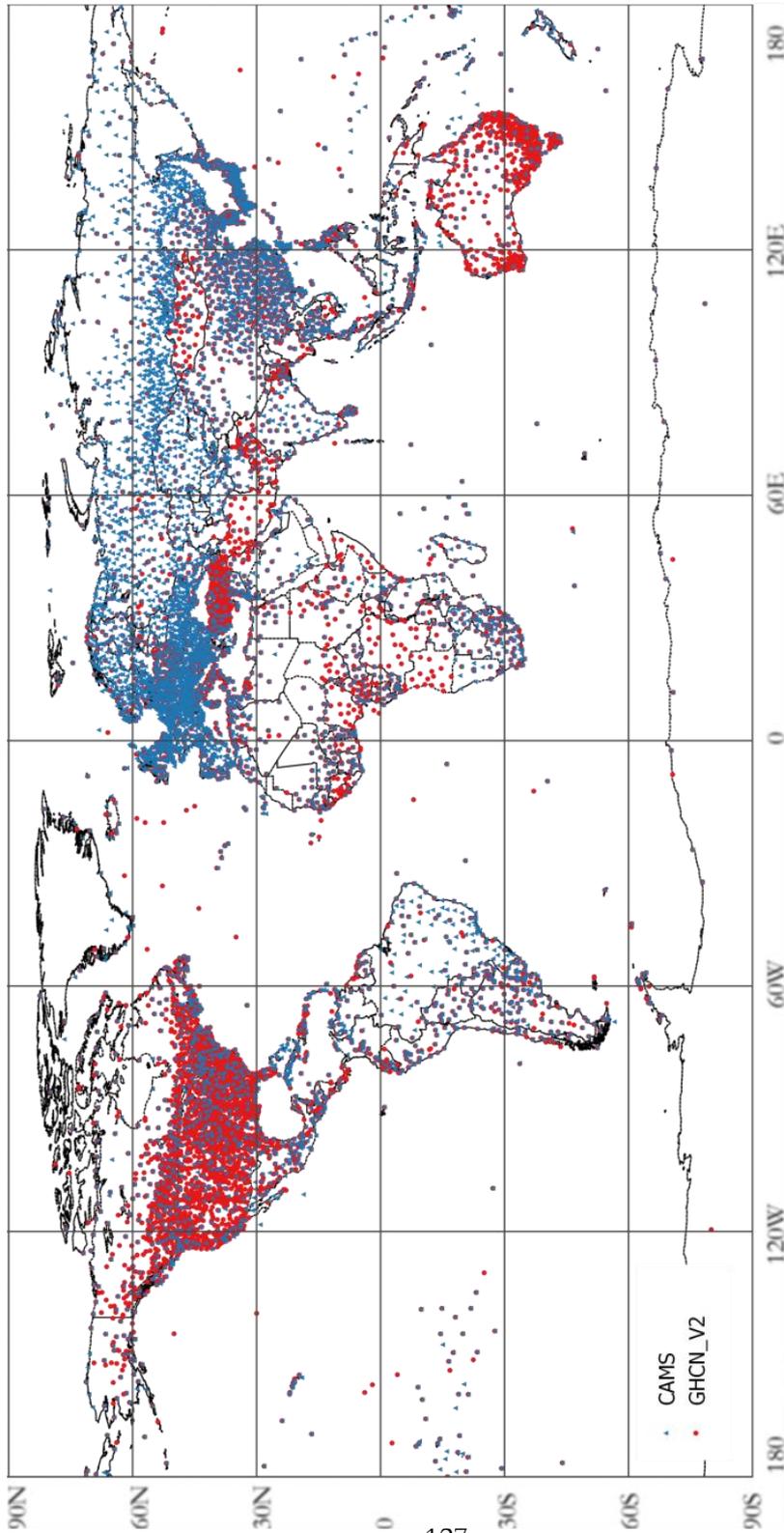


Fig. 32: Distribución espacial de los observatorios de las redes para la construcción del conjunto de datos GHCN-CAMS. En rojo, la red del GHCN y en azul la red CAMS. Fuente: Elaboración propia a partir de IRI Data Library.

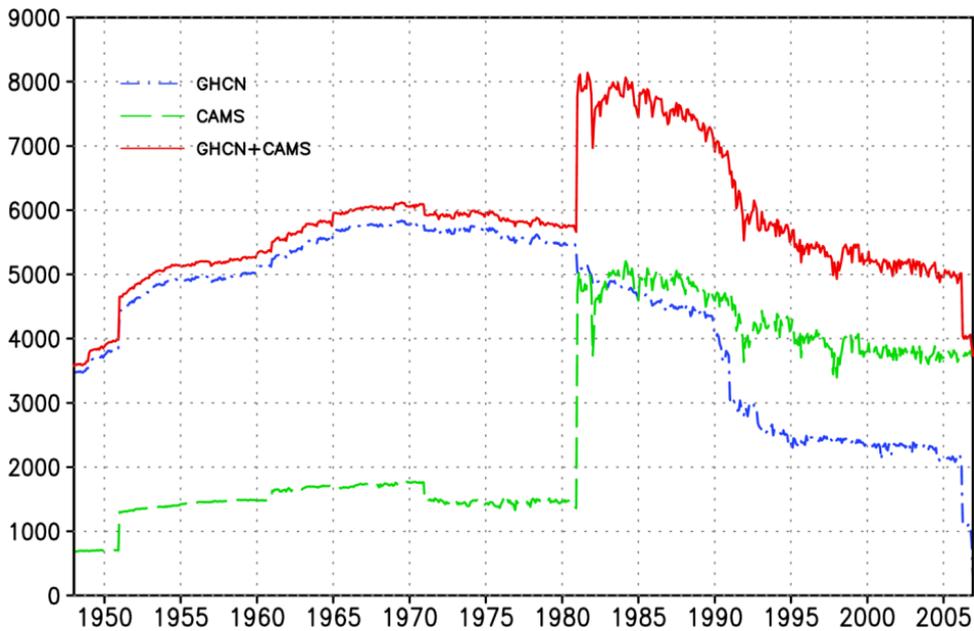


Fig. 33: Número de informes mensuales de temperatura media de las redes GHCN y CAMS y la combinación de ambas (excluyendo estaciones duplicadas) entre 1948 y 2007. Fuente: Fan & van den Dool, 2008.

### V.2.2.3. Conjunto de datos *GPCC - First Guess monthly* (*GPCC-FGM*).

La base de datos mensual de estaciones de precipitación integradas en el *GPCC* es una de las más grandes que existen. Incluye series procedentes de 190 países e incorpora también las series mensuales de la *CRU* y del *GHCN* versión 2. En total, almacena datos mensuales de más de 85 000 estaciones de todo el mundo (Schneider et al. 2013; Becker et al. 2013).

El conjunto de datos *GPCC-FGM* es un producto en rejilla a una resolución de  $1^\circ \times 1^\circ$ , que se actualiza mensualmente durante los primeros cinco días de cada mes. Utiliza más de 7 000 observatorios de precipitación de la red *SYNOP*, que envían sus datos a través del *GTS*. Estos datos pasan controles de calidad automáticos. La interpolación de la precipitación mensual a la rejilla se basa

también en el método de las anomalías climáticas. Para ello se utiliza una rejilla de valores normales del periodo 1951-2000 previamente creada a partir de un conjunto de estaciones (en el año 2015, un total de 75 165 estaciones) con al menos 10 años de datos (figura 34). Tanto la rejilla de datos normales como la de anomalías son interpoladas con el método de interpolación empírica *Spheremap* (Willmott et al. 1985).

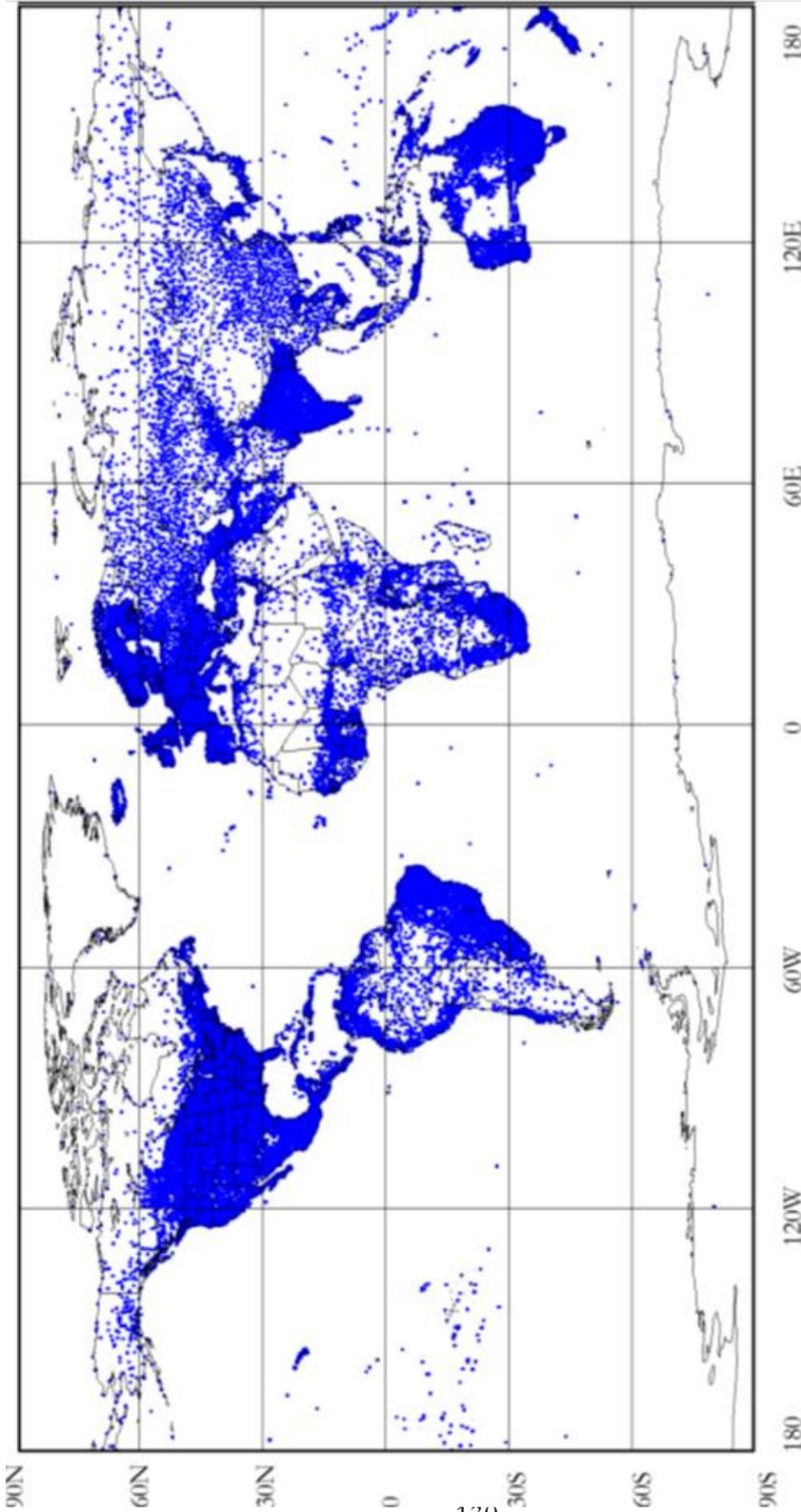


Fig. 34: Distribución espacial de los observatorios disponibles en 2015 con cálculo de precipitación normal basado en un mínimo de 10 años de registros mensuales (base de datos del GPCC). Fuente: Schneider et al. 2016.

### V.2.3. Los conjuntos de datos regionales procedentes de *downscaling*.

Las variables que se utilizan en el sistema de cartografía web a escala regional se han obtenido mediante la corrección, agregación y espacialización de los valores diarios del proyecto “Escenarios Locales de Cambio Climático en Andalucía” (ELCCA). Los ELCCA son la particularización a escala regional de los cambios esperados en el clima en las próximas décadas, según estudios realizados a escala planetaria (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía n.d.). Los datos regionalizados se han obtenido mediante la técnica de *downscaling* estadístico conocida como método de análogos (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía 2015).

En concreto, los conjuntos de datos a escala regional están compuestos por la temperatura mínima diaria (*t\_min*), temperatura máxima diaria (*t\_max*), temperatura media diaria (*t\_med*), precipitación total diaria (*prc*), número de días de calor (*ndc*) y número de días de helada (*ndf*), que han sido agregadas mensualmente para los tres periodos de treinta años 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099. Estas variables se han simulado con cuatro modelos de circulación general y para tres escenarios de emisiones diferentes. Posteriormente, las variables referidas a observatorios han sido espacializadas mediante un método de regresión múltiple estratificada por zonas geográficas (figura 35).

Los resultados de la espacialización se almacenan y distribuyen en archivos en formato *GeoTIFF*, con una resolución de celdilla de 200 metros. El número total de archivos para estas seis variables es por lo tanto de 2 592 (6 variables 12 meses x 3 periodos x 3 escenarios x 4 modelos). Considerando que la región de Andalucía está cubierta por 2 175 723 píxeles de 200 metros de

resolución espacial, el número total de píxeles se aproxima a los seis mil millones.

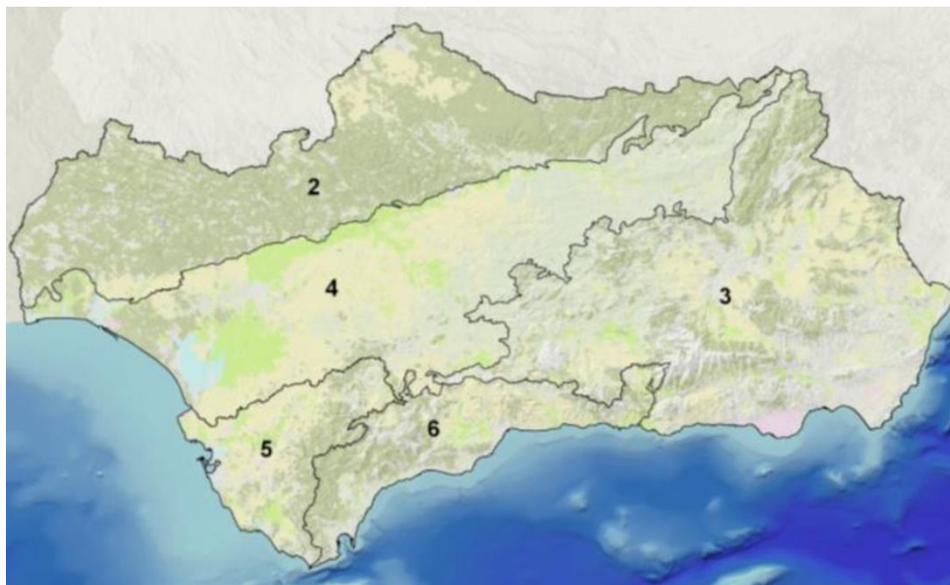


Fig. 35. Zonas definidas para la regionalización en estratos por regresión múltiple. Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía 2015.

## V.2.4. Formatos de distribución de los datos utilizados.

Los datos de la *CRU* se sirven en formato *NetCDF* y en formato de texto *ASCII* ordenado en una rejilla de 720 columnas por 360 filas. Los datos del conjunto de datos *GHCN-CAMS* se sirven en *NetCDF* y *GRIB*, mientras que los datos del *GPCC-FGM* se distribuyen en *NetCDF* (desde 2013) y texto *ASCII*. Para el conjunto de datos de la *CRU*, la temperatura se expresa en grados Celsius y la precipitación en milímetros. Los datos de evapotranspiración potencial están expresados en milímetros/día. En el caso de los datos procedentes de la *GHCN-CAMS* y de *GPCC-FGM*, la temperatura viene expresada en grados Kelvin y la precipitación en milímetros

respectivamente.

Los datos de *downscaling* se distribuyen, previa petición a la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, en formato *GeoTIFF*. Las unidades de las variables relativas a temperatura y precipitación están en décimas de grado centígrado y décimas de milímetro respectivamente.

### **V.3. Fases metodológicas de desarrollo del sistema.**

El desarrollo de los sistemas propuestos en este trabajo se resume en cinco grandes etapas:

- La primera etapa consiste en el análisis y diseño general del sistema, de manera que se definan los requerimientos, los flujos de procesos y los componentes implicados en el funcionamiento del mismo.
- En la segunda etapa se investigan, diseñan e implementan los métodos, técnicas y recursos que se utilizarán para optimizar la entrada de los datos externos en el sistema.
- La tercera etapa se corresponde con el diseño de los modelos de los componentes del sistema de almacenamiento de los datos y de las técnicas implementadas para su distribución.
- En la cuarta etapa, cuyo desarrollo se solapa con la anterior, se diseña el servidor cartográfico, las capas, las simbologías y los servicios cartográficos.
- En la quinta etapa se lleva a cabo el diseño y la implementación de la capa

de presentación, es decir del geovisor web con el que interactúa el usuario. Durante esta fase se desarrollan iterativamente los prototipos a nivel de interfaz de presentación apoyándose en la retroalimentación proporcionada por los usuarios.

A continuación se describen con mayor detalle las cuatro fases.

### **V.3.1. Análisis y diseño general del sistema.**

En esta primera etapa se ha llevado a cabo un diseño general de los sistemas, basándose en los objetivos de los mismos y en el análisis de los recursos humanos, de software, de tiempo y en la estimación de los requerimientos de los usuarios.

Teniendo en cuenta el objetivo fundamental de este trabajo, que consiste en lograr un acceso fácil y rápido, mediante la visualización, a una información que se encuentra en formatos de difícil manejo por parte de un gran número de usuarios, el diseño debe insistir en tres aspectos esenciales: el diseño de un modelo de almacenamiento y gestión adecuado, que incorpore estructuras y procesos para un rápido acceso a los datos; el diseño y programación de métodos de transformación de los datos para su entrada en el sistema; y finalmente el diseño e implementación de una interfaz de usuario adecuada al objetivo propuesto. A continuación se detallan estas tareas en la secuencia de entrada-modelado/proceso-salida.

### **V.3.2. Entrada de datos en el sistema.**

Esta tarea incluye los métodos para la transformación de la información original en un formato que optimice su gestión para su representación visual y

en definitiva su transmisión de manera efectiva al usuario final.

Los formatos de los datos que se introducen en los dos sistemas propuestos son de dos tipos: el formato *raster* multidimensional *netCDF* y formato *GeoTIFF*. En ambos casos se trata de modelos de representación *raster*, con la diferencia de que el formato *netCDF* incorpora el tiempo como una dimensión que permite el almacenamiento de una serie temporal de datos matriciales en un único archivo. En el caso del formato *GeoTIFF*, cada archivo se corresponde con una sola matriz de datos, y por tanto, una serie temporal debe almacenarse en una serie múltiple de archivos.

Los pasos seguidos (figura 36) para importar los datos en los sistemas utilizan tecnologías de código abierto, y han sido los mismos para ambos tipos de datos:

- Para acceder a los datos contenidos en los archivos, se ha utilizado la librería geoespacial *Geospatial Data Abstraction Library*<sup>40</sup> (más conocida como *GDAL*, que proporciona un gran número de herramientas para la lectura, conversión y proceso de datos *raster* y vectoriales.
- Los datos se procesan secuencialmente para cada dimensión (*netCDF*) o archivo (*GeoTIFF*) y se escriben en un único archivo de texto separado por delimitadores. Para ello, se han implementado los correspondientes programas o *scripts* utilizando el lenguaje de programación *Python*.
- En el último paso, el archivo de texto es importado a la base de datos del sistema con la herramienta propia del *RDBMS* (*COPY*).

---

<sup>40</sup> <http://www.gdal.org/>

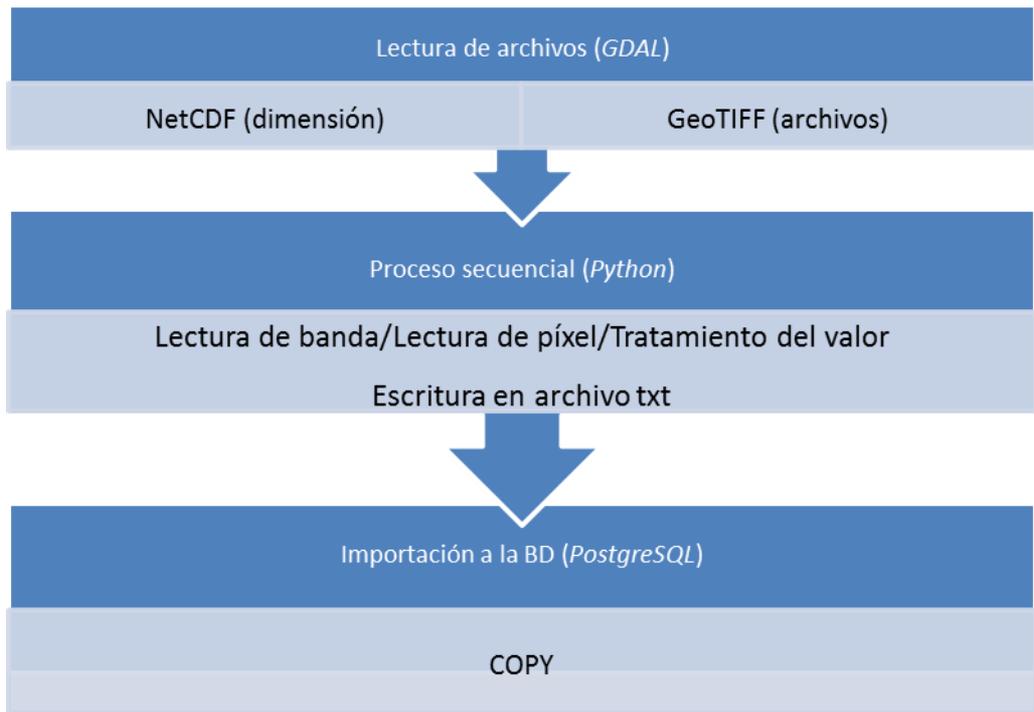


Fig. 36. Etapas de la entrada de datos en los sistemas. Fuente: Elaboración propia.

### V.3.3. Modelado de datos.

El modelado de datos incluye los métodos para la organización y proceso de la información de manera que se optimice su gestión para la representación visual y en definitiva su transmisión de manera efectiva al usuario final. El modelado de los datos se lleva a cabo de tres formas:

- El modelo del flujo de datos o *Data Flow Modelling (DFM)*. Es el proceso de identificación, modelado y documentación de cómo fluye la información en el sistema. Esta técnica permite examinar tres elementos: los almacenes de datos, los procesos de transformación de los datos y los flujos, es decir las vías por las que circulan. La representación gráfica del *DFM* se conoce como el diagrama de flujos o *Data Flow Diagram (DFD)*. El diagrama

muestra los elementos que constituyen entradas y salidas del sistema, las áreas en las que se almacenan los datos y rutas de flujo de la información mediante una notación estandarizada.

- El modelo lógico de los datos o *Logical Data Model (LDM)*, en el que se muestra con detalle la manera en que los datos están organizados dentro del sistema. Este modelo constituye los cimientos sobre los que se construye la base de datos. El *LDM* está formado por una representación gráfica llamada *Logical Data Structure (LDS)* y por una descripción textual de sus elementos.
- Modelo de comportamiento o evento de entidades o *Entity Event Modelling (EEM)*. Sirve para describir cada una de las entidades del sistema y la secuencia en la que se suceden los eventos que afectan a dichas entidades.

### **V.3.4. Diseño e implementación del servidor cartográfico.**

En esta etapa se diseña el servidor cartográfico, y se implementan en él las capas y los métodos y técnicas necesarios para conseguir el flujo de información hacia el usuario.

En primer lugar se han configurado los sistemas con el software *Geoserver v2.5*. *Geoserver* es un servidor cartográfico de código abierto escrito en java. Sirve mapas y datos en diferentes formatos para ser consumidos por clientes web ligeros, o programas SIG de escritorio. Está especialmente diseñado para la interoperabilidad. Entre sus principales características se pueden destacar:

- Soporta salidas cartográficas avanzadas mediante SLD.
- Es multiplataforma: funciona en cualquiera que soporte *Java*: *Windows*, *Linux*, *Mac*.
- Trabaja con multitud de formatos de datos *raster* y vector.
- Soporta la reproyección de las imágenes de salida al vuelo.
- Incluye *Geowebcache*, una aplicación java que implementa un servidor intermedio entre el cliente y *Geoserver*, cacheando teselas que son servidas a través del protocolo estándar *WMTS*.

El flujo de información saliente del sistema para su presentación en el lado del cliente se lleva a cabo mediante servicios web interoperables del OGC. En concreto, el servicio que utilizan los sistemas para la composición de los mapas es un *WMS*, mientras que para la descarga de información se recurre al servicio *WFS*.

La estrategia adoptada a la hora de crear los servicios interoperables ha sido la de construir un único servicio por cada variable climática, que contiene por lo tanto toda la serie temporal de datos correspondiente a dicha variable. De esta manera, se reduce drásticamente la tarea de diseño de capas en el servidor cartográfico, dejando al cliente ejecutar la petición mediante la aplicación de un filtro y al *RDBMS* llevar a cabo la tarea de recuperar la información referente el filtro. Este diseño permite repartir de manera eficiente la carga de trabajo entre los diferentes componentes del sistema, aumentando la velocidad con la que se visualizan las capas y mejorando de esta manera la experiencia del usuario.

En esta fase se diseña también la semiología aplicada a las diferentes variables del sistema, utilizando un lenguaje estándar (*Styled Layer Descriptor*) para la comunicación de las reglas que definen la representación cartográfica entre servidor y cliente.

Las capas son representadas utilizando estilos (archivo *SLD* en el que se define

la semiología a aplicar a una capa) que definen gradaciones de colores secuenciales y divergentes en base al trabajo de Brewer (Brewer 1997), utilizando para la creación de las mismas la aplicación *ColorBrewer* (Harrower & Brewer 2003).

### V.3.5. Flujo de salida y diseño de la interfaz de usuario.

Esta tarea se corresponde con el diseño de las interfaces y los procesos de flujo de información y de representación que permiten la interacción del usuario con el sistema.

