

Datos climatológicos y gestión de datos

Por Neil PLUMMER¹, Enric AGUILAR², Tan Lee SENG³ y Kelvin WONG⁴

Introducción

Para mantener un funcionamiento importante, sensible y fuerte del servicio climatológico, los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) deben garantizar que los mismos se asienten sobre una base sólida, estando la misma formada por muchas componentes, entre las que se incluyen un personal hábil y entusiasta, una moderna tecnología de la información (TI) y un conocimiento claro de las necesidades de los usuarios. Sin embargo, algo fundamental para que un servicio climatológico funcione de forma eficaz es una base de datos completa de observaciones climatológicas: un recurso que es, en sí mismo, producto de un conjunto complejo de procesos que implican la recogida, la transmisión, el control de calidad y el archivo de miles de observaciones meteorológicas y afines de la atmósfera y, en los SMHN más avanzados, observaciones del océano y del sistema terrestre (Figura 1).

Una descripción del clima necesita algo más que valores de temperatura, precipitación, presión atmosférica, etc., que se leen y se registran en termómetros, pluviómetros y barómetros, o que se transmiten directamente desde estaciones meteorológicas automáticas

(EMA). Los climatólogos también necesitan saber la forma en la que se obtienen los valores. Por ejemplo: ¿Qué instrumentos se utilizan en la actualidad y cómo se comparan sus características de funcionamiento con los que se utilizaban antes? ¿Cómo era el entorno de la estación en el momento de la observación y cómo ha cambiado con el tiempo? ¿Cuáles son los algoritmos para obtener datos y cómo cambian a lo largo de los años, o en qué difieren de los que utilizan otros operadores del servicio? En conjunto, estos "datos acerca de los datos" se denominan metadatos y, en los últimos años, muchos países se han dado cuenta de la importancia de recoger y gestionar dicha información.

Para ayudar a los países a desarrollar su infraestructura para los servicios climatológicos, el Programa Mundial de Datos y Vigilancia del Clima (PMDVC) de la OMM ha creado varias estructuras de apoyo para la producción y la gestión de datos climatológicos de buena calidad. Se han creado Equipos de Expertos dentro de la Comisión de Climatología (CCI) para investigar y asesorar sobre una serie de problemas prácticos, y también para desarrollar y mantener normas de observaciones, sistemas y redes del clima en asociación con otras Comisiones de la OMM. La CCI ha creado

244

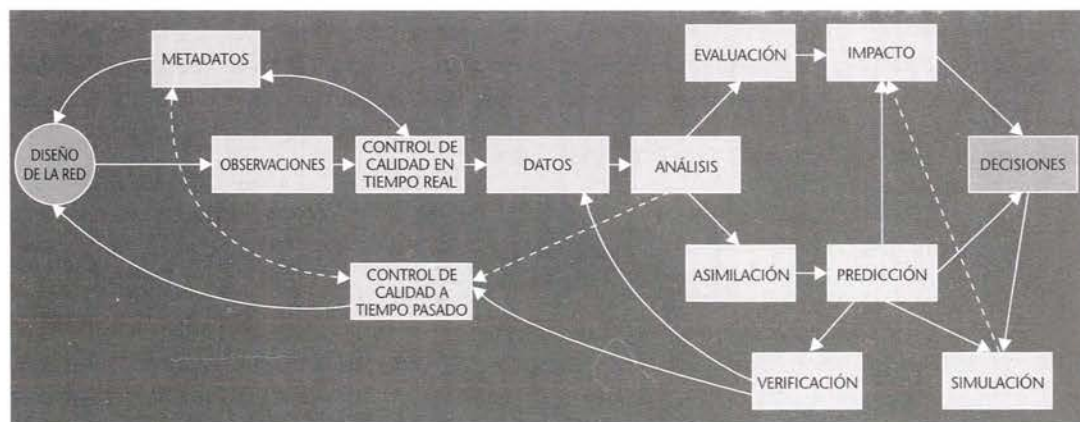


Figura 1 — El papel fundamental de las observaciones, las redes, los datos climatológicos y los metadatos en el suministro de la información del clima (Fuente: Centro Nacional del Clima del Servicio Meteorológico de Australia)

¹ Centro Nacional del Clima del Servicio Meteorológico de Australia; Copresidente del GAAP de la CCI sobre Datos Climatológicos y Gestión de Datos, y Jefe del Equipo de Expertos de la CCI en Requisitos y Normas de Observación para el Clima.

² Grupo de Investigación del Cambio Climático de la Universidad Rovira i Virgili de Tarragona, España.

³ División de Agrometeorología del Servicio Meteorológico Malayo, Malasia; Jefe del Equipo de Expertos de la CCI en Rescate, Preservación y Digitalización de Registros Climatológicos.

⁴ División Central de Operaciones y Sistemas del Servicio Meteorológico de Australia.

Equipos de Expertos en metadatos y en rescate de datos. Se ha encargado a Equipos de Coordinación de la Ejecución de la CCI que garanticen el hecho de que el trabajo de los Equipos de Expertos se comunica a todas las Regiones de la OMM y se ejecuta dentro de las mismas. Actividades como el proyecto de Aplicación de la Informática a la Climatología (CLICOM) y el proyecto del Sistema de Gestión de Bases de Datos Climatológicos (CDMS) ayudan a suministrar la infraestructura segura de gestión de bases de datos que necesitan los Miembros de la OMM.

