

Aprender del pasado para comprender el futuro: registros históricos del cambio en los océanos

por Rob Allan¹, Kevin Wood², Eric Freeman³, Clive Wilkinson⁴, Axel Andersson⁵, Andrew Lorrey⁶, Philip Brohan⁷, Martin Stendel⁸ y John Kennedy⁷

Para anticipar mejor los futuros impactos meteorológicos y climatológicos en la sociedad y el sistema Tierra, cada vez hay más demanda de bases de datos meteorológicos, tanto terrestres como marinos, de mayor longitud y resolución. La creación de estas bases de datos climáticos de referencia requiere un enorme esfuerzo para recuperar y convertir en formato digital registros manuales para, tras un control de calidad, integrarlos y suministrar estos datos históricos de forma masiva a una nueva generación de modelos de análisis retrospectivo (reanálisis) que se ejecutan en las computadoras más potentes del mundo.

Durante la última década ha ido creciendo el reconocimiento de la importancia de los datos meteorológicos

marinos históricos para rellenar amplios vacíos en la cobertura de datos existente. Con el 70 % de la superficie de la Tierra ocupada por los océanos, los datos sobre el mar son muy importantes (y únicos durante buena parte de la historia) para cuantificar los diversos papeles que desempeñan los océanos en la regulación del clima, y proporcionar los mejores medios para prever la trayectoria futura del clima y su probable impacto en todos los aspectos de la vida. Además, la necesidad urgente de conocer el clima futuro, combinada con la creciente capacidad de los modelos y sistemas de reanálisis basados en datos, ha transformado el valor de los datos meteorológicos históricos para la ciencia del clima.

La principal fuente de datos marinos históricos son los comentarios, observaciones y anécdotas de carácter meteorológico registradas en los diarios de navegación escritos a bordo de los barcos que durante siglos han navegado por los mares y océanos de todo el mundo. A comienzos del siglo XVI aparecieron tablas normalizadas de información no instrumental y mediciones del tiempo marino, mientras que las observaciones más sistemáticas y con instrumentación de calidad comenzaron entre mediados y finales del siglo XVIII. El primer esfuerzo para establecer estándares y una coordinación internacional en materia de meteorología marítima fue la Conferencia Marítima de Bruselas de 1853. A partir de esta fecha, buques mercantes y de guerra de muchas naciones comenzaron a realizar y registrar de forma sistemática observaciones del tiempo atmosférico y de la superficie del mar por millones. Hoy estos registros suministran los datos necesarios para alimentar los modelos y reanálisis de última generación.

De COADS a ICOADS

En la década de 1980 comenzó a hacerse un esfuerzo notable en el campo del rescate de datos marinos

-
- 1 Gestor del proyecto ACRE de reconstrucción de la circulación atmosférica sobre la Tierra, Centro Hadley de Predicción e Investigación Climática (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte)
 - 2 Universidad de Washington, Instituto Cooperativo de Estudios Climáticos, Oceánicos y de Ecosistemas, y Laboratorio Ambiental Marino del Pacífico de la NOAA (Estados Unidos de América)
 - 3 Universidad de Maryland, Instituto Cooperativo de Estudios del Sistema Tierra por Satélite, y Centros Nacionales de Información Ambiental de la NOAA (Estados Unidos de América)
 - 4 Servicios de datos asociados de ACRE OCEANS/CSW (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte)
 - 5 Servicio Meteorológico de Alemania
 - 6 Instituto Nacional de Investigación del Agua y la Atmósfera (Nueva Zelanda)
 - 7 Centro Hadley de Predicción e Investigación Climática (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte)
 - 8 Instituto Meteorológico Danés (Dinamarca)

produciendo la más completa colección de observaciones meteorológicas marítimas de superficie. El Conjunto Completo de Datos Océano-Atmósfera (COADS) fue el resultado de estos esfuerzos e incluía nuevos repositorios disponibles de observaciones marítimas digitalizadas de diversas fuentes, generalmente producidas y almacenadas en tarjetas perforadas de la época. Con el incremento a través de los años de las contribuciones y los apoyos internacionales, el proyecto fue renombrado en 2002 como **Conjunto Internacional Integrado de Datos Oceánicos y Atmosféricos (ICOADS)** para reflejar mejor las importantes contribuciones realizadas por los asociados internacionales y los gestores de datos globales.

Durante su existencia, el ICOADS ha logrado reconocimiento como el principal repositorio y punto de acceso a observaciones históricas de meteorología marítima recuperadas por trabajos de digitalización de distinto alcance. Así, se incluyen datos históricos recuperados y digitalizados por los proyectos CDMP (Programa de modernización de bases de datos climatológicas: 2000-2011), CLIWOC (Base de datos climatológicos de los océanos mundiales 1750-1850: 2001-2003), RECLAIM (Recuperación de diarios de navegación y datos marítimos internacionales: 2004->), **ACRE (Proyecto de reconstrucción de la circulación atmosférica sobre la Tierra**, Allan y otros, 2016) y CoRRaL (Registros coloniales del Reino Unido y diarios de navegación de la Royal Navy: 2008-2009).