La implementación del cliente en los sistemas se ha hecho utilizando una combinación de librerías *Javascript* que se ocupan de las diversas tareas que confieren interactividad a la interfaz web, junto con los lenguajes *HTML v5* y *CSS v3* para la generación de la estructura y apariencia de la página web. Las librerías utilizadas han sido *Openlayers v2.13* para el contenido cartográfico y la interacción básica con el mismo. Para la generación de los gráficos interactivos se ha recurrido a la librería *Highcharts<sup>41</sup> v4.2.3*, mientras que para otras tareas genéricas de interacción web se ha utilizado *Jquery v1.11.1*.

Otro aspecto importante del que depende una rápida respuesta del servidor cartográfico es la utilización de filtros *CQL (Common Query Language)*, un lenguaje de consulta basado en texto plano y de sintaxis sencilla que se introduce como parámetro en la petición al servicio con el fin de restringir la petición a los datos que respondan a los criterios especificados. La utilización de estos filtros hace innecesaria la creación de múltiples servicios.

---

<sup>41</sup> <http://www.highcharts.com/>

## V.4. Conclusión del capítulo.

La metodología seguida para el diseño y la implementación de los sistemas propuestos tiene cinco etapas fundamentales, que van desde el diseño general del sistema hasta la implementación de las versiones de la interfaz de usuario, pasando por el modelado de los datos y de los flujos de entrada y salida. Para el modelado de los datos, los pasos metodológicos se basan en la utilización de las herramientas estándares que proporciona el *Structured Systems Analysis and Design Method (SSADM)*.

El diseño de los sistemas para la geovisualización de datos climáticos que se abordan en esta tesis se basa en la utilización de tecnologías web estándares y software de código abierto, unidos al modelado adecuado de la base de datos y a la utilización de determinadas técnicas, relacionadas tanto con la manera en que se produce el flujo de los datos como con la representación gráfica, que finalmente permiten transformar los datos originales en un formato adecuado a una fácil y rápida visualización y descarga.

Los resultados de la aplicación de esta metodología se materializan en dos sistemas de geovisualización web dedicados a los dos tipos de datos mencionados anteriormente, datos observados a escala global y datos proyectados de futuro a la escala regional.

## **VI. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**



En este capítulo se hace un análisis detallado de los resultados de la metodología aplicada, que se materializan en dos sistemas geovisualización: uno a escala global, al que se ha denominado *Global Climate Monitor o GCMon*<sup>42</sup> y otro a escala regional, con el nombre *Cambi ClimaSIG o CambiA*<sup>43</sup>. En primer lugar se describe la arquitectura general de los sistemas. Puesto que ambos comparten exactamente la misma arquitectura, ésta se describirá una sola vez, para luego pasar a los resultados de cada uno de los sistemas.

## VI.1. Arquitectura de los sistemas.

Los sistemas de geovisualización que se describen a continuación se basan en una arquitectura multinivel en tres capas, implementadas con software y componentes de código abierto: una capa de datos, una capa de negocio/aplicaciones y una capa de presentación/usuario. Esta arquitectura se representa en la figura 37.

Todo el sistema está implementado, del lado del servidor, sobre un servidor dedicado, es decir que se dispone del 100% de los recursos de la máquina dedicados al sistema. El *hardware* de la máquina incluye un procesador *Intel(R) Xeon(R) CPU E5 1620 v2@ 3.70GHz*, 8 núcleos, 64 Gb de *RAM* y dos discos *RAID* de 2 Terabytes.

---

<sup>42</sup> <http://www.globalclimatemonitor.org>

<sup>43</sup> <http://cambia.climasig.es>

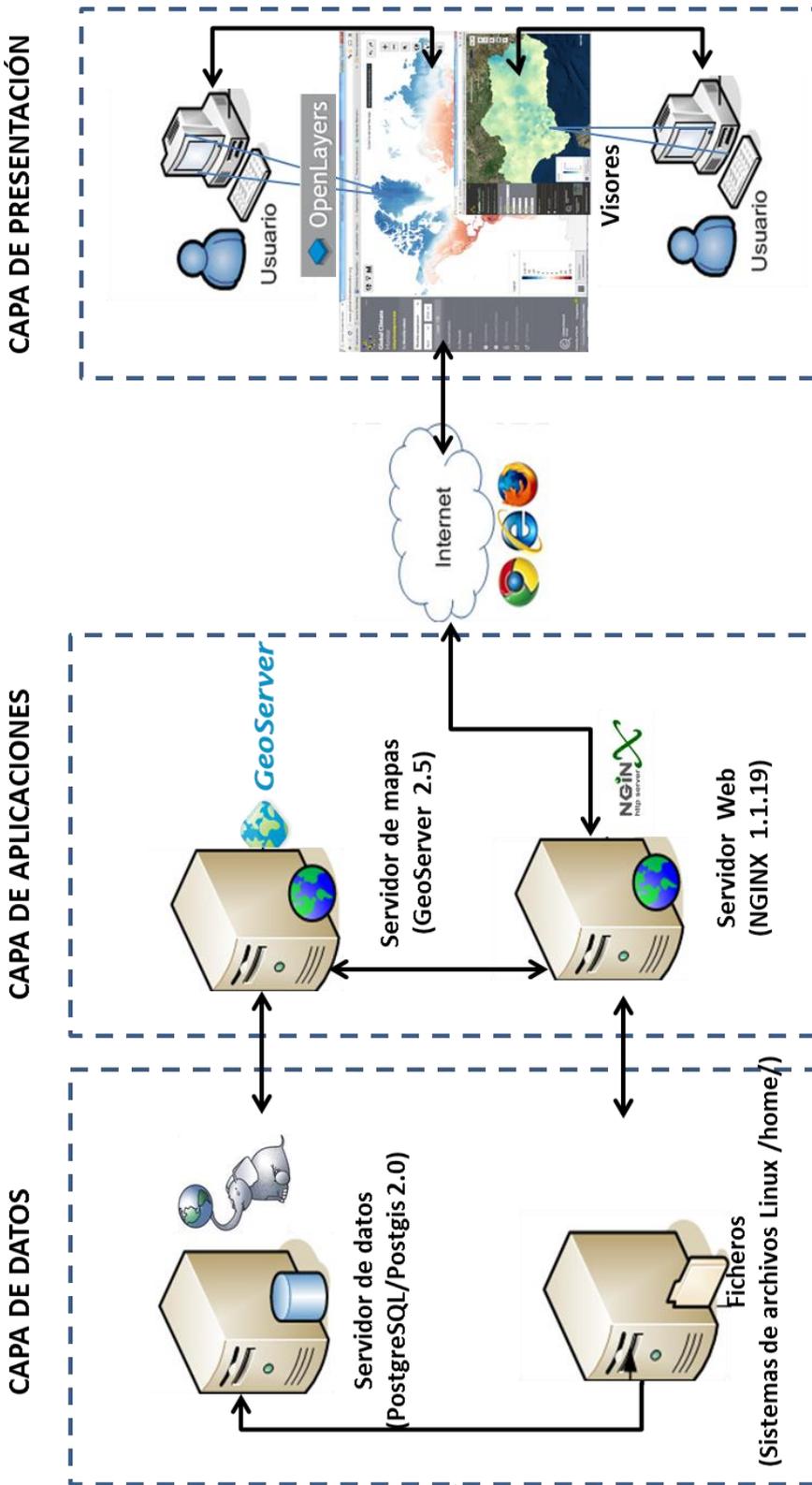


Fig. 37. Arquitectura de los sistemas. Fuente: Elaboración propia.

En la capa de datos residen los datos de los que se nutre el sistema. Los datos que actualmente muestra el sistema son producidos en primera instancia por la CRU (conjunto de datos *CRU TS 3.21*), en formato *NetCDF*, y después son importados mediante un script escrito en *Python* en una Base de Datos espacial relacional *PostGIS v.2.0*, que a su vez se construye sobre el sistema gestor de bases de datos relacional de código abierto *PostgreSQL v. 9.3.4*.

En la capa de aplicaciones se desplegó un servidor de mapas *GeoServer v.2.5* que se comunica con el sistema gestor de la base de datos para obtener las variables y servir las como servicios interoperables.

La capa de presentación o capa de usuario constituye el componente visible del sistema. La interfaz gráfica se ha desarrollado en *Openlayers v.2.13* sobre *HTML v5* y *CSS v3*. Aquí residen los visores, a los que se accede a través de las direcciones: <http://www.globalclimatemonitor.org> y <http://cambia.climasig.es>.

## VI.2. La escala global: Global Climate Monitor.

En los siguientes epígrafes se detallan los resultados para el sistema de geovisualización de datos climáticos a escala global.

### VI.2.1. El flujo de datos.

En la figura 38 se representa el flujo de datos en el sistema mediante un *DFD*. EL diagrama muestra los cuatro elementos principales (entidades externas, almacenes, procesos y flujos) y sus interacciones.

Las entidades externas, que se muestran en color azul en el diagrama, son:

- Las fuentes de datos originales: los conjuntos de datos *CRU TS v3.21*, *GHCN-CAMS* y *GPCC-FGM*, en formato *netCDF*.

- El cliente web. Se trata del producto final, el geovisor *Global Climate Monitor*, que funciona como cliente ligero en el navegador web.

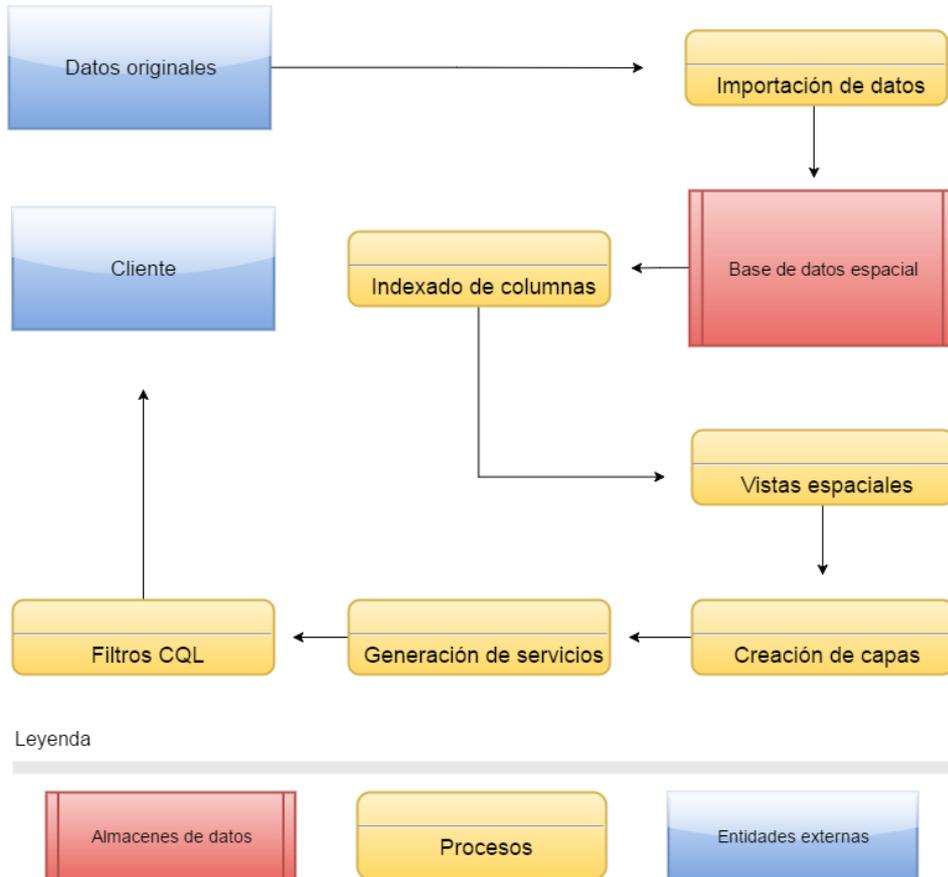


Fig. 38: Modelado del flujo de datos en el sistema Global Climate Monitor. Fuente: Elaboración propia.

En relación a los flujos y procesos, destacan los siguientes:

- Procesado y conversión de los datos almacenados en los archivos *netCDF*. Las variables primarias utilizadas por el sistema son extraídas de los archivos en su formato original mediante tres *scripts* diseñados y escritos en Python.

En el anexo II se incluye un ejemplo de script para no entorpecer la lectura (también son accesibles todos los *scripts* a través de *GitHub*<sup>44</sup>), se ocupan de la acceder secuencialmente a los archivos *netCDF* utilizando la librería *GDAL* y escribir (previa transformación si es necesario) los valores en la base de datos *PostgreSQL/PostGIS*.

- El proceso de indexado crea dos tipos de índices. El índice espacial sirve para optimizar las consultas espaciales y se crea sobre la columna de geometría de la relación *id\_coordenadas*. Los índices de atributos se crean para los campos que los necesiten, esto es, para los campos que serán objeto de consulta por parte de los clientes: el año y el mes para las variables mensuales, el año para las anuales y el periodo para las normales y las tendencias.
- Vistas *SQL* espaciales. Se diseñan las consultas *SQL* dedicadas a ofrecer las diferentes vistas de la base de datos (variables e indicadores).
- A partir de las vistas *SQL*, se definen de capas (layers) y su representación en el servidor cartográfico.
- Generación de los servicios web cartográficos estándares *OGC WMS* y *WFS*. Se genera un solo servicio por variable.
- Construcción del filtro *CQL*. Los filtros, que permiten la selección de un subconjunto de la serie temporal completa de los datos para una variable determinada, son construidos dinámicamente a partir de los parámetros que el cliente define en los formularios de la página del visor, mediante funciones de *Javascript*.

Los almacenes de datos utilizados, representados en rojo en la figura, son los siguientes:

---

<sup>44</sup> <https://github.com/JoseAlvarezFrancoso/Raster2bd>

- Base de datos espacial que gestiona tanto la cobertura de puntos/polígonos (correspondiente a los píxeles de la matriz original de datos) como los atributos alfanuméricos de las variables climáticas (temperatura, precipitación y evapotranspiración).

## VI.2.2. El modelo lógico de datos.

El modelo de datos entidad-relación se configura como un modelo en “araña” en el que la tabla de puntos geográficos, que almacena la geometría de los mismos mediante el campo *geom*, se sitúa en el centro estableciendo relaciones uno a muchos (1-M) con el resto de entidades (tablas) del modelo (figura 39).

Las entidades que participan en el modelo son las siguientes:

- *Id\_coordenadas e Id\_polygon*: Tablas que almacenan la geometría en forma de puntos y polígonos respectivamente. Las celdillas (0.5° x 0.5°) se corresponden únicamente con las tierras emergidas, y determinan un total de 67 420 puntos (figura 40).
- *cru\_pre*, *cru\_temp*, *cru\_temp\_min*, *cru\_temp\_max* y *cru\_etp*: Tablas que representan cada una de las variables primarias seleccionadas para las primeras versiones del sistema: precipitación, temperatura máxima, mínima y máxima y evapotranspiración potencial. Cada tabla almacena más de 1 300 meses de registros, desde 1901 hasta el último mes, para cada uno de los puntos de la rejilla. En total suman más de 450 millones de registros.
- *cru\_pre\_normales*, *cru\_temp\_normales*, *cru\_temp\_min\_normales*, *cru\_temp\_max\_normales* y *cru\_etp\_normales*: Tablas que almacenan los valores normales de las cinco variables para cada mes y para varios periodos de referencia durante el siglo XX. Estas tablas permiten optimizar el cálculo de otros indicadores derivados, como las anomalías.

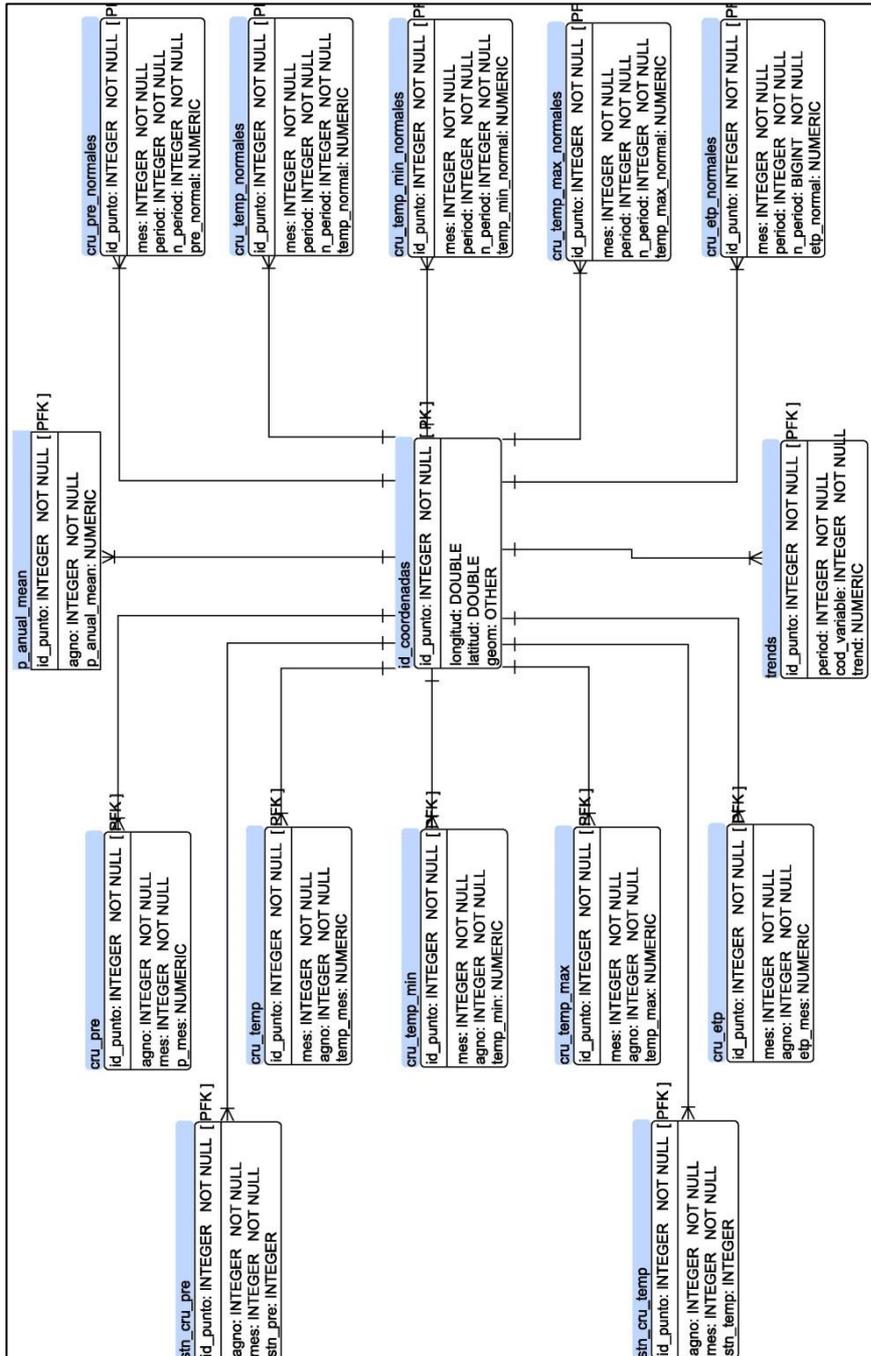


Fig. 39: Modelo lógico entidad relación del sistema Global Climate Monitor. Fuente: Elaboración propia.

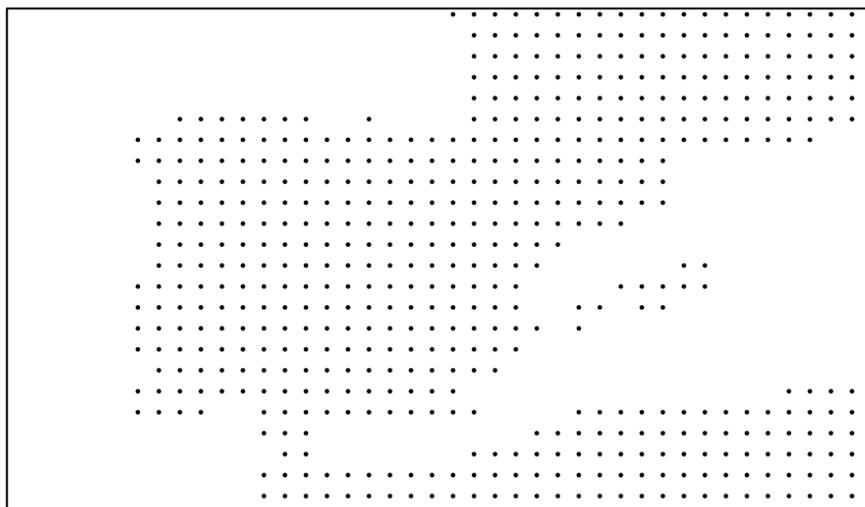


Fig. 40. Ejemplo de la cobertura de puntos de la rejilla a  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  centrado en la península ibérica. Fuente: Elaboración propia.

- *p\_anual\_mean*: esta tabla almacena los valores totales anuales derivados de los mensuales para optimizar también otros cálculos, como el del índice de estacionalidad de la precipitación.
- *trends*: en esta tabla se almacenan las tendencias lineales (mínimos cuadrados ordinarios) calculadas para tres periodos diferentes: 1901-2012, 1901-2050 y 1951-2012.
- *stn\_cru\_pre* y *stn\_cru\_temp*: son las tablas que almacenan el recuento de estaciones para cada mes de cálculo proporcionado por la CRU como un indicador de la calidad de la interpolación en rejilla de los datos de precipitación y temperatura respectivamente.

En el anexo III se muestran los esquemas de cada una de las entidades del modelo.

### VI.2.2.1. Vistas *SQL* de la base de datos.

Con el fin de generar las vistas de la base de datos de las variables mensuales

originales (precipitación, temperatura media, mínima y máxima y evapotranspiración) a partir de las cuales se construirán las capas en el servidor cartográfico, se han diseñado consultas espaciales en lenguaje *SQL*. Estas consultas utilizan las relaciones entre las tablas de variables originales y la tabla de coordenadas.

También se han diseñado una serie de consultas *SQL* para el cálculo de los indicadores derivados de las variables principales, que se muestran en la tabla 18. Todas las consultas se muestran en el anexo IV, y son también accesibles a través de la plataforma *GitHub*.

| Escala temporal                       | Temperatura  | Precipitación  | Evapotranspiración                           |
|---------------------------------------|--|--|--|
| <b>MENSUAL</b>                        | Anomalías TMED<br>Anomalías TMIN<br>Anomalías TMAX                         | Anomalías P<br>Anomalías P en porcentaje   | Anomalías ETP<br>Anomalías ETP en porcentaje |
| <b>ANUAL</b>                          | TMED<br>Anomalías TMED<br>TMIN<br>Anomalías TMIN<br>TMAX<br>Anomalías TMAX | P<br>Anomalías P<br>Anomalías P en %<br>Índice de estacionalidad de la P (Walsh & Lawler 1981) | ETP<br>Anomalías ETP<br>Anomalías ETP en %   |
| <b>NORMALES (MENSUALES Y ANUALES)</b> | TMED<br>TMIN<br>TMAX   | P  | ETP  |
| <b>TENDENCIAS</b>                     | TMED<br>TMIN<br>TMAX   | P  | ETP  |

Tabla. 18. Variables e indicadores climáticos de *Global Climate Monitor*. TMED: Temperatura media de las medias; TMIN: Temperatura media de las mínimas; TMAX: Temperatura media de las de las máximas; P: Precipitación total; ETP: Evapotranspiración potencial. Fuente: Elaboración propia.

La version actual del Sistema incorpora variables e indicadores fundamentales para la comprensión de las características y evolución del sistema climático, como:

- Los patrones climáticos mensuales y estacionales.
- Los valores medios de las variables para periodos normales de 30 años.
- Las anomalías mensuales absolutas y relativas referidas a dichos periodos.
- Los patrones anuales de las variables.
- Las tendencias.

En primer lugar, se ofrecen los valores mensuales originales procedentes de los conjuntos de datos de la CRU de precipitación, temperatura y evapotranspiración (periodo 1901-2012), del GPCC para la precipitación y de la GHCN-CAMS para la temperatura (desde 2012 hasta el último mes, actualizándose durante la primera semana del mes corriente).

Para la visualización de los patrones de distribución normales de las variables, se han calculado y generado vistas de los valores normales (mensuales y anuales) para periodos de 30 años correlativos cada diez años desde 1901 en adelante (1901-1930, 1911-1940, etc.).

Para mostrar la variabilidad intra-anual de la precipitación, se ha generado una vista que calcula el índice de estacionalidad de Walsh y Lawler, conocido como *Rainfall Seasonality Index* (Walsh & Lawler 1981). Este índice responde a la fórmula:

$$SI_i = \frac{1}{R_i} \sum_{n=1}^{n=12} |x_{ni} - R_i/12|$$

Donde  $SI_i$  es el índice de estacionalidad para el año  $i$ ,  $x_{ni}$  es la precipitación total del mes  $n$  y año  $i$ , y  $R_i$  es la precipitación total anual del año  $i$ .

También se han creado vistas de valores anuales a partir de los valores mensuales de las variables, calculando la media en el caso de la temperatura media, mínima y máxima y la suma total anual en el resto de casos.

Las anomalías han sido calculadas igualmente para las escalas mensual y anual, tomando como referencia el periodo normal de 1961-1990 establecido por la *WMO*. Las anomalías se ofrecen en valores absolutos para las cinco variables (temperatura media, mínima y máxima, precipitación y evapotranspiración) y también en valores relativos para la precipitación y la evapotranspiración.

Por último, se ha diseñado una vista para el cálculo de las tendencias de las tres variables desde 1901 hasta 2012 (conjunto de datos de la *CRU*). Adicionalmente, se han calculado las tendencias de forma aislada para las dos mitades de este periodo (1901-1950 y 1951-2012), en consonancia con los periodos de referencia del 5° Informe del IPCC (IPCC 2013). Las tendencias se han calculado como la pendiente derivada de un ajuste lineal por mínimos cuadrados, y puede interpretarse como el incremento regular en unidades de la variable por unidad de tiempo (este valor se multiplica por el número de meses del periodo para generar el mapa final). Aunque existen numerosas aproximaciones para estimar las tendencias de series climáticas (Hess et al. 2001), se ha optado por usar este método por su facilidad de cálculo y su extendido uso en la investigación (Hess et al. 2001; Tomé & Miranda 2004).