Este artículo pretende destacar los problemas importantes relacionados con los datos climatológicos y con la gestión de datos, qué cambios se están produciendo y la manera en la que la OMM está ayudando a sus Miembros en el suministro de servicios climatológicos que les ayuden a explotar sus recursos naturales de manera sostenible y a prepararse para el clima del futuro.

Redes y sistemas de observación del clima

Las observaciones de la atmósfera, el océano y la tierra, como las que se toman para la predicción meteorológica rutinaria, son importantes porque ayudan a satisfacer las necesidades sociales, económicas y medioambientales esenciales y, además, son una parte fundamental de la infraestructura nacional para reducir el riesgo de pérdidas humanas y materiales. Se anima a los gestores superiores de los SMHN a que recuerden regularmente a sus gobiernos estas razones para registrar, recoger y gestionar dichas observaciones.

Las observaciones del clima han incluido, tradicionalmente, las distintas observaciones meteorológicas y afines utilizadas en aplicaciones como la predicción meteorológica, la modelización de la contaminación atmosférica y las evaluaciones de impactos medioambientales. Sin embargo, ahora se reconoce que conocer la variabilidad y el cambio del clima requiere información sobre los tres dominios del sistema terrestre, es decir, la atmósfera, el océano y la tierra, incluido el balance de radiación terrestre. En proporción a este reconocimiento está la necesidad de tener un conjunto completo de sistemas de observación. Las observaciones recogidas hasta ahora son muy valiosas, pero se necesitan nuevas técnicas y nuevos métodos para asegurar que los servicios operativos y los investigadores del clima puedan ofrecer respuestas a los problemas que nos acosan ahora y que lo harán en el futuro.

Como consecuencia de que el clima no es sólo el "promedio" del tiempo meteorológico observado a lo largo del tiempo, para que una base de datos climatológicos sea adecuada se convertirá en algo más complejo que la suma de todas las observaciones "meteoro-

rológicas". En primer lugar, como se ha apuntado, las observaciones del clima tienen que tener en cuenta toda la serie de elementos que describen el estado y la variabilidad del sistema climático, no solo las que describen la atmósfera. También se necesitan observaciones completas del océano y de los sistemas terrestres. En segundo lugar, una observación en cualquier momento, necesita tener un clima de referencia frente al que poder juzgarla, es decir, debe haber alguna forma de decidirse por un período climatológico de referencia. A este respecto, las observaciones de una estación que solo existe durante un período corto de tiempo (es decir, desde unos días a unos pocos años) o que sufre reubicaciones muy a menudo tendrán, por lo general, menos valor que las observaciones de una estación cuyos registros han cumplido las normas durante muchos años. Así, para obtener un promedio (o la normal) climatológico satisfactorio para un elemento climatológico particular, se necesita un registro durante un período largo de observaciones homogéneas, continuas y de buena calidad de ese elemento. Esto tiene implicaciones obvias para el diseño y el funcionamiento de las redes y de los sistemas de observación. En tercer lugar, una observación climatológica debería tener asociado, bien directa, bien indirectamente, un conjunto de metadatos que suministre a los usuarios la información, a menudo de forma implícita, sobre la manera en que debería interpretarse y utilizarse la observación.

Aunque las observaciones climatológicas servirán a múltiples fines más allá de la necesidad en sí de describir el clima, es esencial que tengan las características particulares que sirvan para esta necesidad básica. De forma cada vez más habitual, se están obteniendo observaciones climatológicas a partir de instrumentos a bordo de satélites, lo que hace que todavía sea más crítico el mantenimiento de sistemas fiables de superficie frente a los que poder referenciar y comparar los nuevos datos. Además, estamos empezando a ver el despliegue de nuevos sistemas en los océanos, que están incrementando el desafío de mantener un registro completo del clima de la Tierra. Karl y otros (1995) y Trenberth y otros (2002) han presentado importantes argumentos a favor de mejores observaciones climatológicas.

Las observaciones climatológicas alcanzarán su verdadero valor sólo si se utilizan los datos, y la información que se obtiene de ellos. Esto significa que se pueda acceder de forma fácil a los datos y se los pueda transformar en productos y servicios para utilizarlos en aplicaciones. Los resúmenes básicos mensuales, estacionales y anuales de la temperatura, la precipitación y otros elementos climatológicos ofrecen una fuente esencial para los propósitos de planificación en

áreas como la agricultura, los recursos hídricos, la gestión de emergencias, el diseño urbano, los seguros, el uso de energía y la construcción. Los datos climatológicos también descubren importantes relaciones entre el clima y la salud, incluyendo los efectos del calor o del frío extremos sobre la mortalidad. Cada año, millones de personas utilizan la información climatológica para planificar sus vacaciones anuales. En un área relativamente nueva de aplicaciones, la industria de derivados meteorológicos, que ya ha intercambiado miles de millones de dólares basados en gran medida en la información climatológica, está utilizando observaciones climatológicas de alta calidad.