### **VI.2.3. El servidor cartográfico.**

Como ya se ha mencionado en el capítulo anterior, el sistema utiliza el software de código abierto *Geoserver v2.5* como servidor cartográfico. Las dos principales razones para su uso radican en su diseño orientado a la interoperabilidad y la facilidad de implementación.

Las capas se han publicado en el servidor cartográfico a partir de las consultas espaciales descritas en el apartado anterior. Para su difusión se han habilitado dos servicios únicos, *WMS* (visualización) y *WPS* (descarga), en el servidor

cartográfico, que tienen la siguiente URL de base:

<http://globalclimatemonitor.org/geoserver/gcm/ows?>

Los metadatos de cada servicio pueden por lo tanto solicitarse mediante la operación `getCapabilities` de la siguiente manera:

*WMS*: <http://globalclimatemonitor.org/geoserver/gcm/ows?service=wms&version=1.3.0&request=GetCapabilities>

*WFS*: <http://globalclimatemonitor.org/geoserver/gcm/ows?service=wfs&version=1.3.0&request=GetCapabilities>

Cada servicio ofrece así acceso a toda la serie temporal de datos correspondiente a todas las variables (layers del servicio). Para la visualización, es por tanto necesario filtrar los datos. Este filtro se hace insertando el parámetro `CQL_FILTER` en la solicitud de la capa al servicio. Por ejemplo, para solicitar una imagen *PNG* de la precipitación total correspondiente al mes de enero de 2001 en la región del Mediterráneo, la solicitud sería la que se observa en la figura 41.

[http://globalclimatemonitor.org/geoserver/gcm/wms?SERVICE=WMS&VERSION=1.1.1&REQUEST=GetMap&LAYERS=gcm:pre\\_mensual\\_espacial&STYLES=ip\\_pre\\_mensual\\_espacial&CQL\\_FILTER=agno=2001%20and%20mes=1&SRS=EPSG:4326&BBOX=-10,30,38,45&FORMAT=image/png&WIDTH=1200&HEIGHT=400](http://globalclimatemonitor.org/geoserver/gcm/wms?SERVICE=WMS&VERSION=1.1.1&REQUEST=GetMap&LAYERS=gcm:pre_mensual_espacial&STYLES=ip_pre_mensual_espacial&CQL_FILTER=agno=2001%20and%20mes=1&SRS=EPSG:4326&BBOX=-10,30,38,45&FORMAT=image/png&WIDTH=1200&HEIGHT=400)

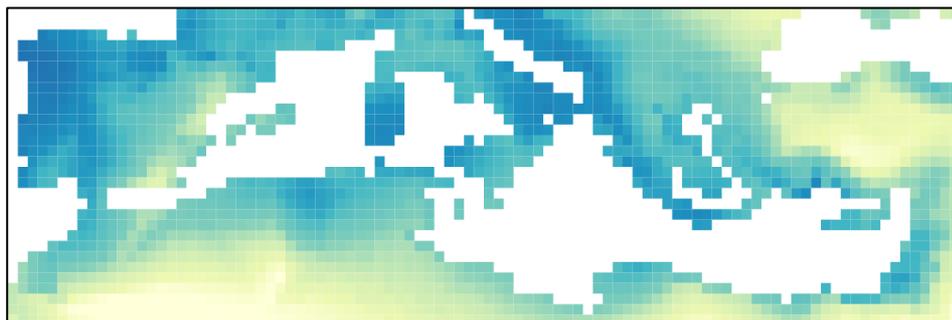


Fig. 41. Ejemplo de solicitud (recuadro superior) de una imagen al servicio WMS, con su correspondiente respuesta (recuadro inferior). Fuente: Elaboración propia.

La solicitud de la figura 42 se descompone en los siguientes pares parámetro/valor:

| Parámetro  | Valor                                       |
|------------|---|
| SERVICE    | WMS   |
| VERSION    | 1.1.1                                       |
| REQUEST    | GetMap                                      |
| LAYERS     | gcm:pre_mensual_espacial                    |
| STYLES     | ip_pre_mensual_espacial                     |
| CQL_FILTER | agno=2001 and mes=1                         |
| SRS        | EPSG:4326 ( <i>plate carrée</i> )           |
| BBOX       | -10,30,38,45 ( <i>xmin,ymin,xmax,ymax</i> ) |
| FORMAT     | Image/png                                   |
| WIDTH      | 1200 píxeles                                |
| HEIGHT     | 400 píxeles                                 |

Tabla. 19. Parámetros y valores de la solicitud de la figura 42. Fuente: Elaboración propia.

Partiendo de las gradaciones de colores definidas mediante la aplicación *Colorbrewer.org*, se realiza una interpolación entre los colores de clases consecutivas utilizando una función de transformación *interpolation* definida en la *Symbology Encoding Implementation 1.1.0* (Open Geospatial Consortium 2006b). Esta función se utiliza para asociar los valores de un atributo a una distribución semiológica continua de colores, tamaños, etc (figura 42). El uso de esta función permite no sólo simplificar enormemente la definición del estilo, sino que además mejora el rendimiento en comparación con estilos que definen un gran número de clases mediante reglas.



Fig. 42. Ejemplo de gradación con interpolación del color para la variable precipitación mensual. Fuente: Elaboración propia.

## VI.2.4. La interfaz de usuario

La interfaz de usuario, que puede verse en la figura 43, es accesible a través de la dirección: <http://www.globalclimatemonitor.org>. Está compuesta por una página html única en la que se muestra el mapa en la ventana principal de visualización y un menú replegable a la izquierda, el selector de capas.

Este selector muestra las variables como capas ordenadas en cuatro categorías: datos mensuales, anuales, normales y tendencias. A medida que el usuario hace una selección, se activa la visualización de la capa correspondiente y se actualiza automáticamente la leyenda replegable que se encuentra en la parte inferior izquierda de la ventana de visualización. Bajo los selectores de variable y escala temporal existe un botón que proporciona información sobre la variable visualizada en cada momento.

En la zona superior derecha se encuentra el selector de mapas base, mediante el que es posible elegir un fondo cartográfico entre las ocho posibilidades que se ofrecen: *Openstreetmap*, 4 mapas base de *Esri* (*Street map*, *Imagery*, *Topo basemap* y *Shaded Relief*), *Stamen toner-lite*, *Stamen watercolor* y un fondo blanco con los límites de los países y una máscara de línea de costa. A la izquierda del selector aparece un control que muestra las coordenadas en las que se encuentra el cursor a medida que se mueve por el mapa. Las coordenadas están expresadas en grados decimales para facilitar la interpretación del usuario. Todas las capas se muestran en la proyección *Web Mercator*, que desde la aparición de *Google Maps* se ha convertido en el estándar *de facto* de las aplicaciones de *web mapping*.

A la derecha están las herramientas de navegación clásicas: historial de *zoom*, aumento y disminución de *zoom*, *zoom* a una caja y a la extensión total. Debajo de estos botones está la herramienta de información sobre el píxel, que da acceso al valor individual del punto que se desee.

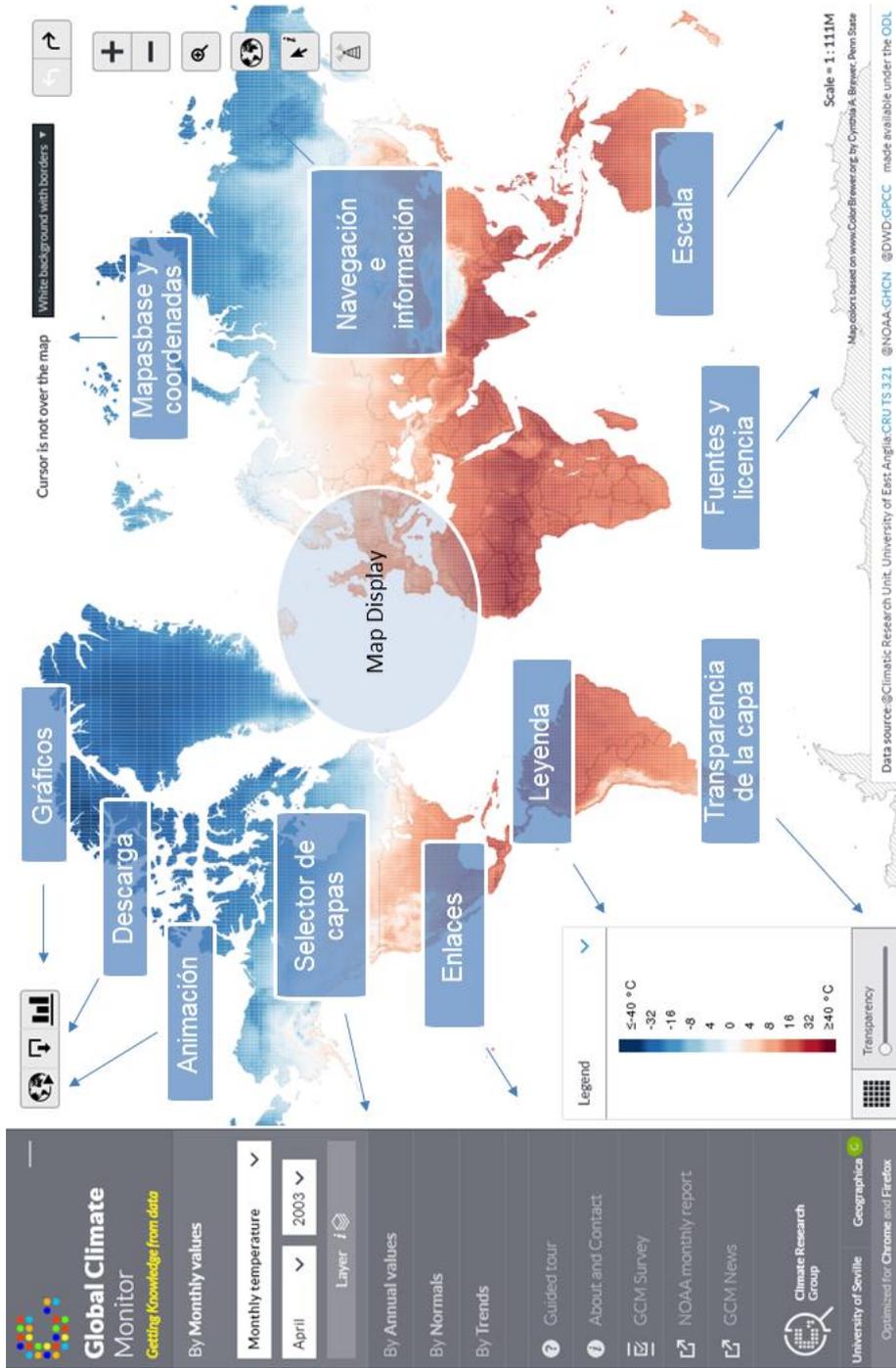


Fig. 43: Interfaz de usuario de Globalclimatemonitor.org. Fuente: Elaboración propia.

Por último, el botón inferior cambia la capa visualizada para mostrar un mapa del número de estaciones utilizado para la interpolación espacial de cada punto de rejilla. Este valor puede interpretarse como un indicador de la calidad de la interpolación espacial. Sólo es posible activar esta capa para las variables de la CRU.

En la parte superior izquierda se encuentran tres funcionalidades de exploración de la información: Animación, descarga y gráficos.

La funcionalidad de animación se abre en una nueva ventana (figura 44) y genera, para las cinco variables básicas, la secuencia animada de los valores normales mensuales (desde el mes seleccionado hasta diciembre) para los ocho periodos de treinta años del siglo XX (1901-1930, 1911-1940, etc.). La animación se inicia presionando el botón “*start animation*” bajo el selector de variable, mes y periodo.

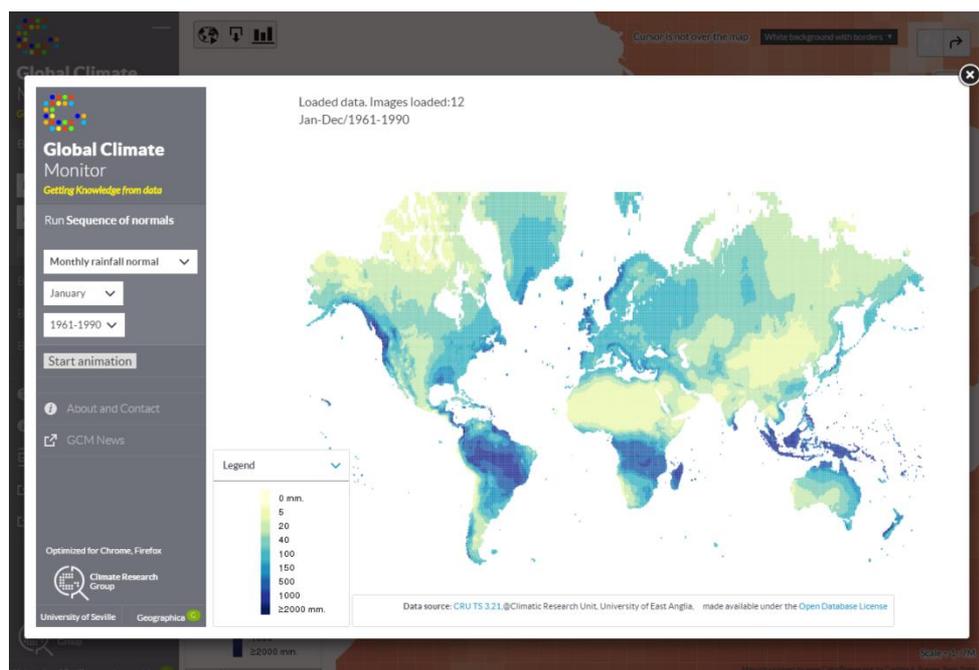


Fig. 44. Ventana de la funcionalidad de animación de normales de *Global Climate Monitor*. Fuente: Elaboración propia.

La funcionalidad de descarga propone, en primer lugar la descarga de información referida a un punto (*point*), a una extensión determinada (*bounding box*) por el usuario o bien a todo el mapa visible (*complete map*). Cuando el usuario selecciona un punto o una extensión, deberá hacer un clic sobre un punto del mapa o bien dibujar una caja definiendo la extensión de interés. Posteriormente se abre la interfaz de descarga (figura 45), desde la que se pueden obtener tres tipos de datos: series de datos, imágenes o geometría. Las series pueden descargarse en los formatos en los formatos *CSV* delimitado por comas y *XLSX*, con un límite de aproximadamente 500 000 registros por descarga. En el caso de imágenes y geometrías, es posible descargar un solo mes en los formatos *KML*, *GeoTIFF* y *JPG* para imágenes y *shapefile* y *KML* para geometrías (ver tabla 20).

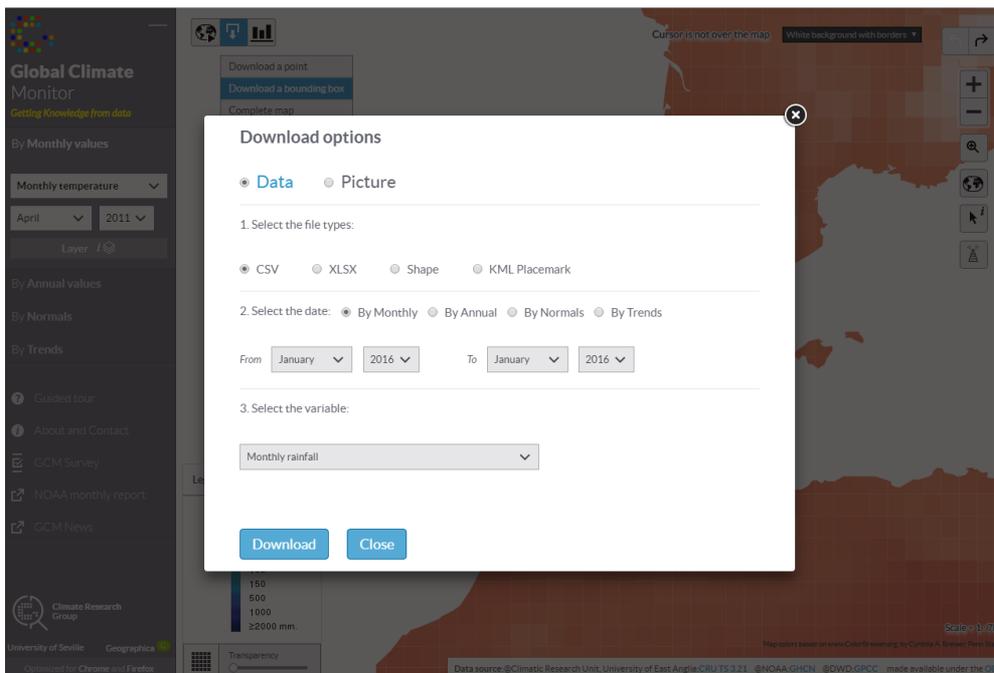


Fig. 45. Ventana de la funcionalidad de descarga de *Global Climate Monitor*. Fuente: Elaboración propia.

|                | Dato                    | Imagen                | Geometría        |
|----------------|-------------------------|-----------------------|------------------|
| Serie de datos | Hasta 500 000 registros | 1 mes                 | 1 mes            |
| Formato        | CSV<br>XLSX             | KML<br>GeoTIFF<br>JPG | Shapefile<br>KML |

Tabla. 20. Opciones de descarga de *Global Climate Monitor*. Fuente: Elaboración propia.

La descarga en formatos estándares con kml o shapefile permite a los usuarios integrar fácilmente la información de Global CLimate Monitor con otras aplicaciones de visualización y análisis espacial, como aplicaciones SIG de escritorio u otros programas de visualización (figura 46).

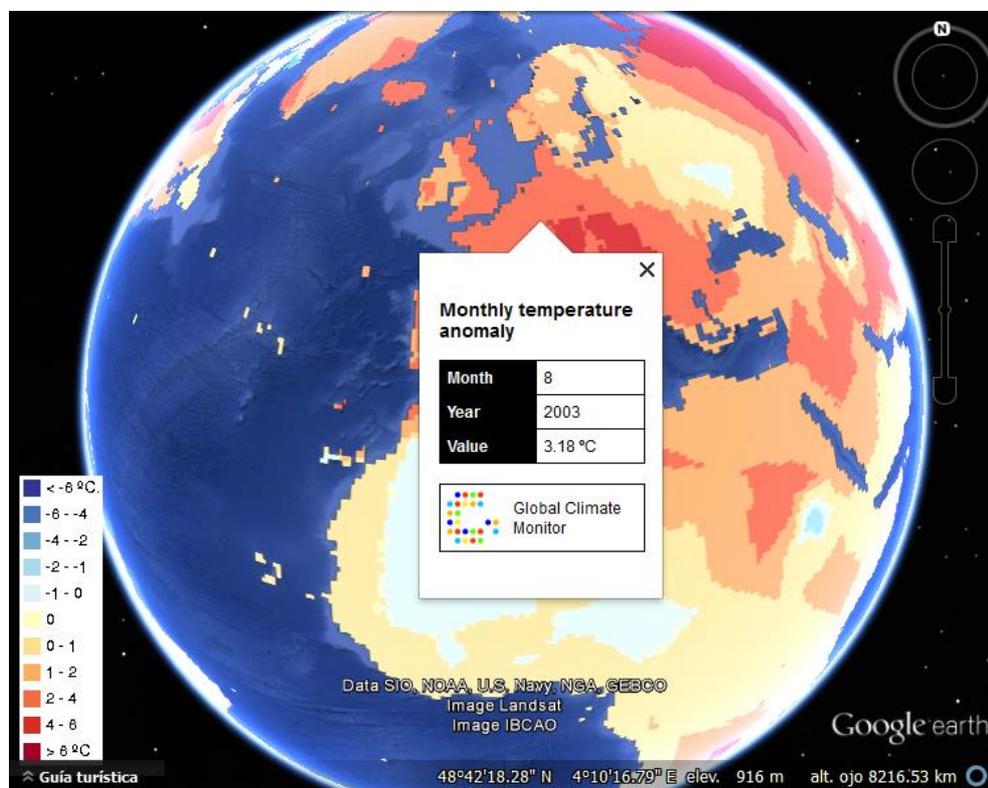


Fig. 46. Captura de pantalla de un archivo correspondiente a las anomalías térmicas mensuales de agosto de 2003 en formato *KML* visualizado en la aplicación *Google Earth*. Fuente: Elaboración propia.

La tercera funcionalidad ofrece al usuario la visualización de gráficos de las variables climáticas generados dinámicamente a partir de los datos del sistema y la interacción del usuario. La versión actual permite crear 5 tipos de gráficos: climogramas, series mensuales y anuales de temperatura y series mensuales y anuales de anomalías térmicas. Además, es posible duplicar la ventana para comparar gráficos de dos ubicaciones diferentes (figura 47). Desde la ventana del gráfico, éste puede imprimirse o descargarse en varios formatos de imagen.

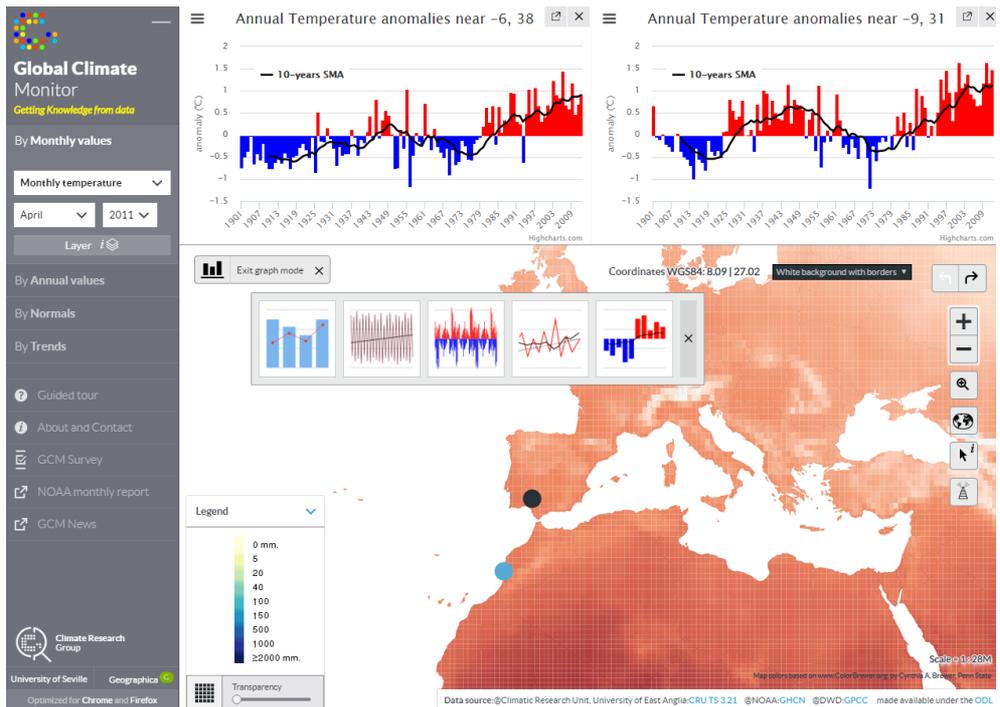


Fig. 47. Funcionalidad de gráficos de *Global Climate Monitor*. Fuente: Elaboración propia.

En la parte inferior del mapa aparece la información sobre la licencia y la fuente de los datos, con hiperenlaces de acceso a los mismos.

Finalmente, en la parte inferior del menú lateral se encuentran enlaces a páginas relacionadas y herramientas de ayuda (tour guiado) y retroalimentación (encuesta a usuarios).

La encuesta que se encuentra en la interfaz es una de las dos herramientas utilizadas para evaluar y analizar la opinión de los usuarios del sistema, con el fin de hacerlo evolucionar respondiendo a sus necesidades. Estas dos herramientas se describirán a continuación.

#### VI.2.4.1. Resultados de retroalimentación de los usuarios.

Las herramientas utilizadas para obtener la retroalimentación de los usuarios del sistema han sido dos: una encuesta a los usuarios de la aplicación, accesible desde la página del visor y una herramienta de análisis de la actividad de la página web del visor proporcionada por la *API Google Analytics*.

##### *VI.2.4.1.1. Encuesta a todos los usuarios de la aplicación.*

La encuesta se puede ver en la URL a la que apunta el enlace *GCM Survey*<sup>45</sup> y en el anexo V. La encuesta consta de nueve preguntas: cinco de ellas son de respuestas múltiples relacionadas con la adecuación de la aplicación a las necesidades del usuario, la facilidad de uso, claridad de contenidos y el diseño; las cuatro restantes son de respuesta libre, destinadas a conocer las fortalezas y puntos débiles de la aplicación y el perfil del usuario.

La encuesta se puso a disposición de los usuarios a partir de junio de 2015 y a ha sido completada hasta el momento por 40 usuarios, cuyas repuestas se resumen a continuación.

Todas las preguntas de respuesta múltiple ofrecen cinco posibilidades que, aunque están expresadas en términos cualitativos, pueden traducirse en cinco grados de menor a mayor en términos de satisfacción del usuario. En la figura 48 se muestra un gráfico con el porcentaje de respuestas de los usuarios para

---

<sup>45</sup> <https://www.surveymonkey.com/r/X3SV5B9?sm=fp65ReqO9BjrlE3lnCv9UA%3d%3d>

cada uno de los cinco niveles.

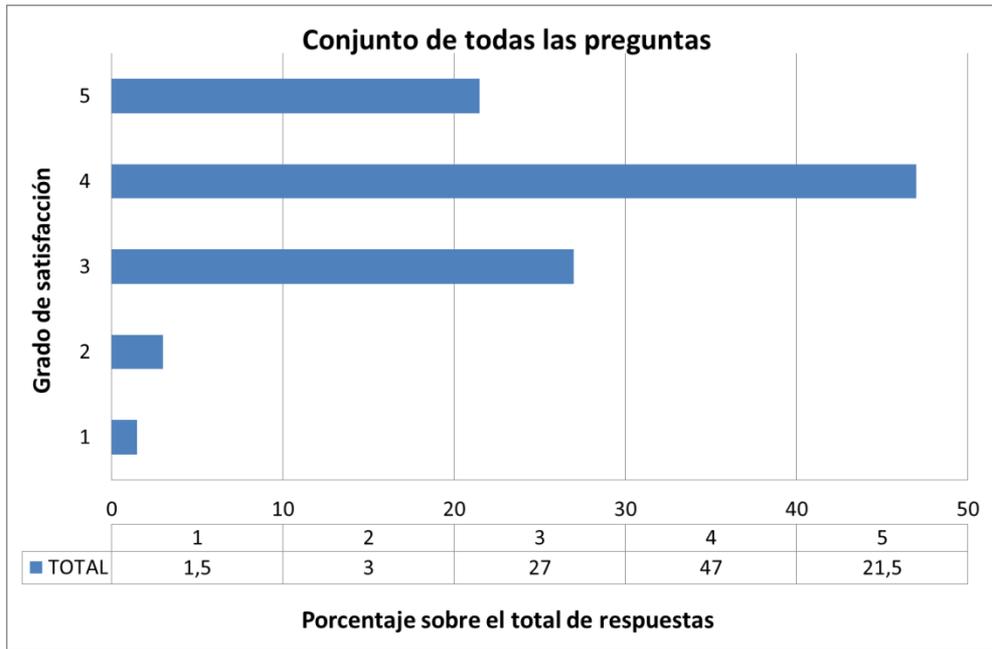


Fig. 48. Resumen de respuestas a la encuesta *Global Climate Monitor*. Fuente: Elaboración propia.

Los niveles cuatro y cinco suman un 68,5%, frente al 4,5% de la suma de los niveles uno y dos. Al entrar en el detalle de las preguntas (figura 49), puede observarse cómo la facilidad para entender la información que se encuentra en la aplicación es la respuesta con mayor puntuación. Dentro de la alta puntuación general, destaca la relevancia de los aspectos relacionados con la facilidad de uso de la aplicación.

En cuanto a las preguntas de respuesta libre, podemos destacar lo siguiente:

Los usuarios opinan en general que dos de las mayores cualidades de la aplicación son la rapidez y la facilidad de uso. La facilidad y flexibilidad de la descarga de datos es también un aspecto destacado por muchos usuarios.

En cuanto a las debilidades del sistema, el número de respuestas es menor y entre ellas, algunas apuntan expresamente que no hay ningún aspecto

claramente negativo. Prácticamente la totalidad de las apreciaciones restantes tienen relación con la necesidad de mejorar la resolución espacial de la información.

El perfil de los usuarios es muy variado: estudiantes, profesionales de diferentes campos, geógrafos, investigadores, especialistas en SIG, etc.

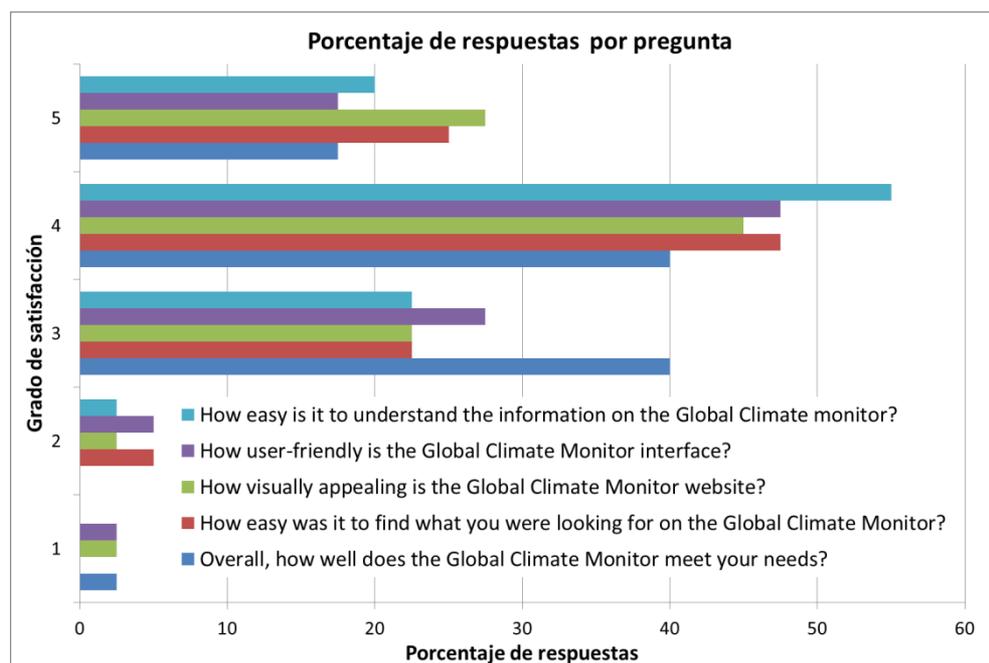


Fig. 49. Porcentaje de respuestas por pregunta a la encuesta *Global Climate Monitor*. Fuente: Elaboración propia.

#### VI.2.4.1.2. Estadísticas de uso *Google Analytics*.

*Google Analytics* es una herramienta gratuita que permite al administrador de un sitio web obtener toda una batería de estadísticas de uso del sitio. Una de las funcionalidades de la herramienta es la de ofrecer gráficos y mapas que resumen la actividad de los usuarios y la procedencia de las visitas a las páginas del sitio. En la figura 50 se muestra un mapa que representa el número de

visitas a la página *globalclimatemonitor.org* y origen geográfico de las mismas durante el último año. Como se puede observar en la figura, lógicamente, y debido a que la limitada difusión de la aplicación se ha hecho sobre todo a nivel nacional, casi un tercio del total de visitas (más de 10 000) proceden de España. Sin embargo, es destacable el hecho de que existan ya visitas de la mayoría de los países del mundo, con contadas excepciones relacionadas con el limitado acceso a internet de determinadas zonas.



Fig. 50. Distribución geográfica de los usuarios de *globalclimatemonitor.org* durante el último año (junio 2015 – mayo 2016). Fuente: Elaboración propia.

## VI.3. La escala Regional: **CAMBIA**.

El desarrollo de este sistema surge de la colaboración entre el departamento de Geografía Física y AGR de la Universidad de Sevilla y la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía en el proyecto llamado “Diseño y producción de servicios de datos climáticos interoperables y soluciones de visualización”.

El objetivo del proyecto consistía en la investigación, adaptación y desarrollo de un sistema, basado en el uso de servicios de datos interoperables, que permitiera la explotación y difusión de los datos generados en los trabajos de generación de escenarios regionales de cambio climático. Todo ello mediante la implementación de un visor cartográfico web que, mediante técnicas de *web mapping* de datos masivos, permita el acceso y la difusión de los escenarios de cambio climático en Andalucía.

### VI.3.1. El flujo de datos.

El flujo de datos en el sistema se representa mediante el diagrama que se muestra en la figura 44. En él se muestran los cuatro elementos principales (entidades externas, almacenes, procesos y flujos) y sus interacciones.

Las entidades externas, que se muestran en color azul en el diagrama, son:

- Las fuentes de datos originales: los conjuntos de datos *ELCCA*, en formato *GeoTIFF*.
- El cliente web, el geovisor *CambiA*, que funciona como cliente ligero en el navegador web.

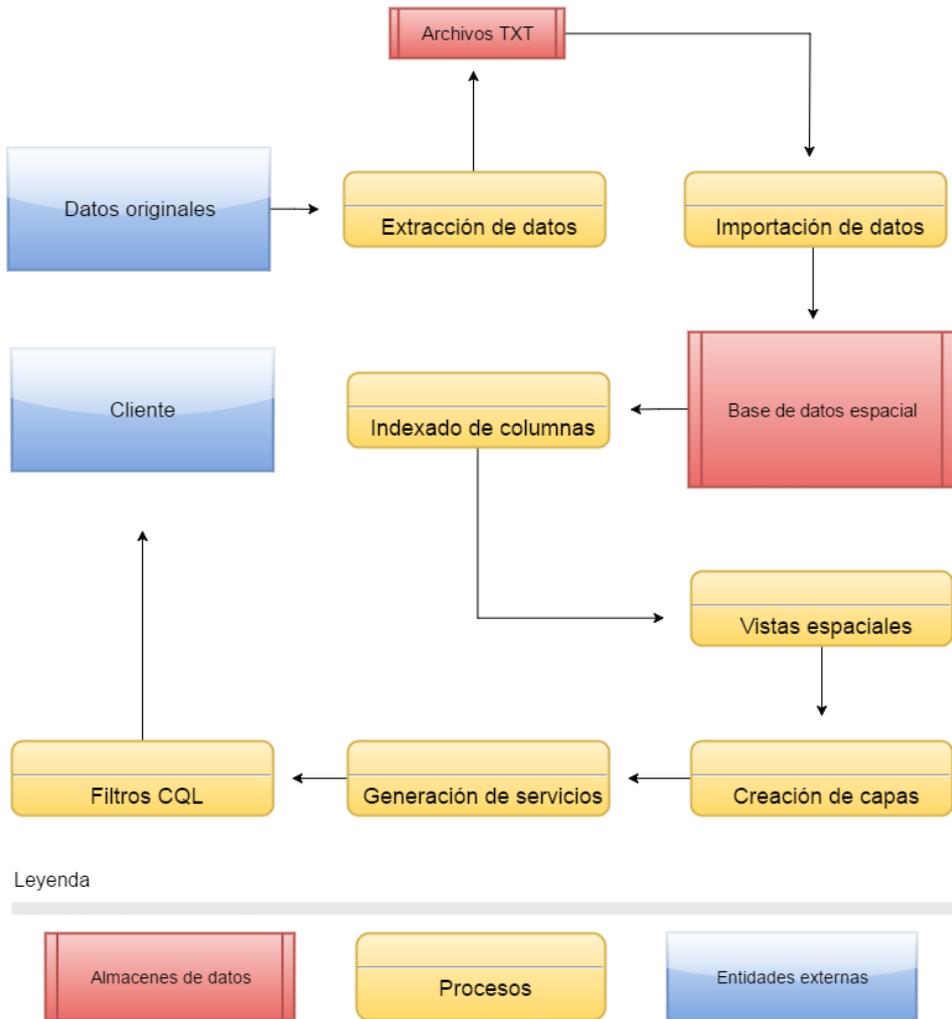


Fig. 51: Modelado del flujo de datos en el sistema CambiA. Fuente: Elaboración propia.

En relación a los flujos y procesos, destacan los siguientes:

- Procesado y conversión de los datos almacenados en los archivos *GeoTIFF*. Las variables primarias utilizadas por el sistema son extraídas de los archivos en su formato original mediante un *script Python*. Este *script*, incluido en el anexo II, accede secuencialmente a los archivos *GeoTIFF* utilizando la librería *GDAL* y escribe (previa transformación si es necesario) los valores en un archivo de texto delimitado por espacios.

- Una vez convertido a formato de texto, el archivo es importado en la base de datos espacial mediante la herramienta de importación implementada en el software *PostgreSQL/PostGIS (COPY)*.
- El proceso de indexado crea un índice único compuesto por los valores de los campos que serán objeto de consulta por parte de los clientes: el modelo, el escenario, el periodo y el mes.
- Se definen las capas (layers) y su representación en el servidor cartográfico. Se diseñan consultas *SQL* espaciales, dedicadas a ofrecer las diferentes vistas de la base de datos (variables e indicadores de cambio). Estas consultas se diseñan directamente en el servidor cartográfico y son parametrizadas, es decir que incluyen parámetros (variables), en este caso el propio índice, que será sustituido por un valor concreto cuando el usuario seleccione la combinación a visualizar.
- Se generan de los servicios web cartográficos estándares *OGC WMS* y *WFS*. Se genera un solo servicio con todas las variables.
- Construcción de las vistas *SQL* de forma dinámica a partir de los parámetros que el cliente define en los formularios de la página del visor, mediante funciones de *Javascript*.

Los almacenes de datos utilizados, representados en rojo en la figura, son los siguientes:

- Los archivos de texto separado por delimitadores como resultado de la conversión de los archivos *GeoTIFF* originales.
- La base de datos espacial que gestiona la cobertura de puntos y los atributos alfanuméricos de las variables climáticas (temperatura media y precipitación).

### VI.3.2. El modelo lógico de datos.

Considerando el alto número de registros que se almacenarán en esta base de datos (más de 6 mil millones), y que no deben realizarse actualizaciones en la misma, se ha optado por diseñar un modelo de datos simple en el que cada tabla contiene la geometría en el campo *geom* y una columna que almacena un indicador único para cada posible combinación de modelo-escenario-periodo y mes (figura 52). Asimismo, se han diseñado tablas simplificadas que contienen la geometría de una rejilla de puntos a 1 000 metros de resolución espacial. Cada uno de los puntos de malla a 1 000 metros toma el valor del punto más cercano de la rejilla original a 200 metros.

Las entidades fundamentales del sistema son las siguientes:

- *Ecc4\_200\_pre\_espacial* y *ecc4\_200\_temp\_espacial*: Tablas que almacenan las variables originales de proyecciones para el siglo XXI para diferentes modelos, escenarios y periodos, a 200 metros de resolución espacial: precipitación y temperatura media mensual (mil millones de registros por tabla).
- *Tmed\_aemet\_6100* y *pre\_aemet\_6100*: Tablas que almacenan las variables originales de temperatura media mensual y precipitación total mensual espacializadas a partir de valores observados de la AEMET, a 200 metros de resolución espacial (aproximadamente 25 millones de registros por tabla).

Por otra parte, se han diseñado también las tablas con indicadores derivados con el fin de optimizar el rendimiento de la base de datos:

- *Ecc4\_200\_pre\_espacial\_anual* y *ecc4\_200\_temp\_espacial\_anual*: Tablas que almacenan los valores derivados medios y totales anuales de la temperatura y precipitación mensuales respectivamente.

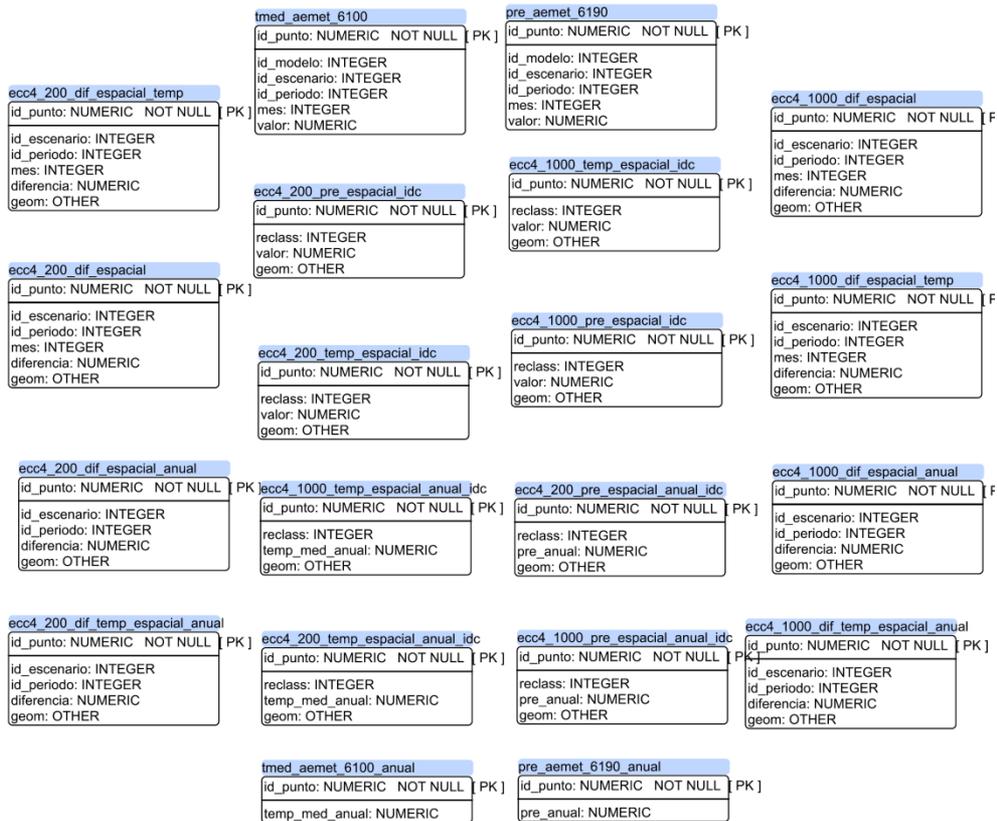


Fig. 52: Modelo lógico entidad relación del sistema CambiA. Fuente: Elaboración propia.

- *Tmed\_aemet\_6100\_anual* y *pre\_aemet\_6190\_anual*: Tablas que almacenan las variables derivadas de temperatura media anual y precipitación total anual de la AEMET, a 200 metros de resolución espacial (aproximadamente 2 millones de registros por tabla).
- *Ecc\_200\_dif\_espacial* y *ecc200\_dif\_espacial\_temp*: Tablas (la primera de precipitación mensual y la segunda de temperatura mensual) que contienen los valores de la diferencia entre la media de los valores proyectados por el conjunto de modelos y los valores observados del periodo 1961-2000.
- *Ecc\_200\_dif\_espacial\_anual* y *ecc200\_dif\_temp\_espacial\_anual*: Tablas (la primera

de precipitación anual y la segunda de temperatura anual) que contienen los valores de la diferencia entre la media de los valores proyectados por el conjunto de modelos y los valores observados del periodo 1961-2000.

- Todas las tablas anteriores tienen una versión que almacena los datos sobre las geometrías a 1000 metros de resolución espacial (sufijo \_1000).

En total, sólo para las variables temperatura y precipitación, el número total de registros en la base de datos alcanza aproximadamente los 2 300 millones.

En el anexo VI se muestran los esquemas de las entidades del modelo.

### **VI.3.3. El servidor cartográfico.**

El primer prototipo del sistema CambiA comparte el servidor cartográfico del sistema Global Climate Monitor, aunque debido al notable incremento en el número de registros de su base de datos, se han aplicado algunas técnicas diferentes en el diseño de las capas. Estas diferencias responden a la utilización de dos técnicas con el fin de optimizar la velocidad de renderizado de las imágenes en pantalla:

- Una primera técnica consiste en diseñar las vistas *SQL* espaciales parametrizadas en el servidor cartográfico. Las vistas parametrizadas contienen una variable que determinará el valor del campo que se utiliza para filtrar los datos. Este campo es el que se ha denominado “reclass” en las tablas, y sus valores se forman por la combinación de valores numéricos asociados a cada uno de los modelos, escenarios, periodos y meses. De esta manera, cada vez que un usuario hace una selección de una variable, modelo, escenario, periodo y mes en la interfaz, la aplicación genera un valor para la variable “reclass” y envía la consulta *SQL* con su valor.
- La segunda técnica utilizada es la composición, para cada variable, de un

grupo de capas formada por las dos geometrías a 200 y 1 000 metros. Cada una de las capas del grupo tiene un estilo asociado que sólo dibuja la capa a determinadas escalas. La capa de 1 000 metros se visualiza hasta la escala 1:50 000, mientras que la capa a 200 metros empieza a visualizarse únicamente a escalas superiores.

La combinación de ambas técnicas, unida a las peticiones *WMS* teseladas, incrementa de manera significativa la velocidad de presentación en pantalla de las capas, mejorando la experiencia del usuario.

### VI.3.4. La interfaz de usuario

La interfaz de usuario, que puede verse en la figura 53, es accesible a través de la dirección: <http://cambia.climasig.es>. Está compuesta por una página html única en la que se muestra el mapa en la ventana principal de visualización y un menú replegable a la izquierda, el selector de capas.

Este selector muestra las variables como capas ordenadas en cuatro categorías: variables mensuales, variables anuales, indicadores de cambio mensual e indicadores de cambio anual. A medida que el usuario hace una selección, se activa la visualización de la capa correspondiente y se actualiza automáticamente la leyenda replegable que se encuentra en la parte inferior izquierda de la ventana de visualización.

En la zona superior derecha se encuentra el selector de mapas base, mediante el que es posible elegir un fondo cartográfico entre las ocho posibilidades que se ofrecen: *Openstreetmap*, 4 mapas base de *Esri* (*Basemap*, *Satellite*, *Ocen basemap* y *Shaded relief*) y *Stamen toner-lite*. A la izquierda del selector aparece un control que muestra las coordenadas en las que se encuentra el cursor a medida que se mueve por el mapa. Las coordenadas están expresadas en grados decimales

para facilitar la interpretación del usuario. Todas las capas se muestran en la proyección *ETRS89 UTM 30*.

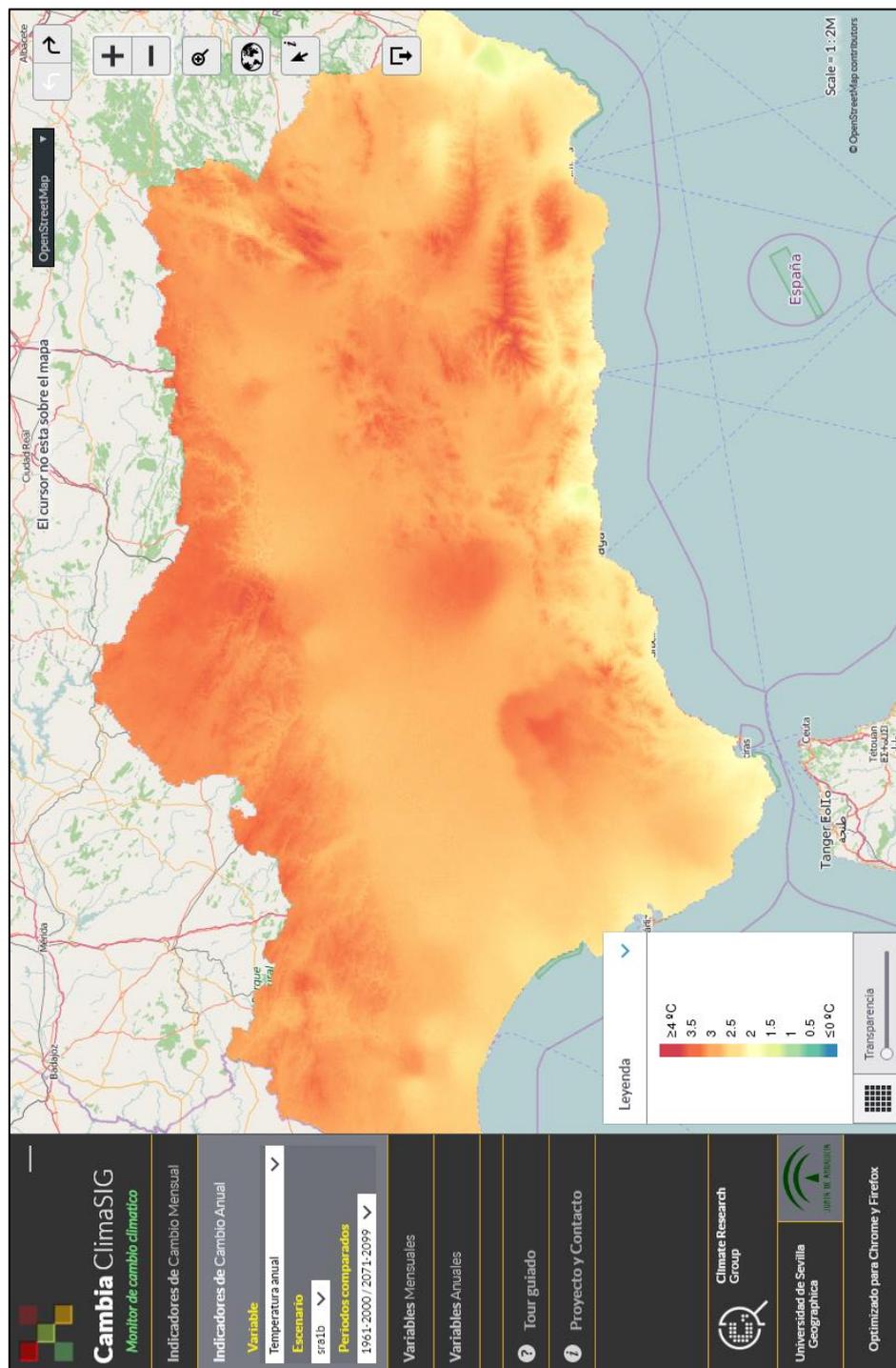


Fig. 53. Interfaz de usuario del visor Cambia. Fuente: Elaboración propia.

A la derecha están las herramientas de navegación clásicas: historial de *zoom*, aumento y disminución de *zoom*, *zoom* a una caja y a la extensión total. Debajo de estos botones está la herramienta de información sobre el píxel, que da acceso al valor individual del punto que se desee.

Finalmente, en la parte inferior del menú lateral se encuentran enlaces a páginas relacionadas con el proyecto y la herramienta de ayuda (tour guiado).

Aunque el sistema CambiA está en su primera etapa de desarrollo, su capacidad para revelar patrones en los datos que serían difícilmente detectables por otros medios se ha puesto de manifiesto inmediatamente. En la figura 54 se muestra una captura de pantalla de la visualización del indicador de cambio en la precipitación mensual; los valores anómalos que se observan en el extremo este revelan la posible existencia de un error en el cálculo de alguna de las variables.

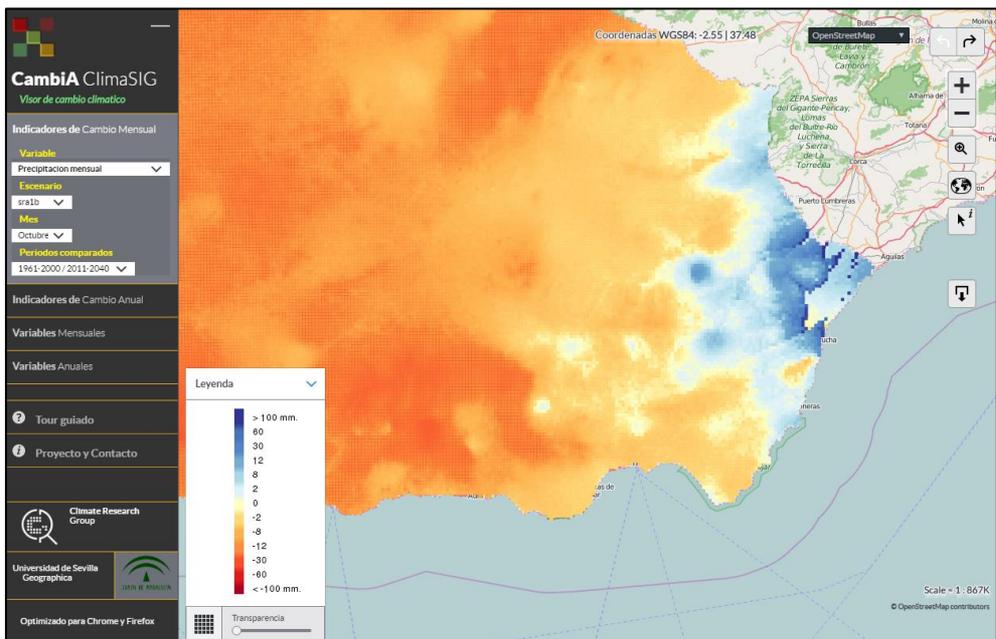


Fig. 54. Visualización del indicador de cambio mensual con respecto al periodo 1961-2000, para el mes de octubre, el escenario sra1b y el periodo 2011-2040. CambiA. Fuente: Elaboración propia.