La necesidad de una detección y de un análisis más precisos del cambio climático y la promesa de mejoras adicionales en la predicción estacional a interanual (EI) han incrementado también el valor de los datos climatológicos en las últimas décadas. Los datos climatológicos son fundamentales para el funcionamiento y la validación de modelos climatológicos, que se usan ampliamente para la predicción EI y para generar proyecciones futuras del clima. Maximizar la disponibilidad de datos históricos informatizados, incluyendo los metadatos, es fundamental para la vigilancia a largo plazo del clima, en particular para análisis de tendencias en ocurrencia de episodios extremos en los que la calidad de los datos y la longevidad del registro se vuelven todavía más importantes (Karl y Eas-
telling, 1999; Nicholls, 1995).

La complejidad de las demandas de los sistemas de registro y seguimiento del clima, incluyendo la detección del cambio climático, ha llevado al desarrollo de redes especiales en las escalas nacional (p. ej., la de Estaciones Climatológicas de Referencia), regional, (p. ej., la Red Climatológica Regional Básica) y mundial (p. ej., la Red Superficial del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC)). De ahí que al diseñar y gestionar las redes, los SMHN deberán tener en cuenta los fines y las necesidades de las observaciones en las distintas escalas.

Como se ha dicho anteriormente, hay algunas características importantes que necesitan tener las observaciones, de tipo meteorológico y afines, para poder decir que son totalmente aceptables con objetivos climatológicos. Karl y otros (1995) y el NRC (1999) han establecido y descrito algunos principios directores para la vigilancia sostenible del clima a largo plazo. Aunque estos prin-

cipios se identificaron sobre todo para los objetivos de mejorar nuestra capacidad de detección del cambio climático, son perfectamente aplicables a todas las facetas de las observaciones climatológicas. Los diez principios, tal y como fueron adoptados por el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y aprobados por la CCL XIII, son los siguientes:

- Debería evaluarse el impacto de los nuevos sistemas y cambios sobre los sistemas existentes antes de su aplicación.
- Se necesita un período adecuado de solapamiento entre los sistemas de observación nuevos y los antiguos (Figura 2).
- Deberían documentarse y tratarse los detalles y la historia de las condiciones locales, los instrumentos, los procedimientos de funcionamiento, los algoritmos del proceso de datos y otros factores relacionados con la interpretación de los datos (es decir, los metadatos) con el mismo cuidado que los mismos datos.
- Debería evaluarse de forma regular la calidad y la homogeneidad de los datos como parte de las operaciones rutinarias.
- Debería integrarse en las prioridades nacionales, regionales y mundiales de observación la importancia de las necesidades para los productos de seguimiento del clima y el medio ambiente, tales como las evaluaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).
- Debería mantenerse el funcionamiento de estaciones y de sistemas de observación históricos que no hayan sufrido interrupciones.



Figura 2 — Ejemplo de programa de observaciones paralelas en Helsinki, Finlandia. Dichos programas son necesarios cuando se producen cambios en los sistemas de observación o en la localización de las estaciones y hay que comparar los datos para garantizar que se mantiene la homogeneidad. (Fuente: Instituto Meteorológico Finlandés, Finlandia)

- Debería concederse alta prioridad a las observaciones adicionales en regiones pobres en datos, a parámetros poco observados, a regiones sensibles a cambios y a medidas clave con resolución temporal inadecuada.
- Deberían especificarse las necesidades a largo plazo, incluidas las frecuencias adecuadas de muestreo, a los diseñadores de redes, operadores e ingenieros de instrumentos al comienzo del diseño y de la puesta en marcha del sistema.
- Debería fomentarse que los sistemas de observación para investigación pasen a funcionar a largo plazo de una manera cuidadosamente planificada.
- Deberían incluirse como elementos esenciales de los sistemas de seguimiento del clima los sistemas de gestión de datos que faciliten el acceso, el uso y la interpretación de los datos y de los productos.

Se puede decir mucho, y así se ha hecho, sobre estos principios pero quizás haya dos mensajes básicos para los climatólogos. En primer lugar, estos no pueden permitirse una postura pasiva cuando se trata de aceptar los cambios propuestos en una red o en un sistema de observación. Deben dialogar y crear relaciones con los gestores de dichas redes y sistemas y también con los gestores de comunicación de los datos y con los gestores de las bases de datos de forma que se comprendan y se aprecien las necesidades climatológicas específicas. En segundo lugar, los climatólogos deben aceptar que habrá cambios en las redes y en los sistemas de observación, independientemente de cuánto les gustaría que no fuera así. El tema clave es garantizar que se gestionen dichos cambios. Esto requerirá, entre otras cosas, la creación de prácticas de gestión de cambios bien dictadas y fiables dentro de la organización responsable (T. Allsopp, comunicación personal, 2002).