## **VII. CONCLUSIONES**



Los datos científicos son fundamentales para la generación y contrastación de hipótesis. Los datos climáticos, como representaciones abstractas de aspectos del sistema climático, resultan imprescindibles para avanzar en el conocimiento del clima y de las posibles repercusiones que su evolución pueda tener sobre el ser humano.

Durante el último siglo y el inicio del actual, se ha generado una ingente cantidad de datos climáticos procedentes de la observación y de la modelización. A partir de ellos, se han generado conjuntos de datos en rejilla, dispuestos en una malla regular que cubre la totalidad del globo, y cuya estructura resulta adecuada para su integración en sistemas gestores de bases de datos. En la actualidad, la mayor parte de estos conjuntos de datos están disponibles de manera libre y gratuita para cualquier usuario que disponga de acceso a internet. Sin embargo, esta disponibilidad resulta ficticia desde el momento en que un usuario no es capaz ni tan siquiera de abrir los archivos en los que se distribuye la información, ya que estos se presentan en formatos científicos complejos o requieren disponer de recursos de *software* y *hardware* capaces de manejar grandes volúmenes de información.

Y sin embargo, el clima interesa a un público mucho mayor que el que está constituido por especialistas en el tratamiento de la información, especialmente en un contexto de conocimiento abierto y de desarrollo de políticas y de espacios de decisión participativos en los que el acceso a la información se torna en uno de los aspectos fundamentales. En este sentido, el dato debe ser además convenientemente organizado y analizado, puesto en un contexto que permita crear y transmitir información y conocimiento. Es necesario crear y potenciar al máximo las herramientas existentes para conseguir estos objetivos. La geovisualización o la visualización de los datos climáticos contextualizados

en el tiempo y en el espacio es capaz de proporcionar estas herramientas. La utilización de las nuevas tecnologías informáticas posibilita el diseño e implementación de sistemas que favorecen la difusión, mediante la geovisualización a través de la web o *web mapping*, de la información climática a un gran número de usuarios.

A pesar de que, en términos generales, los sistemas de *web mapping* actuales consagrados a datos climáticos globales son relativamente numerosos, las variables climáticas más fundamentales suelen situarse en los visores climáticos en un papel secundario. En otros casos, estos visores ofrecen una experiencia al usuario relativamente pobre en términos de dinamismo, velocidad e interacción.

## VII.1. Conclusiones generales.

Las conclusiones fundamentales que se extraen de este trabajo de investigación pueden resumirse en tres apartados que se circunscriben a los tres ámbitos abordados: los datos, la geovisualización y los usuarios.

En el ámbito de los **datos**, resultan relevantes algunas conclusiones:

- Las grandes bases de datos climáticos, tanto procedentes de la observación como interpolados o modelados, a pesar de estar disponibles públicamente, no garantizan ni facilitan su acceso y reutilización por la complejidad de los formatos en los que se distribuyen y por la dificultad que entraña el manejo de tan elevado volumen de datos.
- Por esta razón es fundamental diseñar sistemas y procedimientos que se ocupen de gestionar los datos originales y convertirlos al formato adecuado para su visualización. El incremento exponencial del volumen de datos recopilados no hará más que reforzar la necesidad de investigar en este

sentido.

- Aún siendo posible acceder a la información, es necesario en muchos casos reestructurar la información para que se ajuste a los fines perseguidos. Para ello, el diseño de modelos de datos es un paso crítico, que necesita de la intervención de especialistas con un alto grado de dominio tanto temático como tecnológico. En este trabajo se ha diseñado un modelo de datos que responde al objetivo específico de la tesis. Para ello se han utilizado datos a dos escalas espaciales (global y regional), a partir de dos tipos de datos climáticos: datos del pasado observados e interpolados a una rejilla a escala global y datos de proyecciones de futuro a escala regional.
- Del éxito de este diseño depende la eficacia posterior del sistema para derivar el cálculo de indicadores complementarios como se pone de manifiesto en este trabajo con los diferentes indicadores generados en los sistemas propuestos (tendencias, cambios, etc.) y la visualización de sus patrones espaciales. Esta estructura de las bases de datos es la base para el crecimiento del sistema, con el desarrollo de nuevos indicadores en el futuro.

En el ámbito de la **geovisualización**, hay que destacar dos elementos claves:

- Una arquitectura y diseño de flujos adecuados que facilitan un factor crítico en la comunicación a través de visores web como es la rapidez de la visualización. Esto es especialmente importante para favorecer el análisis exploratorio de los datos. En los casos en los que el espacio juega un papel principal, como ocurre con la información climática, la exploración visual deviene una herramienta imprescindible para comprender la información, las relaciones, patrones y evolución de los datos.
- Por otra parte, el adecuado tratamiento semiológico de los datos es un factor fundamental para ayudar a revelar patrones espaciales propios de los

datos o revelar incoherencias espaciales que respondan a potenciales errores no detectados por pruebas estadísticas o filtros convencionales.

En cuanto a la **interacción de los usuarios**, podemos enfatizar tres aspectos:

- La relevancia de las herramientas dinámicas complementarias para la exploración de los datos, como los gráficos interactivos.
- La versatilidad que ofrecen las aplicaciones en los procesos de descarga selectiva (a partir de atributos temporales y espaciales) en formatos de uso común tanto por parte de investigadores como de usuarios no especializados.
- La importancia de la implementación de herramientas de evaluación, como son las encuestas y las herramientas de analítica web. Estas herramientas son fundamentales para conseguir una evolución de los sistemas respondiendo a los requerimientos de los usuarios.

Por último, cabe destacar que en este trabajo, el diseño de los sistemas propuestos se ha basado en la utilización de tecnologías web estándares y software de código abierto, que unida al modelado adecuado de la base de datos y a la utilización óptima de las tecnologías disponibles, ha permitido la consecución de los objetivos planteados. Aunque para llevar a cabo la concepción, el diseño y la implementación de estos sistemas, son necesarios equipos que conjuguen especialistas en la vertiente temática y la tecnológica, es fundamental la intervención de personas con una formación que les habilite para supervisar todos los elementos del proceso, y en este aspecto, creemos que el geógrafo debe desempeñar un papel principal.

## **VII.2. Satisfacción de las hipótesis de investigación**

En relación con las hipótesis planteadas en el primer capítulo de este trabajo, podemos concluir lo siguiente:

- En relación con la primera hipótesis, consideramos que se ha puesto de manifiesto que la geovisualización no es sólo adecuada, sino que resulta imprescindible para difundir la información climática a un gran número de usuarios, y especialmente a aquellos que no están especializados en los formatos y naturaleza de los datos originales.
- En relación con la segunda hipótesis, entendemos que los resultados de este trabajo de investigación prueban cómo un adecuado diseño, tanto del modelo de datos en el que se sustentan los sistemas propuestos, como de los flujos de los procesos implicados en el funcionamiento de los mismos, es imprescindible para conseguir una visualización y acceso rápidos a los datos.
- Por último, este trabajo evidencia que una adecuada utilización de los servicios web geoespaciales interoperables, en combinación con las herramientas tecnológicas actuales, permiten el diseño de sistemas adaptados a los requerimientos de los usuarios en términos de acceso y visualización de grandes bases de datos climáticas.

## **VII.3. Líneas de investigación futuras.**

Los sistemas de geovisualización desarrollados en este trabajo se encuentran en constante proceso de mejora y actualización. Las herramientas de retroalimentación por parte de los usuarios han permitido y permitirán en el futuro, continuar perfeccionando los sistemas para ofrecer cada vez mejores

experiencias en la visualización y acceso, promoviendo la difusión y creación de conocimiento a partir de los datos climáticos.

Las perspectivas en cuanto a este trabajo de investigación en el futuro pueden resumirse los siguientes puntos, relacionados con tres grandes aspectos:

- Aspectos relacionados con los datos de entrada de los sistemas. Los próximos prototipos incorporarán nuevas variables que aun no han sido incluidas. En el caso del Global Climate Monitor, se incorporarán en primer lugar el resto de variables del conjunto de datos de la *CRU* actualizadas a su última versión. Asimismo, se investigará en la inclusión de nuevas variables con mayor resolución espacial en respuesta a los requerimientos de los usuarios. En cuanto al visor a escala regional, también se prevé la inclusión del gran número de variables resultantes del proyecto ELCCA. Una línea especialmente interesante de la investigación consiste en la aplicación de métodos que permitan integrar los dos sistemas propuestos a diferentes escalas.
- Una segunda línea de investigación se centrará en el diseño e implementación de nuevos indicadores derivados de los datos originales, fundamentales para la transmisión del conocimiento sobre el clima.
- Un tercer aspecto está relacionado con el desarrollo de la interfaz de usuario. Se investigará en seguir desarrollando las interfaces mediante la mejora de las herramientas existentes y la incorporación de nuevas herramientas tecnológicas que permitan avanzar en nuevas formas de visualización de los datos. En este sentido, ya se ha comenzado a trabajar en la presentación de los datos a través de visores globales 3D o virtual globes, con un resultado preliminar que puede visualizarse en la figura 54 y en la dirección URL <http://globalclimatemonitor.org/globe>.

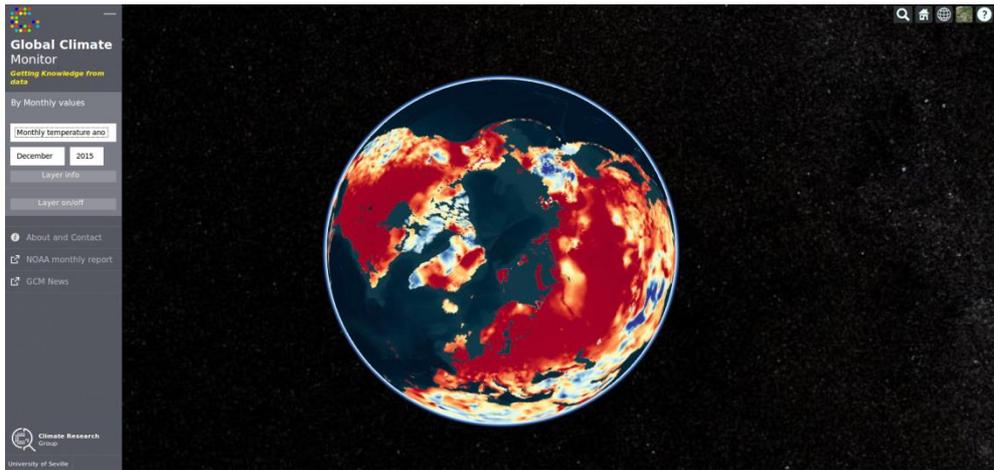


Fig. 54. Visualización de las anomalías térmicas del mes de diciembre de 2015 con respecto al periodo 1961-2000 en un globo virtual. Fuente: Elaboración propia.



---

# Bibliografía

- Aamodt, A. & Nygård, M., 1995. Different roles and mutual dependencies of data, information, and knowledge - an AI perspective on their integration. *Data and Knowledge Engineering*, 16, pp.191–222.
- Ackoff, R.L., 1989. From data to wisdom. *Journal of Applied System Analysis*, 16, pp.3–9.
- Aigner, W. et al., 2008. Visual methods for analyzing time-oriented data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(1), pp.47–60.
- Alder, J., Hostetler, S. & Williams, D., 2013. An Interactive Web Application for Visualizing Climate Data. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 94(22), pp.197–198. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/2013EO220001> [Accessed April 12, 2016].
- Amirian, P., Basiri, A. & Winstanley, A., 2014. Evaluation of Data Management Systems for Geospatial Big Data. In B. Murgante et al., eds. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2014*. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, pp. 678–690. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-09156-3> [Accessed April 12, 2016].
- Anderson, C., 2008. The End of Theory: The Data Deluge Makes the Scientific Method Obsolete. *Wired*. Available at: <http://www.wired.com/2008/06/pb-theory/> [Accessed April 8, 2015].
- Angell, J.K., 1988. Variations and trends in tropospheric and stratospheric global temperatures, 1958-87. *Journal of Climate*, 1, pp.1296–1313. Available at: [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442\(1988\)001%3C1296:VATTTA%3E2.0.CO;2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442(1988)001%3C1296:VATTTA%3E2.0.CO;2) [Accessed March 12,

2016].

Antelman, K., 2004. Do Open-Access Articles Have a Greater Research Impact? *College & Research Libraries*, 65(5), pp.372–382. Available at: <http://crl.acrl.org/cgi/doi/10.5860/crl.65.5.372>.

Arzberger, P. et al., 2004. Promoting Access to Public Research Data for Scientific, Economic, and Social Development. *Data Science Journal*, 3(November), pp.135–152. Available at: <http://jlc.jst.go.jp/DN/JALC/00272500307?from=Google> [Accessed March 27, 2016].

Assmann, S.M. et al., 2010. *RA-10 Final Investigation Report Involving Dr. Michael E, Mann*, 19 p.

Backlund, A., 2000. The definition of system. *Kybernetes*, 29(4), pp.444–451. Available at: <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/03684920010322055>.

Baranger, D., 2009. *Construcción y análisis de datos*, Posadas: UNAM. 121 p.

Bartling, S. & Friesike, S., 2014. *Opening Science* S. Bartling & S. Friesike, eds., Cham: Springer International Publishing. 339 p. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-00026-8> [Accessed November 11, 2015].

Bauer, F. & Smith, J. eds., 2015. *The Climate Knowledge Brokers Manifesto. Informed decision making for a climate resilient future*, Vienna, Austria: Renewable Energy and Energy Efficiency Partnership. 73 p.

Becker, A. et al., 2013. A description of the global land-surface precipitation data products of the Global Precipitation Climatology Centre with sample applications including centennial (trend) analysis from 1901–present. *Earth System Science Data*, 5(1), pp.71–99. Available at:

- <http://www.earth-syst-sci-data.net/5/71/2013/>.
- Bengtsson, L. & Shukla, J., 1988. Integration of Space and In Situ Observations to Study Global Climate Change. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 69(10), pp.1130–1143. Available at: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0477%281988%29069%3C1130%3AIVOSAIS%3E2.0.CO%3B2>.
- Berners-Lee, T., 2006. Linked Data. *Design Issues*. Available at: <https://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html> [Accessed May 7, 2016].
- Bessembinder, J., 2012. *Guidance to support the identification and assessment of users' requirements*, 33 p.
- Boden, A. & Avram, G., 2009. Bridging knowledge distribution - The role of knowledge brokers in distributed software development teams. In *2009 ICSE Workshop on Cooperative and Human Aspects on Software Engineering*. IEEE, pp. 8–11. Available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1572193.1572205> [Accessed May 2, 2016].
- Borgman, C.L., 2012. The conundrum of sharing research data. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(6), pp.1059–1078. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/asi.22634>.
- Boulos, M.N.K. et al., 2010. Web GIS in practice VIII: HTML5 and the canvas element for interactive online mapping. *International journal of health geographics*, 9, p.14.
- Boulton, G. et al., 2011. Science as a public enterprise: the case for open data. *The Lancet*, 377(9778), pp.1633–1635. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140673611606478>.

- Braganza, A., 2004. Rethinking the data–information–knowledge hierarchy: towards a case-based model. *International Journal of Information Management*, 24(4), pp.347–356. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268401204000519>.
- Brewer, C.A., 1997. Spectral Schemes: Controversial Color Use on Maps. *Cartography and Geographic Information Systems*, 24(4), pp.203–220. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1559/152304097782439231> [Accessed January 25, 2016].
- Camuffo, D., Bertolin, C. & Jones, P.D., 2010. The earliest daily barometric pressure readings in Italy: Pisa AD 1657-1658 and Modena AD 1694, and the weather over Europe. *The Holocene*, 20(3), pp.337–349. Available at: <http://hol.sagepub.com/content/20/3/337.short> [Accessed March 7, 2016].
- Cartwright, W. et al., 2001. Geospatial Information Visualization User Interfaces Issues. *Cartography and Geographic Information Science*, 28(1), pp.45–60. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1559/152304001782173961> [Accessed January 25, 2016].
- Cassidy, D.C., 1985. Meteorology in Mannheim: The Palatine Meteorological Society, 1780-1795. *Sudhoffs Archiv*, 69, pp.8–25. Available at: <http://www.jstor.org/stable/20776952> [Accessed March 11, 2016].
- Chen, P., 1976. The entity-relationship model: toward a unified view of data. *ACM Transactions on Database Systems*, 1(1), pp.9–36.
- Cimiano, P. et al. eds., 2013. The Semantic Web: Semantics and Big Data. In *10th International Conference, ESWC*. p. 728.
- Clayton, H.H., 1927. *World Weather Records*, Washington D.C.: Smithsonian

- Press. 1196 p. Available at:  
<https://archive.org/details/worldweatherreco033416mbp>.
- Codd, E.F., 1970. A relational model of data for large shared data banks. *Communications of the ACM*, 13(6), pp.377–387. Available at:  
<http://www.seas.upenn.edu/~zives/03f/cis550/codd.pdf>.
- Codd, E.F., 1969. *Derivability, Redundancy, and Consistency of Relations Stored in Large Data Banks*, 13 p.
- Comisión Europea, 2007. *Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de marzo de 2007 por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea (Inspire)*, European Union. Available at:  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:108:0001:01:ES:HTML>.
- Compo, G.P. et al., 2011. The Twentieth Century Reanalysis Project. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(654), pp.1–28. Available at:  
<http://doi.wiley.com/10.1002/qj.776> [Accessed November 16, 2015].
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, Elaboración de Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía. Available at:  
<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.m.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnnextoid=e685c4f9d8a26310VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=9970c4f9d8a26310VgnVCM2000000624e50aRCRD>.
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, 2015. *Escenarios Locales de Cambio Climático en Andalucía. Actualización al 4º Informe del IPCC*, 84 p.

- Cooper, P., 2014. Data, information, knowledge and wisdom. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, 15(1), pp.44–45.
- Crampton, J.W., 2002. Interactivity Types in Geographic Visualization. *Cartography and Geographic Information Science*, 29(2), pp.85–98. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1559/152304002782053314> [Accessed January 25, 2016].
- Cressman, G.P., 1959. An Operational Objective Analysis System. *Monthly Weather Review*, 87(10), pp.367–374. Available at: [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0493\(1959\)087%3C0367%3AAOOAS%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0493(1959)087%3C0367%3AAOOAS%3E2.0.CO%3B2) [Accessed March 22, 2016].
- CRU, CRUTS v3.23 Observations. Available at: [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru\\_ts\\_3.23/observation.v3.23/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_3.23/observation.v3.23/) [Accessed July 24, 2015].
- Cuadrat, J.M. & Pita, M.F., 2006. *Climatología* 4<sup>a</sup> Ed., Madrid: Cátedra. 496 p. Available at: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=HAG.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=017180> [Accessed April 25, 2016].
- Dawes, S., 2012. A realistic look at open data. *Center for Technology in Government at University at Albany/SUNY The*, p.5. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.357.3582&rep=rep1&type=pdf> [Accessed March 27, 2016].
- Dec, D.P. et al., 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656), pp.553–597. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/qj.828>.

- Déqué, M. et al., 1994. The ARPEGE/IFS atmosphere model: a contribution to the French community climate modelling. *Climate Dynamics*, 10, pp.249–266. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/BF00208992> [Accessed March 16, 2016].
- Dove, E.S., 2015. Reflections on the Concept of Open Data. *SCRIPTed*, 12(2), pp.154–166. Available at: <http://script-ed.org/?p=2125>.
- Dykes, J., MacEachren, A.M. & Kraak, M.J., 2005. Introduction Exploring Geovisualization. In J. A. Dykes, ed. *Exploring Geovisualization*. Amsterdam: Elsevier, pp. 1–19. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978008044531150419X>.
- Edwards, P.N. et al., 2011. Science friction: Data, metadata, and collaboration. *Social Studies of Science*, 41(5), pp.667–690. Available at: <http://sss.sagepub.com/content/41/5/667.abstract>.
- Evans, J. a & Reimer, J., 2009. Open access and global participation in science. *Science (New York, N.Y.)*, 323(February), p.1025.
- Evans, M.R. et al., 2014. Spatial Big Data. Case Studies on Volume, Velocity, and Variety. In H. A. Karimi, ed. *Big Data. Techniques and Technologies in Geoinformatics*. Boca Raton, Florida: CRC Press, pp. 149–176.
- Fan, Y. & Dool, H. van den, 2008. A global monthly land surface air temperature analysis for 1948–present. *Journal of Geophysical Research*, 113(D1), p.D01103. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1029/2007JD008470> [Accessed March 21, 2016].
- Federal Register, 1994. *Executive Order 12906 of April 11, 1994. Coordinating Coordinating Geographic Data Acquisition and Access: The National Spatial Data Infrastructure*, USA.

- Ferrer-Sapena, A., Peset, F. & Aleixandre-Benavent, R., 2011. Acceso a los datos públicos y su reutilización: open data y open government. *El profesional de la información*, 20(3), pp.260–269. Available at: <http://eprints.rclis.org/20997/> [Accessed March 27, 2016].
- Ferrer-Sapena, A. & Sánchez-Pérez, E., 2013. Open data, big data:¿ hacia dónde nos dirigimos? *Anuario ThinkEPI 2013*. Available at: <http://eprints.rclis.org/21006/> [Accessed March 27, 2016].
- Flato, G.M., 2011. Earth system models: an overview. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(6), pp.783–800. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/wcc.148>.
- Fowler, H.J., Blenkinsop, S. & Tebaldi, C., 2007. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *International Journal of Climatology*, 27(12), pp.1547–1578. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.1556> [Accessed January 5, 2016].
- Galtung, J., 1978. *Teoría y métodos de la investigación social* 5th ed., Buenos Aires: Eudeba. 205 p.
- Gewin, V., 2016. Data sharing: An open mind on open data. *Nature*, 529(7584), pp.117–9. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26744755>.
- Girvetz, E.H. et al., 2009. Applied Climate-Change Analysis: The Climate Wizard Tool A. Traveset, ed. *PLoS ONE*, 4(12), pp.1–19. Available at: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0008320>.
- Gray, J. et al., 2005. *Scientific data management in the coming decade*, 34 p.–41 p. Available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1107503> [Accessed January 26, 2016].
- Groth, P. & Gil, Y., 2011. Linked Data for Network Science. In *1st International*

- 
- Workshop on Linked Science*. pp. 1–12. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-783/paper1.pdf> [Accessed April 10, 2016].
- Hajjem, C., Harnad, S. & Gingras, Y., 2006. Ten-Year Cross-Disciplinary Comparison of the Growth of Open Access and How it Increases Research Citation Impact. *IEEE Data Engineering Bulletin*, 28(4), pp.39–47. Available at: <http://arxiv.org/abs/cs/0606079> [Accessed April 11, 2016].
- Haklay, M., Singleton, A. & Parker, C., 2008. Web mapping 2.0: The neogeography of the GeoWeb. *Geography Compass*, 2(6), pp.2011–2039. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1749-8198.2008.00167.x> [Accessed January 25, 2016].
- Harris, I. et al., 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34(3), pp.623–642. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.3711> [Accessed January 25, 2016].
- Harrower, M. & Brewer, C.A., 2003. ColorBrewer.org: An Online Tool for Selecting Colour Schemes for Maps. *The Cartographic Journal*, 40(1), pp.27–37. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/000870403235002042>.
- Harrower, M., MacEachren, A.M. & Griffin, A.L., 2000. Developing a Geographic Visualization Tool to Support Earth Science Learning. *Cartography and Geographic Information Science*, 27(March 2015), pp.279–293. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1559/152304000783547759> [Accessed January 25, 2016].
- Hartmann, D.L. et al., 2013. Observations: Atmosphere and Surface. In T. F. Stocker et al., eds. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution*

- 
- of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 159–254.
- Hess, A., Iyey, H. & Malm, W., 2001. Linear trend analysis: a comparison of methods. *Atmospheric Environment*, 35, pp.5211–5222.
- Hey, A. & Trefethen, A.E., 2003. The data deluge: An e-science perspective. In F. Berman, G. C. Fox, & A. J. G. Hey, eds. *Grid Computing - Making the Global Infrastructure a Reality*. Wiley and Sons, pp. 809–824. Available at: <http://eprints.soton.ac.uk/257648/2/indexcodes.txt>.
- Heymann, M., 2010. The evolution of climate ideas and knowledge. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(4), pp.581–597. Available at: <http://www.cce-review.org/>.
- Hijmans, R.J. et al., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), pp.1965–1978. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.1276> [Accessed July 9, 2014].
- Ho, Q. V., 2013. *Architecture and Applications of a Geovisual Analytics Framework*. Linköping University. Available at: <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:618513/FULLTEXT01.pdf> [Accessed January 30, 2016].
- House of Commons. Science and Technology Committee, 2010. *The disclosure of climate data from the Climatic Research Unit at the University of East Anglia*, London, UK. 59 p. Available at: <http://www.publications.parliament.uk/pa/cm200910/cmselect/cmsctech/387/387i.pdf>.
- Huebener, H. et al., 2007. Ensemble climate simulations using a fully coupled

- ocean-troposphere-stratosphere general circulation model. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*, 365(1857), pp.2089–101. Available at: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/365/1857/2089.short> [Accessed March 16, 2016].
- Hulme, M., 1992. A 1951-80 global land precipitation climatology for the evaluation of general circulation models. *Climate Dynamics*, 7(2). Available at: <http://link.springer.com/10.1007/BF00209609> [Accessed March 22, 2016].
- Hutchinson, M.F., 1995. Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines. *International journal of geographical information systems*, 9(4), pp.385–403. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02693799508902045> [Accessed March 22, 2016].
- Iosifescu-Enescu, I., Hugentobler, M. & Hurni, L., 2010. Web cartography with open standards—A solution to cartographic challenges of environmental management. *Environmental Modelling & ...*, 25(9), pp.988–999. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815209002898> [Accessed April 30, 2016].
- IPCC, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* J. T. Houghton et al., eds., Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. 881 p.
- IPCC, 2013. *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* T. F. Stocker et al., eds., Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA:

- 
- Cambridge University Press. 1535 p. Available at: <http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9781107415324>.
- Jacobs, A., 2009. The pathologies of big data. *Communications of the ACM*, 52(8), pp.36–44. Available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1536632> [Accessed April 8, 2016].
- Johansson, H., 2010. *Rich Web Map Applications An assessment of performance , functionality and implementation of Rich Internet Application techniques in web-based GIS*. Chalmers University of Technology. Available at: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/136111.pdf>.
- Joint-Programming-Initiatives, 2015. *Designing Comprehensive Open Knowledge Policies to Face Climate Change*, Vienna. 10 p. Available at: [http://www.jpclimate.eu/media/default.aspx/emma/org/10868118/JPI+Climate+symposium+on+Open+Knowledge\\_Final+Report.pdf](http://www.jpclimate.eu/media/default.aspx/emma/org/10868118/JPI+Climate+symposium+on+Open+Knowledge_Final+Report.pdf) [Accessed February 19, 2016].
- Jones, D.A., Wang, W. & Fawcett, R., 2009. High-quality spatial climate datasets for Australia. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 58(4), pp.233–248. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.222.6311&rep=rep1&type=pdf> [Accessed February 21, 2016].
- Jones, P.D., 1995. Chapter 5 Observations from the surface: projection from traditional meteorological observations. In *World Survey of Climatology*. World Survey of Climatology. Elsevier, pp. 151–189. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168632106800283> [Accessed February 3, 2016].
- Jones, P.D. et al., 2013. Construction of a daily precipitation grid for southeastern South America for the period 1961–2000. *International Journal*

- 
- of *Climatology*, 33(11), pp.2508–2519. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.3605> [Accessed January 25, 2016].
- Jones, P.D., 1994. Hemispheric Surface Air Temperature Variations: A Reanalysis and an Update to 1993. *Journal of Climate*, 7(11), pp.1794–1802. Available at: [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442\(1994\)007%3C1794:HSATVA%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442(1994)007%3C1794:HSATVA%3E2.0.CO%3B2).
- Jones, P.D. et al., 1999. Surface air temperature and its changes over the past 150 years. *Reviews of Geophysics*, 37(2), pp.173–199. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1029/1999RG900002>.
- Jones, P.D. & Raper, S.C.B., 1986. Northern Hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25(2), pp.161–179. Available at: [http://works.bepress.com/raymond\\_bradley/35/](http://works.bepress.com/raymond_bradley/35/) [Accessed March 6, 2016].
- Jones, P.D., Raper, S.C.B. & Santer, B., 1985. *A grid point surface air temperature data set for the Northern Hemisphere*, Available at: <http://www.warwickhughes.com/cru86/tr022/TR022A.pdf> [Accessed March 11, 2016].
- Jones, P.D., Raper, S.C.B. & Wigley, T.M.L., 1986. Southern Hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25, pp.1213–1230. Available at: [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0450\(1986\)025%3C1213:SHSATV%3E2.0.CO;2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0450(1986)025%3C1213:SHSATV%3E2.0.CO;2) [Accessed March 6, 2016].
- Kalnay, E. et al., 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3), pp.437–471. Available at:

- [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYP>2.0.CO;2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYP>2.0.CO;2) [Accessed March 19, 2016].
- Karlis, D. et al., 2001. On A Statistical Software Package for “Non-Expert”Users. In *Proceedings of the ETK-NTTS 2001 Conference*. Creta, pp. 903–905. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.562.6258&rep=rep1&type=pdf> [Accessed April 15, 2016].
- Keim, D. et al., 2008. Visual Analytics: Scope and Challenges. In S. J. et al Simoff, ed. *Visual Data Mining*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 76–90. Available at: [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-71080-6\\_6](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-71080-6_6) [Accessed January 26, 2016].
- Kelling, S. et al., 2009. Data-intensive Science: A New Paradigm for Biodiversity Studies. *BioScience*, 59(7), pp.613–620. Available at: <https://bioscience.oxfordjournals.org/content/59/7/613.full> [Accessed April 8, 2016].
- Kharazmi, S. et al., 2014. A Study of Querying Behaviour of Expert and Non-expert Users of Biomedical Search Systems. In *Proceedings of the 2014 Australasian Document Computing Symposium on - ADCS '14*. New York, New York, USA: ACM Press, pp. 10–17. Available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2682871> [Accessed May 3, 2016].
- Kington, J., 1988. *The weather of the 1780s over Europe*, Cambridge: Cambridge University Press. 164 p. Available at: <https://ueaeprints.uea.ac.uk/44576/> [Accessed March 7, 2016].
- Kitchin, R., 2014. Big Data, new epistemologies and paradigm shifts. *Big Data & Society*, 1(1), pp.1–12. Available at: <http://bds.sagepub.com/content/1/1/2053951714528481.abstract>

- [Accessed July 15, 2014].
- Kraak, M.J., 2003. Geovisualization illustrated. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57(5-6), pp.390–399. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924271602001673>  
[Accessed January 25, 2016].
- Kramis, M. et al., 2009. An XML-based Infrastructure to Enhance Collaborative Geographic Visual Analytics. *Cartography and Geographic Information Science*, 36(3), pp.281–293. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1559/152304009788988305>  
[Accessed January 27, 2016].
- Laakso, M. et al., 2011. The Development of Open Access Journal Publishing from 1993 to 2009 M. Hermes-Lima, ed. *PLoS ONE*, 6(6), p.e20961. Available at: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0020961>.
- Ladstädter, F. & Steiner, A., 2010. Exploration of climate data using interactive visualization. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 27(4), pp.667–679. Available at: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2009JTECHA1374.1>  
[Accessed March 1, 2016].
- Lee, J.-G. & Kang, M., 2015. Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. *Big Data Research*, 2(2), pp.74–81. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214579615000040>  
[Accessed February 28, 2015].
- Leonelli, S., 2013. Why the Current Insistence on Open Access to Scientific Data? Big Data, Knowledge Production, and the Political Economy of Contemporary Biology. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 33(1-2), pp.6–11. Available at: <http://bst.sagepub.com/cgi/content/long/33/1->

---

2/6 [Accessed February 13, 2016].

Lienert, C. et al., 2012. Current Trends in Vector-Based Internet Mapping: A Technical Review. In M. P. Peterson, ed. *Online Maps with APIs and WebServices*. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 23–36. Available at: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-3-642-27485-5>.

MacEachren, A.M. et al., 2004. Geovisualization for knowledge construction and decision support. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 24(1), pp.13–17. Available at: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1255801](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1255801) [Accessed January 27, 2016].

MacEachren, A.M., Brewer, C.A. & Pickle, L.W., 1998. Visualizing georeferenced data: representing reliability of health statistics. *Environment and Planning A*, 30(9), pp.1547–1561. Available at: <http://envplan.com/epa/fulltext/a30/a301547.pdf> [Accessed January 25, 2016].

MacEachren, A.M. & Kraak, M.J., 1997. Exploratory cartographic visualization: Advancing the agenda. *Computers & Geosciences*, 23(4), pp.335–343. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300497000186> [Accessed January 30, 2016].

MacEachren, A.M. & Kraak, M.J., 2001. Research Challenges in Geovisualization. *Cartography and Geographic Information Science*, 28(1), pp.3–12. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1559/152304001782173970> [Accessed January 25, 2016].

- Maibach, E. et al., 2012. The legacy of climategate: undermining or revitalizing climate science and policy? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3(3), pp.289–295. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wcc.168/full> [Accessed April 10, 2016].
- Maraun, D. et al., 2010. Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Reviews of Geophysics*, 48(3), pp.1–34. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1029/2009RG000314> [Accessed March 18, 2016].
- Marzo Artigas, X., Pita López, M.F. & Álvarez Francoso, J.I., 2014. L'impact du changement climatique sur les besoins de climatisation en Andalousie à des échelles de détail. In *XXVIIème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie: Climat: Système et interactions*. Besançon: AIC, pp. 376–381.
- McGuffie, K. & Henderson-Sellers, A., 2001. Forty years of numerical climate modelling. *International Journal of Climatology*, 21(9), pp.1067–1109. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.632> [Accessed March 16, 2016].
- Merton, R.K., 1942. *The sociology of science: Theoretical and empirical investigations*, Chicago: University of Chicago Press. 636 p.
- MétéoFrance, Notre histoire. Available at: <http://www.meteofrance.fr/nous-connaître/decouvrir-la-meteorologie/notre-histoire> [Accessed February 4, 2015].
- Mitchell, T.D. & Jones, P.D., 2005. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology*, 25(6), pp.693–712. Available at:

- <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.1181> [Accessed July 13, 2014].
- Molloy, J.C., 2011. The open knowledge foundation: Open data means better science. *PLoS Biology*, 9(12), pp.1–4. Available at: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pbio.1001195> [Accessed January 27, 2016].
- Murphy, J., 1999. An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate. *Journal of Climate*, 12, pp.2256–2284. Available at: [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442\(1999\)012%3C2256%3AAEOSAD%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442(1999)012%3C2256%3AAEOSAD%3E2.0.CO%3B2) [Accessed March 18, 2016].
- Murphy, J., 2000. Predictions of climate change over Europe using statistical and dynamical downscaling techniques. *International Journal of Climatology*, 20(5), pp.489–501. Available at: [http://www-k12.atmos.washington.edu/~salathe/papers/papers/downscaling/murphy\\_2000.pdf](http://www-k12.atmos.washington.edu/~salathe/papers/papers/downscaling/murphy_2000.pdf) [Accessed March 18, 2016].
- Murray-Rust, P., 2008. Open Data in Science. *Serials Review*, 34(1), pp.52–64. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00987913.2008.10765152> [Accessed March 27, 2016].
- National Resesarch Council, 1995. *On the full and open exchange of scientific data*, Washington D.C. 21 p. Available at: <http://www.nap.edu/readingroom/books/exch/exch.html>.
- Nebert, D.D. ed., 2004. *The Spatial Data Infrastructure Cookbook* 2.0 ed., Global Spatial Data Infrastructure. 171 p. Available at: [www.niso.org/standards/resources](http://www.niso.org/standards/resources).
- Neumann, A., 2008. *Encyclopedia of GIS. Web Mapping and Web Cartography* S.

- Shekhar & H. Xiong, eds., Boston, MA: Springer US. 1261 p.–1269 p.  
Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-0-387-35973-1>  
[Accessed November 16, 2015].
- New, M., Hulme, M. & Jones, P., 1999. Representing Twentieth-Century Space–Time Climate Variability. Part I: Development of a 1961–90 Mean Monthly Terrestrial Climatology. *Journal of Climate*, 12(3), pp.829–856.  
Available at: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442%281999%29012%3C0829%3ARTCSTC%3E2.0.CO%3B2>  
[Accessed February 5, 2016].
- New, M., Hulme, M. & Jones, P., 2000. Representing Twentieth-Century Space–Time Climate Variability. Part II: Development of 1901–96 Monthly Grids of Terrestrial Surface Climate. *Journal of Climate*, 13(13), pp.2217–2238. Available at: [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442\(2000\)013<2217:RTCSTC>2.0.CO;2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442(2000)013<2217:RTCSTC>2.0.CO;2) [Accessed March 2, 2016].
- Ojeda Zújar, J. et al., 2009. El uso de las Tecnologías de la Información Geográfica para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad Costera (CVI) ante una potencial subida del nivel del mar en la costa andaluza España). *Geofocus*, 9, pp.83–101.
- Ojeda Zújar, J. et al., 2007. Fotogrametría digital y lidar como fuentes de información en geomorfología litoral (marismas mareales y sistemas dunares). *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, (44), p.215–+. Available at: <Go to ISI>://000253101500010.
- Ojeda Zújar, J. et al., 2010. Gestión e integración de datos altimétricos y batimétricos en la costa andaluza: el uso del “Model Builder.” In *Tecnologías de la Información Geográfica: la Información Geográfica al Servicio de los Ciudadanos*. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de

- Sevilla, pp. 956–970.
- Ojeda Zújar, J., Álvarez Francoso, J.I., et al., 2013. Instrumentos para el conocimiento, la difusión y gobernanza de las zonas litorales: visores 3D (desktop y web). Costa de Andalucía. *Geotemas*, 14, pp.31–34.
- Ojeda Zújar, J., Díaz Cuevas, P., et al., 2013. Línea de costa y sistemas de información geográfica: modelo de datos para la caracterización y cálculo de indicadores en la costa andaluza. *Investigaciones Geográficas*, 60, pp.37–52.
- Open Geospatial Consortium, 2015a. *Geographic information - Well known text representation of coordinate reference systems*, X + 86 p.
- Open Geospatial Consortium, 2015b. *OGC KML 2.3*, 266 p. Available at: <http://www.opengeospatial.org/>.
- Open Geospatial Consortium, 2012. *OGC® WCS 2.0 Interface Standard- Core: Corrigendum*, VIII + 49 p. Available at: <http://www.opengeospatial.org/standards/wcs\npapers2://publication/uuid/D303A640-AF41-432D-B72C-593E1BDCFF47>.
- Open Geospatial Consortium, 2007a. *OpenGIS® Catalogue Services Specification*, XIV + 204 p.
- Open Geospatial Consortium, 2005a. *OpenGIS® Web Feature Service Implementation Specification*. P. A. Vretanos, ed., 131 p.
- Open Geospatial Consortium, 2006a. *OpenGIS® Web Map Server Implementation Specification*, 85 p.
- Open Geospatial Consortium, 2010. *OpenGIS® Web Map Tile Service Implementation Standard*, 129 p.
- Open Geospatial Consortium, 2005b. *OpenGIS® web services architecture description*, VI + 22 p. Available at:

- [https://www.google.nl/?gfe\\_rd=cr&ei=7p3cVee4NsGm-wbBjp3QAw&gws\\_rd=ssl#q=opengis+web+services+architecture](https://www.google.nl/?gfe_rd=cr&ei=7p3cVee4NsGm-wbBjp3QAw&gws_rd=ssl#q=opengis+web+services+architecture).
- Open Geospatial Consortium, 2007b. *OpenGIS® Geography Markup Language (GML) Encoding Standard*, VIII+ 426 p. Available at: <http://portal.opengeospatial.org/files/20509>.
- Open Geospatial Consortium, 2007c. *OpenGIS® Web Processing Service*, XIII + 73 p.
- Open Geospatial Consortium, 2007d. *Styled Layer Descriptor profile of the Web Map Service*, VIII + 45 p.
- Open Geospatial Consortium, 2006b. *Symbology Encoding Implementation Specification*, VIII + 55 p.
- Open Geospatial Consortium, 2002. *The OpenGIS Abstract Specification. Topic 12: OpenGIS Service Architecture* G. Percivall, ed., 78 p.
- Overpeck, J.T. et al., 2011. Climate Data Challenges in the 21st Century. *Science*, 331(6018), pp.700–702. Available at: <http://science.sciencemag.org/content/331/6018/700.abstract>.
- Oxburgh, R. et al., 2010. *Report of the International Panel set up by UEA to examine the research of CRU*, 9 p.
- Parker, D.E., 1994. Effects of changing exposure of thermometers at land stations. *International Journal of Climatology*, 14(1), pp.1–31. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.3370140102/full> [Accessed March 13, 2016].
- Perez, R., Hoyer-Klick, C. & Renné, D., 2011. *Development of a Benchmarking Tool for Solar Energy Resource Datasets. A Guide for Non-Expert Users to Determine the most Appropriate Use of Solar Energy*, 18 p. Available at:

- [http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:128302/datastreams/file\\_13cb546f-1617-45de-8546-20e270728df6/content](http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:128302/datastreams/file_13cb546f-1617-45de-8546-20e270728df6/content) [Accessed May 2, 2016].
- Peterson, T.C. et al., 1998. First difference method: Maximizing station density for the calculation of long-term global temperature change. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(D20), pp.25967–25974. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1029/98JD01168> [Accessed March 21, 2016].
- Peterson, T.C., Daan, H. & Jones, P.D., 1997. Initial Selection of a GCOS Surface Network. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(10), pp.2145–2152. Available at: [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0477\(1997\)078%3C2145%3AISOAGS%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0477(1997)078%3C2145%3AISOAGS%3E2.0.CO%3B2) [Accessed March 2, 2016].
- Peterson, T.C. & Vose, R.S., 1997. An Overview of the Global Historical Climatology Network Temperature Database. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(12), pp.2837–2849. Available at: [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0477\(1997\)078%3C2837:AOOTGH%3E2.0.CO;2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0477(1997)078%3C2837:AOOTGH%3E2.0.CO;2) [Accessed February 5, 2016].
- Peuquet, D.J. & Kraak, M.J., 2002. Geobrowsing: Creative Thinking and Knowledge Discovery Using Geographic Visualization. *Information Visualization*, 1(1), pp.80–91. Available at: <http://ivi.sagepub.com/lookup/doi/10.1057/palgrave.ivs.9500007> [Accessed January 25, 2016].
- Pita López, M.F. et al., 2005. Los sistemas de información climatológica: el CLIMA (sistema de información de climatología ambiental de Andalucía). *Medio Ambiente*, 48, pp.12–15.

- 
- Pita, M.F., 1982. Algunas Reflexiones en Torno al Programa Mundial Sobre el Clima. *Tarraco. Cuadernos de Geografía*, 3, pp.213–221.
- Plewe, B., 2007. Web Cartography in the United States. *Cartography and Geographic Information Science*, 34(2), pp.133–136. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1559/152304007781002235>.
- Plummer, N., Allsopp, T. & López, J.A., 2003. *Guidance on Climate Observation Networks and Systems. WCDMP Series No. 52. WMO /TD No. 1185*, Geneva, Switzerland. Available at: [https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/WC\\_P\\_WCDMP/WCDMP-52\\_000.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/WC_P_WCDMP/WCDMP-52_000.pdf) [Accessed March 5, 2016].
- Prensky, M., 2009. H. sapiens digital: From digital immigrants and digital natives to digital wisdom. *Innovate: journal of online education*, 5(3), pp.1–9. Available at: <http://nsuworks.nova.edu/innovate/vol5/iss> [Accessed April 8, 2015].
- Pressman, R.S., 2010. *Software Engineering. A practitioner's approach* 7th editio., New York, USA: McGraw-Hill. 928 p.
- Putz, S., 1994. Interactive Information Services Using World-Wide Web Hypertext. *First International Conference on World-Wide Web*, 27, pp.273–280.
- Rafael Blanquero Bravo et al., 2012. Modelo estadístico para la predicción del Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP) en Andalucía. In *Cambio climático. Extremos e Impactos*. Salamanca: Asociación Española de Climatología y Univesidad de Salamanca, pp. 261–270. Available at: <hdl.handle.net/11441/32482>.
- Ramírez-Cobo, P. et al., 2014. The Markovian arrival process: A statistical model for daily precipitation amounts. *Journal of Hydrology*, 510, pp.459–471. Available at:

---

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002216941300930X>.

Randall, D.A. et al., 2007. Climate Models and Their Evaluation. In S. Solomon et al., eds. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 589–662.

Reed, C. ed., 2013. *Technical Committee Policies and Procedures. Document: OGC 05-020r18*, 46 p.

Rienecker, M.M. et al., 2011. MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. *Journal of Climate*, 24(14), pp.3624–3648. Available at: <http://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/JCLI-D-11-00015.1> [Accessed February 2, 2016].

Roeckner, E., Bäuml, G. & Bonaventura, L., 2003. *The atmospheric general circulation model ECHAM 5. PART I: Model description. Report No. 349.*, 127 p. Available at: <http://pubman.mpdl.mpg.de/pubman/faces/viewItemOverviewPage.jsp?itemId=escidoc:995269> [Accessed March 16, 2016].

Rood, R.B. & Edwards, P.N., 2014. Climate informatics: Human experts and the end-to-end system. Available at: <http://earthzine.org/2014/05/22/climate-informatics-human-experts-and-the-end-to-end-system/> [Accessed February 19, 2016].

Ropelewski, C., Janowiak, J.E. & Halpert, M.S., 1984. *The Climate Anomaly Monitoring System (CAMS)*, 39 p.

Roth, R.E. et al., 2008. Web-based geovisualization and geocollaboration: Applications to public health. In *2008 Joint Statistical Meeting, Invited Session*

- on Web Mapping. pp. 2–5. Available at: [http://www.geovista.psu.edu/publications/2008/RothEtAl\\_2008\\_WebBasedGeovisualization&GeocollaborationApplications2PublicHealth.pdf](http://www.geovista.psu.edu/publications/2008/RothEtAl_2008_WebBasedGeovisualization&GeocollaborationApplications2PublicHealth.pdf).
- Rudolf, B. & Schneider, U., 2004. Calculation of gridded precipitation data for the global land-surface using in-situ gauge observations. In *Proceedings of the 2nd Workshop of the International Precipitation Working Group*. Monterey, California, pp. 231–247. Available at: [https://www.researchgate.net/profile/Udo\\_Schneider2/publication/253114707\\_Calculation\\_of\\_Gridded\\_Precipitation\\_Data\\_for\\_the\\_Global\\_Land-Surface\\_using\\_in-situ\\_Gauge\\_Observations/links/0deec53bbcb3a0e220000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Udo_Schneider2/publication/253114707_Calculation_of_Gridded_Precipitation_Data_for_the_Global_Land-Surface_using_in-situ_Gauge_Observations/links/0deec53bbcb3a0e220000000.pdf).
- Sacha, D. et al., 2014. Knowledge Generation Model for Visual Analytics. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 20(12), pp.1604–1613. Available at: [http://cggmwww.csie.nctu.edu.tw/courses/DVVA/2015spring/studentSlide/Knowledge\\_Generation\\_Model\\_for\\_Visual\\_Analytics.pdf](http://cggmwww.csie.nctu.edu.tw/courses/DVVA/2015spring/studentSlide/Knowledge_Generation_Model_for_Visual_Analytics.pdf) [Accessed January 26, 2016].
- Salas y Méliá, D., Chauvin, F. & Déqué, M., 2005. *Description and validation of the CNRM-CM3 global coupled model*. Centre National des Recherches Météorologiques, working note 103, 37 p. Available at: [https://scholar.google.es/scholar?q=CNRM-CM3&btnG=&hl=es&as\\_sdt=0%2C5#0](https://scholar.google.es/scholar?q=CNRM-CM3&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5#0) [Accessed March 16, 2016].
- Samaja, J., 1993. *Epistemología y metodología. Elementos para una teoría de la investigación científica*. 3rd ed., Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires. 415 p.
- Sarukhanian, E.I. & Walker, J.M., 2004. The International Meteorological Organization (IMO) 1879-1950. WMO/TD-No. 1226. In *An International*

- 
- Seminar to celebrate the Brussels Maritime Conference of 1853*. Bruselas, Bélgica, p. 8. Available at: [ftp://ftp.wmo.int/Documents/PublicWeb/amp/mmop/documents/JC OMM-TR/J-TR-27-BRU150- Proceedings/DOCUMENTS\\_JCOMM\\_27/Session\\_2/2\\_2\\_Sarukhanian.pdf](ftp://ftp.wmo.int/Documents/PublicWeb/amp/mmop/documents/JC OMM-TR/J-TR-27-BRU150- Proceedings/DOCUMENTS_JCOMM_27/Session_2/2_2_Sarukhanian.pdf).
- Schneider, U. et al., 2015. *Global Precipitation Analysis Products of the GPCC*, Offenbach a. M., Germany. 14 p. Available at: [ftp://ftp.dwd.de/pub/data/gpcc/PDF/GPCC\\_intro\\_products\\_2008.pdf](ftp://ftp.dwd.de/pub/data/gpcc/PDF/GPCC_intro_products_2008.pdf) [Accessed February 26, 2016].
- Schneider, U. et al., 2013. GPCC's new land surface precipitation climatology based on quality-controlled in situ data and its role in quantifying the global water cycle. *Theoretical and Applied Climatology*, 115(1-2), pp.15–40. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s00704-013-0860-x> [Accessed March 22, 2016].
- Schofield, P.N. et al., 2009. Post-publication sharing of data and tools. *Nature*, 461(7261), pp.171–173. Available at: <http://dx.doi.org/10.1038/461171a> [Accessed April 9, 2016].
- Segundo, R.S., 2002. A new concept of knowledge. *Online Information Review*, 26(4), pp.239–245.
- Sharma, S., 2013. *Towards Querying and Visualization of Large Spatio-Temporal Databases*. Iowa State University. Available at: <http://lib.dr.iastate.edu/etd/13044/> [Accessed January 24, 2016].
- Shearer, K., 2015. *Promoting Open Knowledge and Open Science. Report of the Current State of Repositories*, 17 p. Available at: <http://www.rcuk.ac.uk/RCUK-prod/assets/documents/international/COARStateOfRepositories.pdf>.

- Spence, T. & Townshend, J., 1995. The Global Climate Observing System (GCOS). *Climatic Change*, 31, pp.131–134. Available at: [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-0323-7\\_1](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-0323-7_1) [Accessed March 3, 2016].
- Suber, P., 2012. *Open Access*, Cambridge, Massachusetts: The MIT Press. 242 p. Available at: [https://mitpress.mit.edu/sites/default/files/9780262517638\\_Open\\_Access\\_PDF\\_Version.pdf](https://mitpress.mit.edu/sites/default/files/9780262517638_Open_Access_PDF_Version.pdf).
- Swan, A. & Brown, S., 2008. *To share or not to share: Publication and quality assurance of research data outputs. Report commissioned by the Research Information Network*, 56 p. Available at: <http://eprints.soton.ac.uk/266742/>.
- Swienty, O., 2005. The development of explorative geovisualisation processes. In *Proceedings of the 22nd International Cartographic Conference*. p. 10. Available at: [http://cartesia.org/geodoc/icc2005/pdf/oral/TEMA15/Session7/OLIVIER\\_SWIENTY.pdf](http://cartesia.org/geodoc/icc2005/pdf/oral/TEMA15/Session7/OLIVIER_SWIENTY.pdf) [Accessed January 25, 2016].
- Thatcher, J., 2014. Living on Fumes: Digital Footprints, Data Fumes, and the Limitations of Spatial Big Data. *International Journal of Communication*, 8, pp.1765–1783. Available at: <http://ijoc.org/index.php/ijoc/article/view/2174>.
- The Stationery Office, 2000 ed., 2000. *SSADM Foundation*, Stationery Office. 174 p. Available at: <https://books.google.es/books?id=5ZrwvsBuWDMC>.
- Themel, M., 2014. *Climate service providers and users' requirements – Results from national dialogs in Austria. Workshop on "National Dialogues in Europe,"* Hamburg: JPI Climate. 16 p. Available at: [– 213 –](http://www.jpi-climate.eu/publications/presentations/10846484/Climate-service-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

---

providers-and-users-requirements-Results-from-national-dialogues-in-Austria.