Como resultado de una reciente reunión en Málaga, España (24-26 de febrero de 2003) (véase la página 325), el PMDVC, a través de la CCL, comenzó a desarrollar material de asesoramiento sobre las redes y los sistemas de observación (y también para el rescate de datos y la homogeneización de los metadatos). Se espera que esta iniciativa inicie el desarrollo de más material de asesoramiento sobre la gestión de datos climatológicos, incluido el control de calidad. Además, los expertos de la CCL están implicados en enmarcar estos requerimientos dentro del contexto del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC) y también con respecto a

las directrices sobre necesidades de observación de todos los usuarios principales de observaciones atmosféricas, oceanográficas y terrestres. La OMM apoya y mantiene un compromiso activo con las conferencias y con los seminarios relacionados con las redes y los sistemas de observación y, en particular, está fomentando la aplicación de los principios sobre la vigilancia del clima a largo plazo.

La OMM y todos sus Miembros tienen ante sí importantes desafíos para mejorar las redes y los sistemas de observación del clima. El segundo informe de idoneidad sobre Los Sistemas Mundiales de Observación del Clima, coordinado por la Secretaría del SMOC, concluye que a los sistemas existentes de observación atmosférica, oceanográfica y terrestre les queda todavía un largo camino antes de que puedan cumplir adecuadamente con las normas necesarias para el clima.

Metadatos

La palabra metadatos es una combinación del griego *meta* (más allá) y del plural del latín *datum* (un hecho dado). Los metadatos, es decir, los datos acerca de los datos, deben reflejar cómo, dónde, cuándo y por quién se recogieron los datos de observación y qué sucedió entre el momento en que fueron observados y el momento en el que se archivaron. Los metadatos son denominados a veces “nivel de directorio” cuando se refieren a información acerca de los contenidos de los datos, y “nivel de archivo” cuando se hace referencia a la información sobre el proceso de registro y de recogida, es decir, lo que los climatólogos llaman a veces información de la “historia de la estación”. Aquí nos centramos sobre todo en esto último. Idealmente, un registro completo de metadatos debería seguir el rastro de todos los cambios asociados al entorno de funcionamiento de una estación que pudieran afectar a sus datos de salida (Figura 3).

¿Qué son los metadatos y por qué los necesitamos?

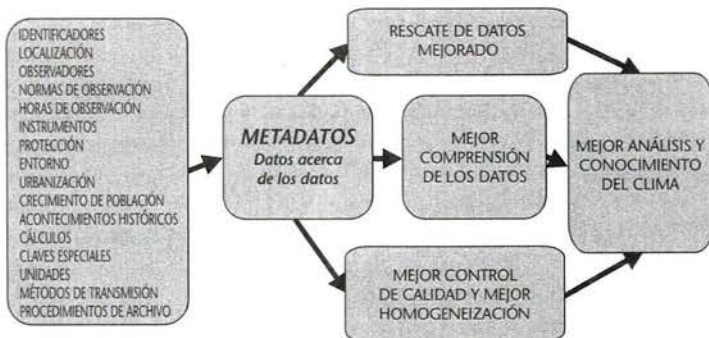


Figura 3 — Las fuentes de datos para los metadatos son muchas y variadas pero con un registro cuidadoso, esfuerzos de rescate y una sólida gestión, hay importantes beneficios para el análisis del clima y, a la larga, para un mejor conocimiento del mismo

Los metadatos de buena calidad ofrecerán información sobre las condiciones bajo las cuales se han registrado, almacenado y transmitido los datos de observación y permitirán, de esta manera, que un usuario de los datos saque conclusiones adecuadas y válidas. A la inversa, la falta de metadatos puede llevar a interpretaciones erróneas. Los climatólogos deben informar y educar a las personas implicadas en los procesos de gestión y recogida de datos acerca de las necesidades de metadatos y de por qué son importantes. Solo entonces podemos fiarnos de que los propios registros sean completos, precisos y relevantes para la tarea en cuestión. Lo que podría ser una práctica evidente y común en cualquier momento puntual puede llevar a una futura fuente de incertidumbre o de error si no está bien documentada. Como ejemplo, en muchos países es común cifrar una cantidad inapreciable de precipitación con un “-3” o con otro valor negativo. Es una estrategia de “marcado” bastante conveniente, ya que una precipitación total no puede ser nunca inferior a cero. Sin embargo, si no existen metadatos, algunos usuarios pueden ser propensos a ignorar un valor negativo de este elemento, lo que llevaría entonces a una estimación a la baja del número de días de lluvia. Si los observadores y/o los gestores de datos han sido lo bastante cuidadosos de documentar esta práctica y el usuario se toma tiempo para comprender la información antes de hacer ningún análisis, dichos errores no deberían producirse. Otro ejemplo, la documentación de la fecha y la hora exactas en que se sustituye un instrumento y las características técnicas tanto del instrumento nuevo como del antiguo ayudarán a eliminar las “huellas” no climatológicas asociadas a dichos cambios de los registros climatológicos. De forma similar, los detalles de los traslados de la estación y de los cambios de las características de una estación permanente, p. ej., la construcción de edificios y el crecimiento de vegetación, son esenciales para los usuarios de datos, en particular para evaluar las variaciones climatológicas a largo plazo.

En poco más de una década el IPCC ha aumentando la concienciación sobre el calentamiento mundial hasta el punto de que ahora es uno de los problemas más importantes para la humanidad. Los metadatos juegan un papel clave en la creación de conjuntos de datos homogéneos a largo plazo y de alta calidad, necesarios para satisfacer las rigurosas normas del IPCC y también las necesarias para los servicios climatológicos operativos.