Tomé, A.R. & Miranda, P.M.A., 2004. Piecewise linear fitting and trend changing points of climate parameters. *Geophysical Research Letters*, 31(2). Available at: <http://doi.wiley.com/10.1029/2003GL019100>.

Tonchovska, R. & Adlington, G., 2011. Spatial data infrastructure and inspire in global dimension. *Land Tenure Journal*, (1), pp.51–77. Available at: <http://www.fao.org/nr/tenure/land-tenure-journal/index.php/LTJ/article/view/18/59> [Accessed April 29, 2016].

Trenberth, K.E. & Olson, J.G., 1988. An Evaluation and Intercomparison of Global Analyses from the National Meteorological Center and the European Centre for Medium Range Weather Forecasts. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 69(9), pp.1047–1057. Available at: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0477%281988%29069%3C1047%3AAEAIOG%3E2.0.CO%3B2>.

Tukey, J., 1980. We need both exploratory and confirmatory. *The American Statistician*, 34(1), pp.23–25. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00031305.1980.10482706> [Accessed May 1, 2016].

Uhlir, P.F. & Schröder, P., 2007. Open Data for Global Science. *Data Science Journal*, 6(June), pp.OD36–OD53. Available at: <http://jlc.jst.go.jp/DN/JALC/00296096800?from=Google> [Accessed March 27, 2016].

Uppala, S.M. et al., 2005. The ERA-40 re-analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131(612), pp.2961–3012. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1256/qj.04.176> [Accessed February 23, 2016].

- Veenendaal, B., Brovelli, M.A. & Wu, L., 2016. Cloud/web mapping and geoprocessing services – Intelligently linking geoinformation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, pp.243–244. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924271616000629>.
- Vincent, L.A. & Gullett, D., 1999. Canadian historical and homogeneous temperature datasets for climate change analyses. *International Journal of Climatology*, 19(12), pp.1375–1388. Available at: [http://www.homogenisation.org/files/private/WG1/Bibliography/Method\\_Description/Climate/VINCENT\\_and\\_GULLET\\_1998.pdf](http://www.homogenisation.org/files/private/WG1/Bibliography/Method_Description/Climate/VINCENT_and_GULLET_1998.pdf) [Accessed March 21, 2016].
- Vision, T.J., 2010. Open Data and the Social Contract of Scientific Publishing. *BioScience*, 60(5), pp.330–331. Available at: <http://www.bioone.org/doi/full/10.1525/bio.2010.60.5.2> [Accessed March 27, 2016].
- Vose, R.S., Schmoyer, R.L. & Steurer, P.M., 1992. *The Global Historical Climatology Network: Long-term monthly temperature, precipitation, sea level pressure, and station pressure data. Publication No. 3912, prepared for the Global Change Research Program*, 24 p. Available at: <http://www.nativefishlab.net/library/textpdf/12377.pdf> [Accessed March 2, 2016].
- Walsh, R.P.D. & Lawler, D.M., 1981. Rainfall seasonality: description, spatial patterns and change through time (British Isles, Africa). *Weather*, 36(7), pp.201–208. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/j.1477-8696.1981.tb05400.x>.
- Ward, J.S. & Barker, A., 2013. Undefined By Data: A Survey of Big Data Definitions. *arXiv preprint arXiv:1309.5821*. Available at: <http://arxiv.org/abs/1309.5821> [Accessed April 8, 2016].

- Wickham, H., 2014. Tidy Data. *Journal of Statistical Software*, 59(10), pp.1–23. Available at: <http://www.jstatsoft.org/index.php/jss/article/view/v059i10/v59i10.pdf> [Accessed January 28, 2016].
- Wilby, R.L. & Wigley, T.M., 1997. Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. *Progress in Physical Geography*, 21(4), pp.530–548. Available at: <http://ppg.sagepub.com/content/21/4/530.short> [Accessed March 18, 2016].
- Willmott, C.J., Robeson, S.M. & Feddema, J.J., 1994. Estimating continental and terrestrial precipitation averages from rain-gauge networks. *International Journal of Climatology*, 14, pp.403–414. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.3370140405/full> [Accessed March 13, 2016].
- Willmott, C.J., Rowe, C.M. & Philpot, W.D., 1985. Small-Scale Climate Maps: A Sensitivity Analysis of Some Common Assumptions Associated with Grid-Point Interpolation and Contouring. *Cartography and Geographic Information Science*, 12(1), pp.5–16. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1559/152304085783914686> [Accessed March 22, 2016].
- WMO, GCOS: About GCOS. Available at: <http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/index.php?name=AboutGCOS> [Accessed September 3, 2015].
- WMO, 2009. *Handbook on CLIMAT and CLIMAT TEMP Reporting*. *World Weather Watch Technical Report*. WMO/TD-No. 1188., 122 p. Available at: [https://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/Publications/TD1188/HandbookCLIMAT-CLIMATTEMP\\_en.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/Publications/TD1188/HandbookCLIMAT-CLIMATTEMP_en.pdf) [Accessed March 4, 2016].

- WMO, 2014. *Weather reporting, observing stations. Volume A.*, 602 p. Available at: [http://www.wmo.int/pages/prog/www/ois/Operational\\_Information/VolumeA/VolumeA2014ed.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/www/ois/Operational_Information/VolumeA/VolumeA2014ed.pdf) [Accessed March 3, 2016].
- WMO, 1979. *World Climate Conference; 4th session; Declaration of the World Climate Conference*, 5 p. Available at: [http://www.dgvm.de/fileadmin/user\\_upload/DOKUMENTE/WCC-3/Declaration\\_WCC1.pdf](http://www.dgvm.de/fileadmin/user_upload/DOKUMENTE/WCC-3/Declaration_WCC1.pdf) [Accessed April 28, 2016].
- World Meteorological Organization, 2011. *Climate Knowledge for Action : A global Framework of Climate Services – Empowering the most Vulnerable*, Geneva, Switzerland. 248 p.
- Ziman, J., 2002. *Real Science: What it Is and What it Means*, Cambridge University Press. 412 p. Available at: [https://books.google.com/books?id=8b6FwQvn\\_IcC&pgis=1](https://books.google.com/books?id=8b6FwQvn_IcC&pgis=1) [Accessed April 2, 2016].
- Zins, C., 2007. Conceptual approaches for defining data, information, and knowledge. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 58(4), pp.479–493. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/asi.20508> [Accessed March 16, 2016].
- Zuiderwijk, A. et al., 2012. Socio-technical impediments of open data. *Electronic Journal of e-Government*, 10(2), pp.156–172. Available at: <http://www.ejeg.com>.



# Índice de siglas y acrónimos

## A

AEMET: Agencia Estatal de Meteorología · 169, 170  
 AJAX: Asynchronous JavaScript And XML · 76, 77, 98, 99  
 ANSI: American National Standards Institute · 82  
 AOGCM: Atmosphere-Ocean Coupled General Circulation Model · 36  
 API: Application Programming Interface · 76, 77, 79, 98, 100, 103, 110  
 ASCII: American Standard Code for Information Interchange · 42, 96, 104, 132

## C

CAM: Climate Anomaly Method · 123  
 Cambia: Visor Cambia (<http://cambia.climasig.es>) · 143  
 CAMS: Climate Anomaly Monitoring System · 105, 110, 121, 126, 128, 132, 225  
 CDIAC: Carbon Dioxide Information Analysis Center · 29  
 CGED: Committee on Geophysical and Environmental Data · 56  
 CGI: Common Gateway Interface · 77, 86  
 CKB: Climate Knowledge Brokers · 66  
 CLINO: Climatological Normals · 31, 42  
 CMIP3: Coupled Model Intercomparison Project phase 3 · 103  
 CMIP5: Coupled Model Intercomparison Project phase 5 · 105, 106  
 CPC: Climate Prediction Center · 41, 119, 225  
 CPU: Central Processing Unit · 143  
 CQL: Common Query Language · 139  
 CRS: Coordinate Reference System · 89, 91, 92, 96, 97  
 CRU: Climatic Research Unit · 29, 30, 41, 60, 101, 103, 119, 121, 123, 128, 132, 145, 225  
 CSS: cascading style sheets · 76, 99  
 CSW: Catalog Service for the Web · 96

## D

DFD: Data Flow Diagram · 136  
 DFM: Data Flow Modelling · 136  
 DIKW: Data, Information, Knowledge,

Wisdom · 50

DWD: Deutsche Wetterdienst · 41, 119, 121

## E

ECMWF: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts · 60, 225  
 EEM: Entity Event Modelling · 137  
 ELCCA: Escenarios Locales de Cambio Climático en Andalucía · 131  
 EMIC: Earth System Models of Intermediate Complexity · 36  
 EPSG: European Petroleum Survey Group · 92  
 ERA: ECMWF re-analysis · 40, 225  
 ESM: Earth System Model · 35

## F

FGM: First Guess Monthly · 128, 132  
 FTP: File Transfer Protocol · 83

## G

GCCV: Global Climate Change Viewer · 105  
 GCM: General Circulation Model · 35, 36, 37, 38, 39, 44  
 GCMon: Visor Global Climate Monitor (<http://www.globalclimatemonitor.org>) · 143; Visor Global Climate Monitor ([www.globalclimatemonitor.org](http://www.globalclimatemonitor.org)) · 151, 155, 160  
 GCOS: Global Climate Observing System · 28, 31  
 GDAL: Geospatial Data Abstraction Library · 135  
 GeoTIFF: Geo Tagged Image File Format · 43, 131, 133, 135  
 GHCN: Global Historical Climatology Network · 29, 42, 102, 107, 108, 110, 121, 126, 128, 132, 225  
 GIDMaPS: Global Integrated Drought Monitoring and Prediction System · 109  
 GML: Geographic Markup Language · 96  
 GPCC: Global Precipitation Climatology Centre · 41, 108, 109, 110, 119, 121, 128, 132, 225  
 GRIB: GRIdded Binary or General Regularly-distributed Information in Binary form · 43, 132  
 GSN: GCOS Surface Network · 31, 42

GTS: Global Telecommunication System · 28, 126, 128

---

## H

HDF: Hierarchical Data Format · 43  
HTML: HyperText Markup Language · 75, 76, 78, 84, 99, 100  
HTTP: Hypertext Transfer Protocol · 83, 84, 85

---

## I

ICA: International Cartographic Association · 74  
ICSU: International Council of Scientific Unions · 56  
IMO: International Meteorological Organisation · 26  
INSPIRE: "Infrastructure for Spatial Information in the European Community" · 57  
IOC: Intergovernmental Oceanographic Commission · 28  
IP: Internet Protocol · 83  
IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change · 16, 30, 41, 101, 120, 124  
IRI: International Research Institute for Climate and Society · 104, 105  
ISC: International Science Council · 28

---

## J

JPG: JPEG (Joint Photographic Experts Group) · 89

---

## K

KML: Keyhole Markup Language · 96, 102  
KMZ: Keyhole Markup Language (Zipped) · 102

---

## L

LDM: Logical Data Model · 137

---

## M

MCDW: Monthly Climatic Data for the World · 29, 123  
MERRA: Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications · 40  
MSDI: Multivariate Standardized Drought Index · 109

---

## N

NASA: National Aeronautics and Space Administration · 106  
NCAR: National Center for Atmospheric Research · 40, 226  
NCDC: National Climatic Data Center · 29, 85, 107, 108, 109

NCEI: National Centers for Environmental Information · 29

NCEP: National Centers for Environmental Prediction · 40, 225, 226  
netCDF: network Common Data Form · 102, 112, 135

NetCDF: Network Common Data Form · 43, 132, 145

NEX-GDDP: NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections · 106

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration · 41, 60, 85, 102, 103, 107, 108, 109, 119, 121, 225, 226, 227

---

## O

ODbL: Open Database License · 41  
OGC: Open Geospatial Consortium · 77, 87, 88, 95, 96, 97, 138  
OWS: OGC Web Services · 88

---

## P

PMIP3: Paleoclimate Modelling Intercomparison Project phase 3 · 105  
PNG: Portable Network Graphics · 89, 102, 104  
POP3: Post Office Protocol version 3 · 83

---

## R

RAID: Redundant Array of Independent Disks · 143  
RAM: Random Access Memory · 143  
RCM: Regional Climate Model · 37, 38, 44  
RCS: Reference Climatological Stations · 30, 31, 42  
RDBMS: Relational Database Management System · 79, 80, 81, 82, 135, 138  
REST: Representational State Transfer · 77

---

## S

SIG: Sistema de Información Geográfica · 97, 137  
SLD: Styled Layer Descriptor · 96, 138  
SMTP: Simple Mail Transfer Protocol · 83  
SOAP: Simple Object Access Protocol · 83  
SPEI: Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index · 110  
SPI: Standardized Precipitation Index · 108, 109  
SQL: Structured Query Language · 82  
SSADM: Structured Systems Analysis and Design Method · 119, 140  
SSI: Standardized Soil Moisture Index · 109

---

**T**

TCP: Transmission Control Protocol · 83  
TIFF: Tagged Image File Format · 43, 89  
TIROS: Television Infrared Observation  
Satellite · 33  
**TS**: Time Series · 101, 103, 121, 123, 145

---

**U**

UEA: University of East Anglia · 29  
UNEP: United Nations Environmental  
Programme · 28  
UNSDI: United Nations Spatial Data  
Infrastructure · 58  
URL: Uniform Resource Locator · 91  
**USGS**: United States Geological Survey · 105

---

**W**

WCP: World Climate Programme · 26  
WCS: Web Coverage Service · 88, 95

WDC: World Data Center · 56  
WDS: World Data System · 56, 57  
WFS: Web Feature Service · 88, 93, 94, 95,  
96, 138  
WGS84: World Geodetic System 84 · 92  
*WKT*: Well Known Text · 96, 97  
WMO: World Meteorological Organisation ·  
26, 28, 29, 30, 31, 33, 56, 59, 123  
WMS: Web Map Service · 88, 89, 90, 91, 94,  
138  
*WMTS*: Web Map Tile Service · 88, 91, 92, 93,  
138  
WPS: Web Processing Service · 96  
**WWR**: World Weather Records · 26, 29, 123

---

**X**

XML: eXtensible Markup Language · 76, 83,  
89, 94, 96



# Anexos

**Anexo I: Conjuntos de datos climáticos globales. Fuente: Elaboración propia a partir de NOAA-ESRL-PSD:**

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/index.html>

| Conjunto de datos  | Cobertura             | Escala espacial                | Escala temporal            | Cobertura temporal |
|--|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------|
| <a href="#">CMAP Precipitation</a>   | Global                | 2.5°x2.5°                      | Mensual,péntada            | 1979-2016          |
| <a href="#">COBE SST</a>   | Global                | 1.0°x1.0°                      | Mensual                    | 1891-presente      |
| <a href="#">COBE-SST2 Sea Surface Temperature</a>                                    | Global                | 1.0°x1.0°                      | Mensual                    | 1850-2012          |
| <a href="#">CPC Soil Moisture</a>  | Global                | 2.5°x2.5°                      | Mensual                    | 1948-presente      |
| <a href="#">CRU Air Temperature and Combined Air Temperature/Marine Anomalies V4</a> | Global                | 5.0°x5.0°                      | Mensual                    | 1850-2016          |
| <a href="#">ECMWF Reanalysis-40</a>  | Global                | 2.5°x2.5°                      | 4X Diaria, Diaria, Mensual | 1957-2002          |
| <a href="#">ERA-Interim Reanalysis</a>   | Global                | 0.7°x0.7°                      | 4-times Diaria             | 1979-presente      |
| <a href="#">Dai Palmer Drought Severity Index</a>                                    | Global: 58S-76N       | 2.5°x2.5°                      | Mensual                    | 1850-2014          |
| <a href="#">GFS Model Output</a>   | Global                | 2.5°x2.5°                      | 2X Diaria                  | 1979-presente      |
| <a href="#">GHCN Version 3 Land Temperature Dataset</a>                              | Global                | 5.0°x5.0°                      | Mensual                    | 1900-presente      |
| <a href="#">GHCN version 2 Land Precipitation Dataset</a>                            | Global                | 5.0°x5.0°                      | Mensual                    | 1900-presente      |
| <a href="#">NOAA GHCN CAMS Land Temperature Analysis</a>                             | Global                | 0.5°x0.5°                      | Mensual                    | 1948-presente      |
| <a href="#">GISS surface temperature analysis</a>                                    | Global. 89.0N - 80.0S | 2.0°x2.0°                      | Mensual                    | 1880-presente      |
| <a href="#">NCEP GODAS ocean analysis</a>  | Global                | .3°x.3°                        | Mensual                    | 1980-presente      |
| <a href="#">Global Precipitation Climatology Centre (GPCC)</a>                       | Global                | 0.5°x0.5°,1.0°x1.0°, 2.5°x2.5° | Mensual                    | 1901-presente      |

|   |        |                               |            |                            |                   |
|---|--------|-------------------------------|------------|----------------------------|-------------------|
| <a href="#">GPCP V2.2 Precipitation</a>   | Global | 2.5°x2.5°                     |            | Mensual                    | 1979-2013         |
| <a href="#">Hadley Sea Ice SST</a>  | Global | 1.0°x1.0°                     |            | Mensual                    | Jan 1870-presente |
| <a href="#">ICOADS</a>  | Global | 2.0°x2.0°,1.0°x1.0°           |            | Mensual                    | 1800-presente     |
| <a href="#">Interpolated OLR</a>  | Global | 2.5°x2.5°                     |            | Diaria,Mensual             | 1979-presente     |
| <a href="#">Kaplan SST</a>  | Global | 5.0°x5.0°                     |            | Mensual                    | 1856-presente     |
| <a href="#">MSU</a>   | Global | 2.5°x2.5°                     |            | Diaria, Mensual            | 1979-1996         |
| <a href="#">NCEP Operational Analysis</a>   | Global | 2.5°x2.5°                     |            | Diaria                     | 1979-presente     |
| <a href="#">NCEP Marine</a>   | Global | 2.0°x2.0°                     |            | Mensual                    | 1991-presente     |
| <a href="#">NCEP/NCAR Reanalysis</a>  | Global | 2.5°x2.5°, Gaussian, spectral | T42<br>T62 | 4X Diaria, Diaria, Mensual | 1948-presente     |
| <a href="#">NCEP/NCAR Reanalysis Products Derived at PSD</a>  | Global | 2.5°x2.5°, Gaussian           | T62        | Diaria, Mensual            | 1948-presente     |
| <a href="#">NCEP/DOE Reanalysis II</a>  | Global | 2.5°x2.5°                     |            | 4X Diaria, Diaria, Mensual | 1979-Dec 2012     |
| <a href="#">NOAA Extended Reconstructed SST</a>   | Global | 1.0°x1.0°                     |            | Mensual                    | 1854-presente     |
| <a href="#">NOAA Extended Reconstructed SST V4</a>  | Global | 1.0°x1.0°                     |            | Mensual                    | 1854-presente     |
| <a href="#">NOAA's Outgoing Longwave Radiation– Diaria Climate Data Record (OLR–Diaria CDR): PSD Interpolated Version</a> | Global | 1.0°x1.0°                     |            | Diaria                     | 1979-2012         |
| <a href="#">NOAA High-resolution Blended Analysis of Diaria SST and Ice.</a>  | Global | .25°x.25°                     |            | Diaria                     | 1981-presente     |
| <a href="#">NOAA Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (MLOST) V3.5.4</a>  | Global | 1.0°x1.0°2.5°x2.5°            |            | Diaria                     | 1940-2015         |
| <a href="#">NOAA Optimum Interpolation (OI) SST V2</a>  | Global | 1.0°x1.0°                     |            | Mensual,semanal            | 1981-presente     |
| <a href="#">NODC (Levitus) World Ocean Atlas 1998</a>   | Global | 1.0°x1.0°                     |            | Normales mensuales,anuales | 1900-1997         |
| <a href="#">NOAA's Precipitation Reconstruction (PREC)</a>  | Global | 2.5°x2.5°                     |            | Mensual                    | 1979-presente     |

|  |                |  |                           |                   |
|--|----------------|--|---------------------------|-------------------|
| <a href="#">NOAA's Precipitation Reconstruction over Land (PREC/L)</a>                 | Global         | 2.5°x2.5°  | Mensual                   | 1948-presente     |
| <a href="#">NOAA-CIRES 20th Century Reanalysis (V2)</a>                                | Global         | 2.5°x2.5°  | 4X Diaria                 | 1871-2012         |
| <a href="#">NOAA-CIRES 20th Century Reanalysis (V2c)</a>                               | Global         | 2.5°x2.5°  | 4X Diaria                 | 1851-2014         |
| <a href="#">U. of Delaware Precipitation and Air Temperature</a>                       | Global<br>Land | 0.5°x0.5°  | Mensual                   | 1901-2014         |
| <a href="#">Uninterpolated OLR</a>   | Global         | 2.5°x2.5°  | Diaria                    | 1991-presente     |
| <a href="#">Global surface temperatures: BEST: Berkeley Earth Surface Temperatures</a> | Global         | 1x1 degree or equal-area grid, .25 degree available for USA and Europe | Diaria, Mensual, normales | 1701/01 - 2015/12 |

**Anexo II:**

Ejemplos de scripts python para la imputación del archivos netCDF:

### GPCC a PostGIS.

```
import sys
from osgeo import gdal, ogr, osr
from osgeo.gdalconst import GA_ReadOnly, GA_Update
def gpcc2gcm(pg_connection_string, mes, agno, input_file):
    # Registra drivers gdal
    gdal.AllRegister()
    # Driver de postgis, para poder crear la tabla
    driver = ogr.GetDriverByName('PostgreSQL')
    # SRC 4326
    srs = osr.SpatialReference()
    srs.ImportFromEPSG(4326)
    # Leemos la ultima banda del dataset (ultimo mes)
    dataset = gdal.Open(input_file, GA_ReadOnly)
    subdatasets = dataset.GetSubDatasets()
    subdataset_p = subdatasets[0][0]
    sds = gdal.Open(subdataset_p, gdal.GA_ReadOnly)
    cols = sds.RasterXSize
    rows = sds.RasterYSize
    # Creamos la tabla Postgis llamada " gpcc_p " para nuestros datos en el
    esquema public
    table_name = 'gpcc_p_' + mes + agno
    pg_ds = ogr.Open(pg_connection_string, GA_Update)
    pg_layer = pg_ds.CreateLayer(table_name, srs = srs,
    geom_type=ogr.wkbPoint,
    options = [
        'GEOMETRY_NAME=geom',# Nombre del campo de geometria
        'OVERWRITE=YES', # Borra y crea la tabla de nuevo
        'SCHEMA=public',# Nombre del esquema
    ])
    print 'Creada la tabla %s.' % table_name
    # Creamos el campo "temp" y campo "id_point" en la tabla
    fd_mes = ogr.FieldDefn('mes', ogr.OFTInteger)
    pg_layer.CreateField(fd_mes)
    print 'Creado el campo mes.'
    fd_agno = ogr.FieldDefn('agno', ogr.OFTInteger)
    pg_layer.CreateField(fd_agno)
    print 'Creado el campo agno.'
```

```

fd_temp = ogr.FieldDefn('p_mes', ogr.OFTReal)
pg_layer.CreateField(fd_temp)
print 'Creado el campo p_mes.'
# get georeference transformation information
pixelWidth = 1
pixelHeight = 1
xOrigin = -179.5
yOrigin = 89.5

# Iteramos filas y columnas y definimos x e y
data = []
band = sds.GetRasterBand(1)
band_data = band.ReadAsArray(0, 0, cols, rows)
data.append(band_data)
for r in range(rows):
    y = yOrigin - (r * pixelHeight)
    for c in range(cols):
        x = xOrigin + (c * pixelWidth)
        # Para cada celdilla, anadimos un punto en la capa Postgis
        point_wkt = 'POINT(%s %s)' % (x, y)
        point = ogr.CreateGeometryFromWkt(point_wkt)
        featureDefn = pg_layer.GetLayerDefn()
        feature = ogr.Feature(featureDefn)
        #
        value = float(data[0][r,c])
        # Gestion de los null
        if value < 0:
            feature.UnsetField('p_mes')
        else:
            feature.SetField('p_mes', value)
            feature.SetField('mes', mes)
            feature.SetField('agno', agno)
        # print 'Guardando el valor: %s para la variable %s en el punto x: %s, y: %s'
        % (value, 'temp', x, y)
        # Definimos la geometria de la capa y finalizamos su creacion
        feature.SetGeometry(point)
        pg_layer.CreateFeature(feature)

if __name__ == '__main__':
    # El usuario tiene que definir cinco parametros: la cadena de conexion
    Postgis GDAL, mes, agno y archivo de entrada

```

```

if len(sys.argv) < 5 or len(sys.argv) > 5:
    print "uso: <GDAL PostGIS connection string> <mes> <agno>
<nombre del archivo de entrada>"
    raise SystemExit
pg_connection_string = sys.argv[1]
mes = sys.argv[2]
agno = sys.argv[3]
input_file = sys.argv[4]
gpcc2gcm(pg_connection_string, mes, agno, input_file)
raise SystemExit

```

### ELCCA (precipitación) a texto.

```

from __future__ import division
import sys
import logging
import datetime
import psychopg2
from osgeo import gdal, ogr, osr
from osgeo.gdalconst import GA_ReadOnly, GA_Update
# Funcion para sobrescribir el mensaje de porcentaje completado
def restart_line():
    sys.stdout.write('\r')
    sys.stdout.flush()
# Funcion principal
def importar_modelos(output,archivos):
    print 'Iniciado a las: ' + datetime.datetime.strftime(datetime.datetime.now(),
'%Y-%m-%d %H:%M:%S')
    archivo_salida2 = open(output, 'a')
    id_por = 1
    for id_modelo in range(1,5):
        if id_modelo == 1:
            modelo_name = "bcm2"
        elif id_modelo == 2:
            modelo_name = "cncm3"
        elif id_modelo == 3:
            modelo_name = "echam5"
        elif id_modelo == 4:
            modelo_name = "egmam"
        else:
            print "Error en el nombre del modelo"