Los usuarios de datos meteorológicos que trabajan en especialidades como la meteorología agrícola, la ingeniería o la aeronáutica, también obtienen beneficios de buenos metadatos. Como estos usuarios comparan a menudo los datos obtenidos de muchas esta-

ciones y mediante muchos sensores en momentos distintos, también necesitan garantizar que los datos sean fiables y puedan ser comparados. La información sobre las distintas condiciones y prácticas de observación en las distintas estaciones les ayudará a lograr este objetivo.

Como se tratará más adelante, la OMM está realizando grandes esfuerzos en los proyectos de rescate de datos, ya que es obvio que muchos datos meteorológicos valiosos siguen estando en formato no digital y corren el riesgo de desaparecer. Dichas campañas de rescate de datos salvarán los metadatos asociados, junto con los datos de observación. A este respecto, pueden necesitarse esfuerzos independientes para los metadatos, que generalmente no están colocados junto con los datos de observaciones registrados. Cuando se recogen metadatos de las observaciones pasadas, es aconsejable añadir información sobre los acontecimientos históricos que pueden afectar a la calidad, la homogeneidad y la integridad del registro. Acontecimientos tales como la creación o la desaparición de fronteras nacionales, guerras, el aumento de la población, la creación de instituciones, el establecimiento de nuevas políticas, etc., pueden afectar a una estación individual o a toda una red y por lo tanto serán importantes. Los proyectos de rescate de datos también se benefician de la disponibilidad de metadatos. Por ejemplo, la comparación de los registros digitalizados disponibles de un conjunto de estaciones con los metadatos que detallan sus períodos de funcionamiento ofrece una indicación de los beneficios potenciales que se obtienen mediante dicho rescate de datos.

En la reunión de la CCI de Málaga, mencionada anteriormente, al elaborar material de asesoramiento también se reunió a expertos para redactar las directrices del PMDVC sobre las prácticas con metadatos. El fin de esta guía es ofrecer a los SMHN información sobre qué metadatos son importantes y sobre la forma de gestionarlos. La guía incluirá una lista completa de los puntos esenciales que deben registrarse. Por ejemplo, un buen registro de metadatos para una estación meteorológica debería incluir toda la información necesaria sobre identificación y situación; códigos nacionales e internacionales; nombres y alias; información geográfica (latitud, longitud y altitud); detalles de contacto (institución responsable, observador, etc.) y período de funcionamiento (fecha de inicio, interrupciones y fecha de clausura). También es importante registrar información precisa sobre los instrumentos en uso, la protección, el mantenimiento y los posibles obstáculos, así como las características del entorno local de la estación y el uso del suelo. El conocimiento de las claves de observación, las unidades, las horas de ob-

servación, los elementos medidos, las correcciones aplicadas a los datos y el método utilizado para calcular valores derivados (p. ej., valores medios diarios) son también extremadamente útiles para evitar interpretaciones erróneas, y deberían incluirse en un registro completo de metadatos. También es aconsejable indicar cualquier ajuste de control de calidad o de homogeneización que se haya hecho a los datos antes de su transmisión. Otras fuentes de metadatos valiosos son las historias de la observación de parámetros individuales, incluidas las normas de observación de los elementos (p. ej., la temperatura, la precipitación). Esta información estará representada, generalmente, en forma de resúmenes históricos extraídos de las historias individuales de la estación. También debería aplicarse a los datos un control de calidad, y preferiblemente, poco después de que se haya registrado la información.

La OMM tiene un gran interés en fomentar y apoyar el registro y la gestión de metadatos y los esfuerzos de rescate de los mismos. En términos de su gestión, generalmente se aplican a los metadatos las mismas normas y prácticas que a los datos de observación, es decir, los datos deberían ser seguros, accesibles y sujetos a un control de calidad, etc. Aunque muchos metadatos deberían almacenarse, de forma ideal, dentro de un sistema moderno de base de datos climatológicos (p. ej., una base de datos relacional) se reconoce que esto puede no ser viable para muchos países y, ciertamente, puede no ser práctico para todas las fuentes de metadatos. El Equipo de Expertos de la CCI sobre Metadatos para Aplicaciones Climatológicas trabajará para desarrollar soluciones que sean aplicables en todos los SMHN.



Figura 4 — Registros climatológicos históricos esperan a ser digitalizados. Es importante que, a diferencia de este ejemplo, los registros se mantengan en una habitación convenientemente climatada

Rescate de datos, preservación y digitalización de datos climatológicos

Un SMHN que produce de forma rutinaria observaciones de alta calidad, que registra y gestiona sus metadatos y que mantiene una base de datos moderna, fiable y segura, puede aún seguir “teniendo existencias atrásadas” si tiene una pila de registros de papel que esperan a ser digitalizados (Figura 4). Desgraciadamente, esta situación es común y muchos países de todo el mundo no pueden beneficiarse de todo el potencial de sus registros climatológicos.