```

```
raise SystemExit
for id_escenario in range(2,5):
    if id_escenario == 2:
        esc_name = "sra1b"
    elif id_escenario == 3:
        esc_name = "sra2"
    elif id_escenario == 4:
        esc_name = "srb1"
    else:
        print "Error en el bucle escenario"
        raise SystemExit
for id_periodo in range (1,4):
    if id_periodo == 1:
        per_name = "d2011-2040"
        per_name2 = "11-40"
    elif id_periodo == 2:
        per_name = "d2041-2070"
        per_name2 = "41-70"
    elif id_periodo == 3:
        per_name = "d2071-2099"
        per_name2 = "71-99"
    else:
        print "Error en el bucle periodo"
        raise SystemExit
    for mes in range (1,13):
        mes_name = "prc" + per_name2 + '_' + str(mes)
        archivo = archivos + "/" + modelo_name + "/" + esc_name + "/" +
per_name + "/" + mes_name + ".tif"
        # archivo = archivo.encode('utf-8')
        dataset = gdal.Open( archivo, GA_ReadOnly )
        band = dataset.GetRasterBand(1)
        cols = dataset.RasterXSize
        rows = dataset.RasterYSize
        # Iteramos filas y columnas y definimos valor
        data = []
        band_data = band.ReadAsArray(0, 0, cols, rows)
        data.append(band_data)
        id_punto = 1
        for r in range(rows):
            for c in range(cols):
                # Gestion de los null
                valor = data[0][r,c]
```

```

    if valor > -1000:
        # escribir en el csv
        archivo_salida2.write(str(id_punto) + " " + str(id_modelo) + " " +
str(id_escenario) + " " + str(id_periodo) + " " + str(mes) + " " + str(valor) +
"\n")
        id_punto+=1
        percent = "Modelo: " + modelo_name + "---" + "Escenario: " + esc_name
+ "---" + "Periodo: " + per_name2 + "---" + "Mes:" + str(mes)
        percent_n = round((id_por*100/432),1)
        sys.stdout.write(' Procesando: ' + percent + ' Porcentaje:' + str(percent_n))
        sys.stdout.flush()
        restart_line()
        id_por+=1
    archivo_salida2.close()
    print 'Finalizado a las: ' +
datetime.datetime.strftime(datetime.datetime.now(), '%Y-%m-%d
%H:%M:%S')
if __name__ == '__main__':
    # Definir cadena con la ruta, incluido el nombre del archivo de salida y una
ruta para los TIFF de entrada
    if len(sys.argv) < 3 or len(sys.argv) > 3:
        print "uso: <cadena con ruta y nombre de archivo de salida><ruta archivos
TIFF>"
        raise SystemExit
    output = sys.argv[1]
    archivos = sys.argv[2]
    importar_modelos(output,archivos)
    raise SystemExit

```

### Anexo III: Esquema de entidades de Global Climate Monitor

id\_coordenadas

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | INTEGER    | PK | NOT NULL |
| longitud            | DOUBLE     |    | NOT NULL |
| latitud             | DOUBLE     |    | NOT NULL |
| geom                | [geometry] |    | NOT NULL |

**Referenciado por**

[p\\_anual\\_mean](#) (id\_punto)  
[trends](#) (id\_punto)  
[cru\\_pre](#) (id\_punto)  
[cru temp min](#) (id\_punto)  
[cru temp max](#) (id\_punto)  
[cru etp](#) (id\_punto)  
[cru\\_pre normales](#) (id\_punto)

[cru temp normales](#) (id\_punto)  
[cru temp min normales](#) (id\_punto)  
[cru temp max normales](#) (id\_punto)  
[cru etp normales](#) (id\_punto)  
[stn cru temp](#) (id\_punto)  
[stn cru pre](#) (id\_punto)  
[cru temp](#)(id\_punto)

cru\_temp

| Logical Column Name                  | Type         | PK | Nullable |
|--------------------------------------|--------------|----|----------|
| id_punto (PK) ( <a href="#">FK</a> ) | INTEGER      | PK | NOT NULL |
| mes                                  | INTEGER      |    | NOT NULL |
| agno                                 | INTEGER      |    | NOT NULL |
| temp_mes                             | NUMERIC(0,0) |    |          |

Hace referencia a : [id\\_coordenadas](#) (id\_punto)

cru\_temp\_max

| Logical Column Name                  | Type         | PK | Nullable |
|--------------------------------------|--------------|----|----------|
| id_punto (PK) ( <a href="#">FK</a> ) | INTEGER      | PK | NOT NULL |
| mes                                  | INTEGER      |    | NOT NULL |
| agno                                 | INTEGER      |    | NOT NULL |
| temp_max                             | NUMERIC(0,0) |    |          |

Hace referencia a : [id\\_coordenadas](#) (id\_punto)

cru\_temp\_min

| Logical Column Name                  | Type         | PK | Nullable |
|--------------------------------------|--------------|----|----------|
| id_punto (PK) ( <a href="#">FK</a> ) | INTEGER      | PK | NOT NULL |
| mes                                  | INTEGER      |    | NOT NULL |
| agno                                 | INTEGER      |    | NOT NULL |
| temp_min                             | NUMERIC(0,0) |    |          |

Hace referencia a : [id\\_coordenadas](#) (id\_punto)

cru\_pre

| Logical Column Name                  | Type         | PK | Nullable |
|--------------------------------------|--------------|----|----------|
| id_punto (PK) ( <a href="#">FK</a> ) | INTEGER      | PK | NOT NULL |
| agno                                 | INTEGER      |    | NOT NULL |
| mes                                  | INTEGER      |    | NOT NULL |
| p_mes                                | NUMERIC(0,0) |    |          |

Hace referencia a : [id coordenadas](#) (id\_punto)

cru\_etp

| Logical Column Name                  | Type         | PK | Nullable |
|--------------------------------------|--------------|----|----------|
| id_punto (PK) ( <a href="#">FK</a> ) | INTEGER      | PK | NOT NULL |
| mes                                  | INTEGER      |    | NOT NULL |
| agno                                 | INTEGER      |    | NOT NULL |
| etp_mes                              | NUMERIC(0,0) |    |          |

Hace referencia a : [id coordenadas](#) (id\_punto)

cru\_temp\_normales

| Logical Column Name                  | Type         | PK | Nullable |
|--------------------------------------|--------------|----|----------|
| id_punto (PK) ( <a href="#">FK</a> ) | INTEGER      | PK | NOT NULL |
| mes                                  | INTEGER      |    | NOT NULL |
| period                               | INTEGER      |    | NOT NULL |
| n_period                             | INTEGER      |    | NOT NULL |
| temp_normal                          | NUMERIC(0,0) |    |          |

Hace referencia a : [id coordenadas](#) (id\_punto)

cru\_temp\_max\_normales

| Logical Column Name                  | Type         | PK | Nullable |
|--------------------------------------|--------------|----|----------|
| id_punto (PK) ( <a href="#">FK</a> ) | INTEGER      | PK | NOT NULL |
| mes                                  | INTEGER      |    | NOT NULL |
| period                               | INTEGER      |    | NOT NULL |
| n_period                             | INTEGER      |    | NOT NULL |
| temp_max_normal                      | NUMERIC(0,0) |    |          |

Hace referencia a : [id coordenadas](#) (id\_punto)

cru\_temp\_min\_normales

| Logical Column Name                  | Type         | PK | Nullable |
|--------------------------------------|--------------|----|----------|
| id_punto (PK) ( <a href="#">FK</a> ) | INTEGER      | PK | NOT NULL |
| mes                                  | INTEGER      |    | NOT NULL |
| period                               | INTEGER      |    | NOT NULL |
| n_period                             | INTEGER      |    | NOT NULL |
| temp_min_normal                      | NUMERIC(0,0) |    |          |

Hace referencia a : [id coordenadas](#) (id\_punto)

cru\_pre\_normales

| Logical Column Name                  | Type         | PK | Nullable |
|--------------------------------------|--------------|----|----------|
| id_punto (PK) ( <a href="#">FK</a> ) | INTEGER      | PK | NOT NULL |
| mes                                  | INTEGER      |    | NOT NULL |
| period                               | INTEGER      |    | NOT NULL |
| n_period                             | INTEGER      |    | NOT NULL |
| pre_normal                           | NUMERIC(0,0) |    |          |

Hace referencia a : [id coordenadas](#) (id\_punto)

cru\_etp\_normales

| Logical Column Name                  | Type         | PK | Nullable |
|--------------------------------------|--------------|----|----------|
| id_punto (PK) ( <a href="#">FK</a> ) | INTEGER      | PK | NOT NULL |
| mes                                  | INTEGER      |    | NOT NULL |
| period                               | INTEGER      |    | NOT NULL |
| n_period                             | BIGINT       |    | NOT NULL |
| etp_normal                           | NUMERIC(0,0) |    |          |

Hace referencia a : [id coordenadas](#) (id\_punto)

p\_anual\_mean

| Logical Column Name                  | Type         | PK | Nullable |
|--------------------------------------|--------------|----|----------|
| id_punto (PK) ( <a href="#">FK</a> ) | INTEGER      | PK | NOT NULL |
| agno                                 | INTEGER      |    | NOT NULL |
| p_anual_mean                         | NUMERIC(0,0) |    |          |

Hace referencia a : [id coordenadas](#) (id\_punto)

stn\_cru\_pre

| Logical Column Name                  | Type    | PK | Nullable |
|--------------------------------------|---------|----|----------|
| id_punto (PK) ( <a href="#">FK</a> ) | INTEGER | PK | NOT NULL |
| agno                                 | INTEGER |    | NOT NULL |
| mes                                  | INTEGER |    | NOT NULL |
| stn_pre                              | INTEGER |    |          |

Hace referencia a : [id coordenadas](#) (id\_punto)

stn\_cru\_temp

| Logical Column Name                  | Type    | PK | Nullable |
|--------------------------------------|---------|----|----------|
| id_punto (PK) ( <a href="#">FK</a> ) | INTEGER | PK | NOT NULL |
| agno                                 | INTEGER |    | NOT NULL |
| mes                                  | INTEGER |    | NOT NULL |
| stn_temp                             | INTEGER |    |          |

Hace referencia a : [id\\_coordenadas](#) (id\_punto)

trends

| Logical Column Name                  | Type         | PK | Nullable |
|--------------------------------------|--------------|----|----------|
| id_punto (PK) ( <a href="#">FK</a> ) | INTEGER      | PK | NOT NULL |
| period                               | INTEGER      |    | NOT NULL |
| cod_variable                         | INTEGER      |    | NOT NULL |
| trend                                | NUMERIC(0,0) |    |          |

Hace referencia a : [id\\_coordenadas](#) (id\_punto)

**Anexo IV: Definición de vistas espaciales. Global Climate Monitor.****pre\_mensual\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,  
       a.geom,  
       b.mes,  
       b.agno,  
       b.p_mes  
FROM id_coordenadas a  
JOIN cru_pre b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**temp\_mensual\_espacial**

```
CREATE OR REPLACE VIEW temp_mensual_espacial AS  
SELECT a.id_punto,  
       a.geom,  
       b.mes,  
       b.agno,  
       b.temp_mes  
FROM id_coordenadas a  
JOIN cru_temp b ON a.id_punto = b.id_punto
```

**temp\_min\_mensual\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,  
       a.geom,  
       b.mes,  
       b.agno,  
       b.temp_min  
FROM id_coordenadas a  
JOIN cru_temp_min b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**temp\_max\_mensual\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,  
       a.geom,  
       b.mes,  
       b.agno,  
       b.temp_max  
FROM id_coordenadas a  
JOIN cru_temp_max b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**etp\_mensual\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,  
       a.geom,  
       b.mes,  
       b.agno,  
       b.etp_mes  
FROM id_coordenadas a  
JOIN etp_mensual b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**anomalias\_pre\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,
       a.agno,
       a.mes,
       a.anomalia,
       b.geom
FROM anomalias_pre a
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**anomalias\_pre\_porcentaje\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,
       a.agno,
       a.mes,
       trunc(a.anomalia_porcentaje::numeric, 2) AS anomalia_porcentaje,
       b.geom
FROM anomalias_pre_porcentaje a
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**anomalias\_temp\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,
       a.agno,
       a.mes,
       a.anomalia_temp,
       b.geom
FROM anomalias_temp a
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**anomalias\_temp\_min\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,
       a.agno,
       a.mes,
       a.anomalia_temp_min,
       b.geom
FROM anomalias_temp_min a
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**anomalias\_temp\_max\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,
       a.agno,
       a.mes,
       a.anomalia_temp_max,
       b.geom
FROM anomalias_temp_max a
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**anomalias\_etp\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,
       a.agno,
       a.mes,
       a.anomalia_etp * 30::numeric AS anomalia_etp,
       b.geom
FROM anomalias_etp a
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**anomalias\_etp\_porcentaje\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,  
       a.agno,  
       a.mes,  
       a.anomalia_etp_porcentaje,  
       b.geom  
FROM anomalias_etp_porcentaje a  
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

#### pre\_anual\_espacial

```
SELECT a.id_punto,  
       a.agno,  
       trunc(a.pre_anual, 2) AS pre_anual,  
       b.geom  
FROM pre_anual a  
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

#### temp\_anual\_espacial

```
SELECT a.id_punto,  
       a.agno,  
       trunc(a.temp_anual, 2) AS temp_anual,  
       b.geom  
FROM temp_anual a  
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

#### temp\_min\_anual\_espacial

```
SELECT a.id_punto,  
       a.agno,  
       trunc(a.temp_min_anual, 2) AS temp_min_anual,  
       b.geom  
FROM temp_min_anual a  
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

#### temp\_max\_anual\_espacial

```
SELECT a.id_punto,  
       a.agno,  
       trunc(a.temp_max_anual, 2) AS temp_max_anual,  
       b.geom  
FROM temp_max_anual a  
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

#### etp\_anual\_espacial

```
SELECT a.id_punto,  
       a.agno,  
       trunc(a.etp_anual * 30::numeric, 2) AS etp_anual,  
       b.geom  
FROM etp_anual a  
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

#### seasonality\_index\_espacial

```
SELECT a.id_punto,  
       a.agno,  
       trunc(a.seasonality_index::numeric, 2) AS seasonality_index,  
       b.geom  
FROM seasonality_index a  
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**anomalias\_pre\_anual\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,  
       a.agno,  
       trunc(a.pre_anual - b.pre_anual_normal, 2) AS anomalia_pre_anual,  
       a.geom  
FROM pre_anual_espacial a  
JOIN cru_pre_anual_normal b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**anomalias\_temp\_anual\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,  
       a.agno,  
       trunc(a.temp_anual - b.temp_anual_normal, 2) AS anomalia_temp_anual,  
       a.geom  
FROM temp_anual_espacial a  
JOIN cru_temp_anual_normal b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**anomalias\_temp\_min\_anual\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,  
       a.agno,  
       trunc(a.temp_min_anual - b.temp_min_normal, 2) AS anomalia_temp_min_anual,  
       a.geom  
FROM temp_min_anual_espacial a  
JOIN cru_temp_min_anual_normal b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**anomalias\_temp\_max\_anual\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,  
       a.agno,  
       trunc(a.temp_max_anual - b.temp_max_normal, 2) AS anomalia_temp_max_anual,  
       a.geom  
FROM temp_max_anual_espacial a  
JOIN cru_temp_max_anual_normal b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**anomalias\_etp\_anual\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,  
       a.agno,  
       trunc(a.etp_anual - b.etp_normal * 365::numeric, 2) AS anomalia_etp_anual,  
       a.geom  
FROM etp_anual_espacial a  
JOIN cru_etp_anual_normal b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**pre\_normales\_espacial**

```

SELECT a.id_punto,
       a.mes,
       CASE
         WHEN a.mes = 13 THEN 'autum'::text
         WHEN a.mes = 14 THEN 'winter'::text
         WHEN a.mes = 15 THEN 'spring'::text
         WHEN a.mes = 16 THEN 'summer'::text
         ELSE a.mes::text
       END AS mes_etiqueta,
       a.n_period,
       a.period,
       trunc(a.pre_normal, 2) AS pre_normal,
       b.geom
FROM cru_pre_normales a
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;

```

**temp\_normales\_espacial**

```

SELECT a.id_punto,
       a.mes,
       CASE
         WHEN a.mes = 13 THEN 'autum'::text
         WHEN a.mes = 14 THEN 'winter'::text
         WHEN a.mes = 15 THEN 'spring'::text
         WHEN a.mes = 16 THEN 'summer'::text
         ELSE a.mes::text
       END AS mes_etiqueta,
       a.n_period,
       a.period,
       trunc(a.temp_normal, 2) AS temp_normal,
       b.geom
FROM cru_temp_normales a
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;

```

**temp\_min\_normales\_espacial**

```

SELECT a.id_punto,
       a.mes,
       CASE
         WHEN a.mes = 13 THEN 'autum'::text
         WHEN a.mes = 14 THEN 'winter'::text
         WHEN a.mes = 15 THEN 'spring'::text
         WHEN a.mes = 16 THEN 'summer'::text
         ELSE a.mes::text
       END AS mes_etiqueta,
       a.n_period,
       a.period,
       trunc(a.temp_min_normal, 2) AS temp_min_normal,
       b.geom
FROM cru_temp_min_normales a
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;

```

**temp\_max\_normales\_espacial**

```

SELECT a.id_punto,
       a.mes,
       CASE
         WHEN a.mes = 13 THEN 'autum'::text
         WHEN a.mes = 14 THEN 'winter'::text
         WHEN a.mes = 15 THEN 'spring'::text
         WHEN a.mes = 16 THEN 'summer'::text
         ELSE a.mes::text
       END AS mes_etiqueta,
       a.n_period,
       a.period,
       trunc(a.temp_max_normal, 2) AS temp_max_normal,
       b.geom
FROM cru_temp_max_normales a
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;

```

**etp\_normales\_espacial**

```

SELECT a.id_punto,
       a.mes,
       CASE
         WHEN a.mes = 13 THEN 'autum'::text
         WHEN a.mes = 14 THEN 'winter'::text
         WHEN a.mes = 15 THEN 'spring'::text
         WHEN a.mes = 16 THEN 'summer'::text
         ELSE a.mes::text
       END AS mes_etiqueta,
       a.n_period,
       a.period,
       trunc(a.etp_normal * 30::numeric, 2) AS etp_normal,
       b.geom
FROM cru_etp_normales a
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;

```

**trends\_anual\_espacial**

```

SELECT a.id_punto,
       a.cod_variable,
       a.period,
       CASE
         WHEN a.period = 1 THEN '1901-2012'::text
         WHEN a.period = 2 THEN '1901-1950'::text
         WHEN a.period = 3 THEN '1951-2012'::text
         ELSE NULL::text
       END AS period_n,
       trunc(a.trend_anual, 2) AS trend_anual,
       b.geom
FROM trends_anual a
JOIN id_coordenadas b ON a.id_punto = b.id_punto;

```

---

**stn\_pre\_mensual\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,  
       a.geom,  
       b.mes,  
       b.agno,  
       b.stn_pre  
FROM id_coordenadas a  
JOIN stn_cru_pre b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

**stn\_temp\_mensual\_espacial**

```
SELECT a.id_punto,  
       a.geom,  
       b.mes,  
       b.agno,  
       b.stn_temp  
FROM id_coordenadas a  
JOIN stn_cru_temp b ON a.id_punto = b.id_punto;
```

---

## Anexo V: Encuesta Global Climate Monitor

### 1. Overall, how well does the Global Climate Monitor meet your needs?

- Extremely well
- Very well
- Moderately well
- Not so well
- Not at all well

### 2. How easy was it to find what you were looking for on the Global Climate Monitor?

- Extremely easy
- Very easy
- Moderately easy
- Not so easy
- Not at all easy

### 3. How visually appealing is the Global Climate Monitor website?

- Extremely appealing
- Very appealing
- Moderately appealing
- Not so appealing
- Not at all appealing

### 4. How user-friendly is the Global Climate Monitor interface?

- Extremely user-friendly
- Very user-friendly
- Moderately user-friendly
- Slightly user-friendly
- Not at all user-friendly

### 5. How easy is it to understand the information on the Global Climate monitor?

- Extremely easy
- Very easy
- Moderately easy
- Not so easy
- Not at all easy

### 6. What do you like most about the Global Climate Monitor website?

7. What do you dislike most about the Global Climate Monitor website?

8. What's your profession/field of expertise?

9. Do you have any other comments about how we can improve the Global Climate Monitor website?

## Anexo VI: Esquema de entidades de Cambia

### ecc4\_1000\_dif\_espacial

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC    | PK | NOT NULL |
| id_escenario        | INTEGER    |    |          |
| id_periodo          | INTEGER    |    |          |
| mes                 | INTEGER    |    |          |
| diferencia          | NUMERIC    |    |          |
| geom                | [geometry] |    |          |

### ecc4\_1000\_dif\_espacial\_anual

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC    | PK | NOT NULL |
| id_escenario        | INTEGER    |    |          |
| id_periodo          | INTEGER    |    |          |
| diferencia          | NUMERIC    |    |          |
| geom                | [geometry] |    |          |

### ecc4\_1000\_dif\_espacial\_temp

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC    | PK | NOT NULL |
| id_escenario        | INTEGER    |    |          |
| id_periodo          | INTEGER    |    |          |
| mes                 | INTEGER    |    |          |
| diferencia          | NUMERIC    |    |          |
| geom                | [geometry] |    |          |

### ecc4\_1000\_dif\_temp\_espacial\_anual

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC    | PK | NOT NULL |
| id_escenario        | INTEGER    |    |          |
| id_periodo          | INTEGER    |    |          |
| diferencia          | NUMERIC    |    |          |
| geom                | [geometry] |    |          |

### ecc4\_1000\_pre\_espacial\_anual\_idc

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC    | PK | NOT NULL |
| reclass             | INTEGER    |    |          |
| pre_anual           | NUMERIC    |    |          |
| geom                | [geometry] |    |          |

**ecc4\_1000\_pre\_espacial\_idc**

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC    | PK | NOT NULL |
| reclass             | INTEGER    |    |          |
| valor               | NUMERIC    |    |          |
| geom                | [geometry] |    |          |

**ecc4\_1000\_temp\_espacial\_anual\_idc**

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC    | PK | NOT NULL |
| reclass             | INTEGER    |    |          |
| temp_med_anual      | NUMERIC    |    |          |
| geom                | [geometry] |    |          |

**ecc4\_1000\_temp\_espacial\_idc**

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC    | PK | NOT NULL |
| reclass             | INTEGER    |    |          |
| valor               | NUMERIC    |    |          |
| geom                | [geometry] |    |          |

**ecc4\_200\_dif\_espacial**

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC    | PK | NOT NULL |
| id_escenario        | INTEGER    |    |          |
| id_periodo          | INTEGER    |    |          |
| mes                 | INTEGER    |    |          |
| diferencia          | NUMERIC    |    |          |
| geom                | [geometry] |    |          |

**ecc4\_200\_dif\_espacial\_anual**

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC    | PK | NOT NULL |
| id_escenario        | INTEGER    |    |          |
| id_periodo          | INTEGER    |    |          |
| diferencia          | NUMERIC    |    |          |
| geom                | [geometry] |    |          |

**ecc4\_200\_dif\_espacial\_temp**

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC    | PK | NOT NULL |
| id_escenario        | INTEGER    |    |          |
| id_periodo          | INTEGER    |    |          |
| mes                 | INTEGER    |    |          |
| diferencia          | NUMERIC    |    |          |
| geom                | [geometry] |    |          |

**ecc4\_200\_dif\_temp\_espacial\_anual**

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC    | PK | NOT NULL |
| id_escenario        | INTEGER    |    |          |
| id_periodo          | INTEGER    |    |          |
| diferencia          | NUMERIC    |    |          |
| geom                | [geometry] |    |          |

**ecc4\_200\_pre\_espacial\_anual\_idc**

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC    | PK | NOT NULL |
| reclass             | INTEGER    |    |          |
| pre_anual           | NUMERIC    |    |          |
| geom                | [geometry] |    |          |

**ecc4\_200\_pre\_espacial\_idc**

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC    | PK | NOT NULL |
| reclass             | INTEGER    |    |          |
| valor               | NUMERIC    |    |          |
| geom                | [geometry] |    |          |

**ecc4\_200\_temp\_espacial\_anual\_idc**

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC    | PK | NOT NULL |
| reclass             | INTEGER    |    |          |
| temp_med_anual      | NUMERIC    |    |          |
| geom                | [geometry] |    |          |

**ecc4\_200\_temp\_espacial\_idc**

| Logical Column Name | Type       | PK | Nullable |
|---------------------|------------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC    | PK | NOT NULL |
| reclass             | INTEGER    |    |          |
| valor               | NUMERIC    |    |          |
| geom                | [geometry] |    |          |

**pre\_aemet\_6190**

| Logical Column Name | Type    | PK | Nullable |
|---------------------|---------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC | PK | NOT NULL |
| id_modelo           | INTEGER |    |          |
| id_escenario        | INTEGER |    |          |
| id_periodo          | INTEGER |    |          |
| mes                 | INTEGER |    |          |
| valor               | NUMERIC |    |          |

**pre\_aemet\_6190\_anual**

| Logical Column Name | Type    | PK | Nullable |
|---------------------|---------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC | PK | NOT NULL |
| pre_anual           | NUMERIC |    |          |

**tmed\_aemet\_6100**

| Logical Column Name | Type    | PK | Nullable |
|---------------------|---------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC | PK | NOT NULL |
| id_modelo           | INTEGER |    |          |
| id_escenario        | INTEGER |    |          |
| id_periodo          | INTEGER |    |          |
| mes                 | INTEGER |    |          |
| valor               | NUMERIC |    |          |

**tmed\_aemet\_6100\_anual**

| Logical Column Name | Type    | PK | Nullable |
|---------------------|---------|----|----------|
| id_punto (PK)       | NUMERIC | PK | NOT NULL |
| temp_med_anual      | NUMERIC |    |          |