La práctica de registrar concienzudamente las observaciones meteorológicas y de transcribirlas a impresos de papel ha sido la esencia de la climatología desde sus comienzos. En las décadas más recientes se ha convertido en una práctica más común en la mayoría de los países guardar los datos en un soporte informático. Sin embargo, debido a la falta de financiación, la falta de conocimientos técnicos o las demandas para mantenerse al día en los flujos de nuevos datos, muchos y valiosos datos del pasado no han dado el salto del papel al ordenador. Una consecuencia desafortunada es que los datos almacenados en millones de impresos de papel corren el riesgo, en la actualidad, de desaparecer debido al deterioro físico del papel. En cierta medida, se pueden aplicar comentarios parecidos a los datos almacenados en otros medios como microfilm, microfichas y tipos más antiguos de medios informáticos, p. ej., las cintas magnéticas. Algunos países tienen sus registros distribuidos entre varias instituciones (y a veces, ¡hasta en otros países!).

Es necesario actuar de manera urgente para garantizar que la gran cantidad de datos climatológicos recogidos se guarden adecuadamente de forma fácilmente accesible y útil. En una reciente Reunión Internacional de Rescate de Datos (OMM, 2002), se definió el rescate de datos como “un proceso continuado para salvaguardar todos los datos en peligro de desaparecer debido al deterioro del medio, y la digitalización de los datos actuales y pasados en formatos informáticos compatibles a los que se pueda acceder fácilmente”. Se añadió que:

- Los datos deberían almacenarse como ficheros de imagen en medios que puedan renovarse de forma regular para prevenir el deterioro del medio (cartuchos, CD, DVD, etc.).
- Los datos que ya estén en medios compatibles informáti-

mente deberían cambiarse a equipos de almacenamiento que se ajusten a las tecnologías cambiantes.

- Los datos deberían introducirse de forma que puedan utilizarse para análisis.

Los pasos esenciales en una empresa de rescate de datos se muestran en la Figura 5.

La creación del proyecto de Rescate de Datos (DARE) como una de las prioridades de la OMM tiene una importancia crítica si queremos asegurar que las futuras generaciones de científicos y otros usuarios de datos tengan acceso a toda la información necesaria para su investigación, sus servicios y sus aplicaciones. La OMM ha logrado varios éxitos en los proyectos DARE llevados a cabo en varias partes del mundo. Por ejemplo, un proyecto financiado principalmente por Bélgica dio como resultado que se salvaran en microfichas y microfilmes millones de documentos de unos 50 países africanos. El Grupo de Trabajo conjunto de la CCI y el CLIVAR sobre Detección del Cambio Climático realizó un seminario sobre extremos climatológicos en el Caribe (Peterson y otros, 2002) que demostraba lo que se puede lograr a través de la colaboración regional y con recursos relativamente limitados. Después de este seminario, numerosos países aumentaron sus esfuerzos para digitalizar registros.

El caso de registros climatológicos históricos de períodos largos y las actividades DARE se ha tratado anteriormente. Recientes evaluaciones del IPCC sobre el cambio climático indican que los registros de períodos largos de datos climatológicos de calidad son fundamentales para mejorar el conocimiento de las variaciones del clima y el cambio climático. Sin embargo, la necesidad de aumentar la selección y la disponibilidad de datos digitalizados va más allá de esta necesidad básica para describir los climas del pasado. Por ejemplo, una motivación clave para los esfuerzos en rescate

de datos de Australia ha venido de la comunidad agrícola, que ha reconocido la importancia de los datos climatológicos para los modelos de simulación agrícola, para obtener mejores predicciones interanuales a estacionales y para conocer mejor los efectos de los extremos climatológicos sobre la productividad (Clarkson y otros, 2001).

En la última reunión de Málaga, los expertos de la CCI de la OMM empezaron a redactar material sobre directrices en rescate de datos. Cuando esté completa, esta guía ofrecerá a los SMHN la información esencial necesaria para identificar, preservar y digitalizar sus registros climatológicos históricos.

Sistemas de gestión de bases de datos sobre el clima

El proyecto CLICOM comenzó a mediados de la década de los ochenta para satisfacer las necesidades de gestión de datos climatológicos de un número importante de Miembros de la OMM que no tenían la capacidad de utilizar ordenadores para gestionar sus datos climatológicos. Aunque varios países siguen ofreciendo un importante apoyo a otros en la puesta en marcha y el mantenimiento de sistemas CLICOM, ya no se dispone de importantes componentes de software y la evolución del hardware y de los sistemas operativos ha dificultado la garantía de un apoyo continuado.

La OMM está coordinando la sustitución del actual sistema CLICOM por Sistemas de Gestión de Bases de Datos Sobre el Clima (CDMS). El Programa PMDVC de la OMM realizó un estudio en noviembre de 1999 entre los Miembros, en el que preguntaba si sus SMHN habían desarrollado (o estaban desarrollando) un CDMS que pudieran facilitar para su posible uso futuro por parte de otros Miembros. En unas tablas de requisitos funcionales que se habían preparado en un seminario sobre CDMS (Toulouse, Francia,

30 de marzo a 1 de abril de 1999) se establecieron todas las especificaciones que podrían ser aplicables a un CDMS. Se pidió a los SMHN que utilizaran dichas tablas para clasificar los distintos requisitos funcionales y para apoyar los servicios de futuros CDMS. A los SMHN que habían presentado CDMS se les pidió también que utilizaran la tabla para describir completamente sus CDMS. Se recibieron respuestas de 96 Miembros y



Figura 5 — Pasos necesarios en el rescate de datos (Fuente: Centro Nacional del Clima del Servicio Meteorológico de Australia)

el 84 por ciento manifestó interés en utilizar, probar o ayudar a intensificar futuros CDMS.

En la reunión del Grupo de Trabajo de la CCL de la OMM, sobre futuros CDMS de la OMM, (OMM, 2000) se presentó un análisis detallado de los 80 puntos de las tablas de requisitos funcionales. Se obtuvieron algunos resultados interesantes después de agrupar los datos en dos categorías amplias de países clasificados como "menos desarrollados" y "otros". Hubo algunas diferencias en los requisitos funcionales y en las prioridades presentadas por estos dos grupos de países. Los asuntos que los países "menos desarrollados" situaron como los más importantes fueron las características del control de calidad, el suministro de manuales de usuario y la documentación del sistema, las descripciones de un modelo entidad-relación (E-R) de base de datos, la gestión de la seguridad, los métodos utilizados para generar productos de climatología agrícola, los métodos y los equipos para homogeneizar datos y, por último, la realización de mensajes CLIMAT. A los asuntos a los que se dio la prioridad más baja fueron la adquisición de datos de EMA y SHIP. A los datos de rejilla se les dio sistemáticamente prioridad baja en todas las Regiones, excepto en Sudamérica donde, es de suponer, los grandes huecos de datos hacen que la interpolación sea más importante. En la reunión se concluyó que en los CDMS que se propongan a los países "menos desarrollados", como uno de los principales grupos objetivo del nuevo proyecto de CDMS de la OMM, se deberían reflejar firmemente sus requisitos particulares.

La iniciativa de CDMS es un paso importante para conseguir un enfoque integrado del archivo y de la gestión de datos. Las necesidades especiales de los Miembros y los requisitos funcionales del CDMS enmarcaron los criterios de evaluación propuestos para la prueba y la autoevaluación del CDMS (OMM, 2000). Los siguientes temas también fueron importantes para el desarrollo del proyecto:

- La experiencia práctica en la aplicación y el desarrollo del antiguo CLICOM.
- Los seminarios regionales de formación profesional del CLICOM.
- Una Reunión del Grupo de Trabajo de la CCL en Ostrava, República Checa, en noviembre de 1998 (OMM, 1999) y su Seminario de continuación en Toulouse, en abril de 1999.
- Una Reunión de Expertos en Toulouse en mayo de 1997 (OMM, 1998).

Entre los requisitos esenciales que se esperaban de los CDMS se incluían los siguientes:

- Una mayor capacidad de los Miembros para archivar datos en tiempo real o en funcionamiento

aplazado y para realizar resúmenes climatológicos de forma eficiente.

- Una mejor gestión de los metadatos de las estaciones, incluyendo información histórica de las estaciones, equipo de medidas, informes de inspecciones y comentarios de los lugares.
- Garantizar que los sistemas tienen la capacidad de comunicarse con sistemas de entrada de datos para permitir la digitalización de los datos.
- El suministro de un sistema completo de control de calidad y de validación.
- La capacidad para manejar datos creados por el sistema CLICOM.

Varios países se han implicado de forma activa en la prueba y la evaluación de sus CDMS desde la Reunión del Grupo de Tareas de la CCL, en mayo de 2000. Se pidió a dos expertos externos que evaluaran y documentaran los sistemas que ofrecían los Miembros de la OMM, en un seminario de evaluación que se celebró en Ginebra del 27 de mayo al 1 de junio de 2002. Se ha realizado un importante progreso en este ejercicio y, hasta ahora, se han evaluado completamente seis sistemas.

Al aplicar un nuevo CDMS es importante comprender las inmensas responsabilidades involucradas en la instalación, adaptación al usuario, documentación, formación y mantenimiento de software, además de los costes generados en la compra de los sistemas. Para lograr una aplicación con éxito se necesita un compromiso importante de los SMHN y un marco eficaz que facilite el cumplimiento de estos requisitos. Se espera que el marco suministre una evaluación directa y rápida de los impactos de los nuevos requisitos y de una redistribución de recursos acorde con ello.

Conclusión

Los futuros servicios climatológicos dentro de los SMHN tendrán que ser respaldados por numerosas capacidades clave. Las observaciones climatológicas tendrán que tomarse de redes y sistemas de observación que ofrezcan la alta calidad necesaria para una serie de necesidades climatológicas, incluida la detección del cambio climático. Todas las redes de observación diseñadas para vigilar las tendencias a largo plazo y las demás redes tendrán que cumplir, siempre que sea posible, los Principios de Seguimiento del Cima acordados en el CMNUCC: los beneficios van más allá, claramente, del mismo conocimiento del clima. Los SMHN tendrán que identificar, recuperar y digitalizar sus registros históricos en papel, incluidos los metadatos, que deberán gestionarse con el mismo cuidado que los datos de observaciones. Harán falta sistemas de gestión de bases de datos climatológicos seguros y fiables para servir al número cada vez mayor de productos y de servicios climatológicos que se espera de los SMHN. Los

SMHN también tendrán que cambiar sus archivos climatológicos a medios y sistemas de gestión de bases de datos más nuevos, según sea necesario, para garantizar que no se pierden en la obsolescencia del hardware y de los sistemas operativos. El Programa Mundial del Clima seguirá ayudando a que los SMHN satisfagan estas necesidades.

Agradecimientos

Los autores dan las gracias por sus útiles comentarios a varios compañeros, en especial al Dr. Paul Llanso (Jefe del Programa Mundial de Datos y Vigilancia del Clima de la OMM), al Dr. Michael Coughlan, a Ian Muirhead y a John Shortridge (del Centro Nacional del Clima del Servicio Meteorológico de Australia)

Referencias

- CLARKSON, N.M., B. TREWIN, D. JONES, N. PLUMMER, R. HUTCHINSON y K. WONG, 2001: Extending the Computerized Australian Climate Archives to Unlock our Climate History—the CLIMARC Project. Decimocuarto Foro Climatológico de Australia y Nueva Zelanda, Darwin, 18-21 de septiembre de 2001, 49 pp.
- 252 SMOG, 2003: Second Report on the Adequacy of the Global Observing System for Climate. Secretaría del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC), Ginebra. (En preparación).
- KARL, T.R., V.E. DERR, D.R. EASTERLING, C.K. FOLLAND, D.J. HOFFMAN, S. LEVITUS, N. NICHOLLS, D.E. PARKER y G.W. WITHEE, 1995: Critical issues for long-term climate monitoring. *Climatic Change*, 31, 185-221.
- KARL, T.R. y D.R. EASTERLING, 1999: Climate extremes: selected review and future research directions. *Climatic Change*, 42, 309-325.
- NICHOLLS, N., 1995: Long-term climate monitoring and extreme events. *Climatic Change*, 31, 231-245.
- National Research Council (EE.UU.), 1999: *Adequacy of Climate Observing Systems*. National Academic Press, EE.UU., 51 pp.
- PETERSON, T.C., M.A. TAYLOR, R. DEMERITTE, D.L. DUNCOMBE, S. BURTON, F. THOMPSON, A. PORTER, M. MERCEDES, E. VILLEGAS, R. SEMEXNT FILS, A.K. TANK, A. MARTIS, R. WARNER, A. JOYETTE, W. MILLS, L. ALEXANDER y B. GLEASON, 2002: Recent changes in climate extremes in the Caribbean region. *Journal of Geophysical Research*, 107, D21, 4601.
- TRENBERTH, K.E., T.R. KARL y T.W. SPENCE, 2002: The need for a systems approach to climate observations. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, 1593-1602.
- WMO, 1998: Expert Meeting to review and assess the Oracle-based Prototype for Future Climate Database Management Systems (CDMS), Toulouse, 12-16 de mayo de 1997. PMDVC N.º 34.
- WMO, 1999: Report of the Meeting of the WMO Commission for Climatology Task Group on Future WMO Climate Database Management Systems, Ostrava, República Checa, 10-13 de noviembre de 1998. PMDVC N.º 38.
- WMO, 2000: Meeting of the WMO Commission for Climatology Task Group on Future WMO Climate Database Management Systems, Ginebra, 3-5 de mayo de 2000. PMDVC N.º 46.
- WMO, 2002: Reports of the CLICOM-DARE Workshop (San José, Costa Rica, 17-28 July 2000) and the International Data Rescue Meeting (Geneva, 11-13 September 2001). PMDVC, N.º 49.

Detección del cambio climático

Por Francis ZWIERS¹, Howard CATTLE², Thomas C. PETERSON³ y Abdalah MOKSSIT⁴

Introducción

La detección de cambios en el clima frente a su variabilidad es un asunto clave en la investigación climatológica. Como actividad, la detección del cambio climático tiene que aportar respuestas tanto mundiales como regionales a las fuerzas externas del cambio climático, en particular las que se producen por la activi-

dad humana. Necesita, claramente, y debe basarse en ella, vigilancia a largo plazo de las variables climatológicas clave de la atmósfera, el océano y la superficie de la tierra y la cubierta de hielo (criosfera) de todo el mundo. También tiene que aprovechar una amplia serie de datos históricos y comprometerse en el rescate de los mismos, el control de calidad y la homogeneiza-

¹ Servicio Meteorológico de Canadá, Victoria, BC, Canadá; y Copresidente del Equipo de Expertos de la CCI en Detección, Vigilancia e Índices del Cambio Climático (junto con la CLIVAR)

² Oficina Internacional del Proyecto CLIVAR, Southampton, Reino Unido

³ Centro Nacional de Datos Climáticos / NESDIS / NOAA, Asheville, NC, U.S.; y Presidente del GAAP de la CCI para la Vigilancia y el Análisis de la Variabilidad y el Cambio del Clima

⁴ Dirección de la Meteorología Nacional, Casablanca, Marruecos; y Copresidente del Equipo de Expertos de la CCI en Detección, Vigilancia e Índices del Cambio Climático (junto con la CLIVAR)