La versión más reciente de ICOADS es la 3, ICOADS R3.0, que abarca de 1662 a 2014 (Freeman y otros, 2017), con extensiones mensuales en tiempo casi real desde 2015 hasta la actualidad. La figura 1 (extraída de esta última publicación) muestra una comparativa entre las versiones ICOADS R2.5 y R3.0 que abarca entre los años 1800 y 2014 y señala los resultados de los numerosos esfuerzos de digitalización. El volumen de estos trabajos y su extensión temporal son una muestra del valor de los mismos y de la importancia de ampliar estas colecciones y ofrecer acceso público a más datos oceánicos. Mientras ICOADS busca modernizar y expandir sus colecciones a corto plazo para la publicación de una nueva versión, los trabajos en el rescate de datos históricos y su digitalización serán vitales para suministrar nuevas fuentes de datos que permitan mejorar el conocimiento científico de la historia del clima sobre los océanos.

Desde la publicación de la versión R3.0 de ICOADS se han coordinado los esfuerzos para ampliar la recuperación, obtención de imágenes y digitalización de **datos históricos globales de meteorología marítima**. Se ha conseguido mucho gracias a una mezcla de proyectos

nuevos de rescate de datos, otros que ya estaban en marcha y actividades de ciencia ciudadana con la supervisión del Servicio Meteorológico de Alemania (DWD), la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos de América (NOAA) y la Universidad de Washington, trabajando junto con los Archivos Nacionales de los Estados Unidos y el proyecto **GloSAT (Temperatura mundial del aire en la superficie)** (2019->) o unidos a la iniciativa internacional ACRE y su ACRE Océanos (por ejemplo, el **Servicio DRS de rescate de datos del Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S) de la Unión Europea** y los proyectos del Fondo Newton del Reino Unido para ACRE China dirigidos por CSSP China, ACRE/C3S DRS/WCSSP Sudáfrica, ACRE/C3S DRS Argentina y ACRE/C3S Antártida). Estas iniciativas han incluido nuevos trabajos interconectados de ciencia ciudadana en materia de rescate de datos marinos con los proyectos **OldWeather** (2013->), **Weather Detective** (2014-2017) y **Southern Weather Discovery** (2018->). Los **Archivos Nacionales de Dinamarca** han identificado también una colección de más de 7 000 cajas de archivo de datos meteorológicos obtenidos en buques desde 1650 hacia adelante que son adecuados para escaneo y transcripción. Todos estos datos marinos digitalizados se incorporarán a ICOADS y al nuevo proyecto **GLAMOD (Conjunto de observaciones globales terrestres y marinas de Copernicus)**, (Thorne y otros 2017).

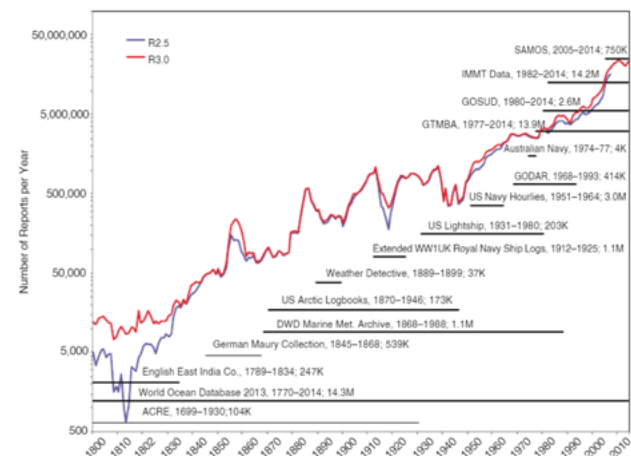


Figura 1. Principales fuentes de los datos históricos digitalizados y los archivos externos de datos marinos incorporados a ICOADSv3, período 1800-2014. Las líneas horizontales negras muestran el rango temporal de las fuentes originales. Los números de registros anuales se dibujan como una curva (en escala logarítmica en el eje vertical) azul para la versión R2.5 y roja para la R3.0. La cobertura de datos marinos para antes de 1800 es dispersa y la que sigue a 2007 crece anualmente. Fuente: Freeman y otros, 2017.

ACRE Océanos

El volumen principal de datos rescatados (escaneado y catalogación) por ACRE Océanos se obtuvo gracias al esfuerzo de tan solo dos personas que se centraron en tres archivos en el Reino Unido mantenidos en el Servicio Meteorológico (UKMO), en el Servicio Hidrográfico (UKHO) y en el Archivo Nacional (TNA). También trabajaron con varios repositorios de otras partes del mundo (Argentina, Australia, Chile, Escandinavia, Estados Unidos de América, Nueva Zelanda y Sudáfrica). Algunos de estos datos históricos marinos se han digitalizado desde entonces utilizando tanto el teclado a mano como iniciativas de ciencia ciudadana. En 2019, ACRE Océanos escaneó 2,6 millones y digitalizó 1,5 millones de observaciones históricas marinas. Solo para las regiones de la Antártida y el océano Antártico, la siguiente [tabla](#) muestra una imagen completa de las tareas de escaneo y digitalización que se han llevado a cabo. Debería señalarse que buena parte de los datos rescatados se recuperaron de solo unos pocos archivos y que se han descubierto muchos más pero aún no han sido escaneados. Hay varios archivos en el mundo que potencialmente podrían albergar datos similares pero que aún no se han visitado.

Es importante reconocer que no solo en los diarios de navegación de buques mercantes o de guerra se encuentran los datos históricos marinos pues también existen datos oceanográficos y meteorológicos en documentos hidrográficos y topográficos marinos (como los libros de observaciones), material relativo a la regulación de la pesca y de captura de ballenas, tendidos de cables marinos, transporte de correo (barcos paqueteros), yates, navíos de transporte de presos o colonos, y muchos otros tipos de documentos distintos a los diarios de navegación. El grueso de este material aún está pendiente de digitalizar, catalogar y archivar.

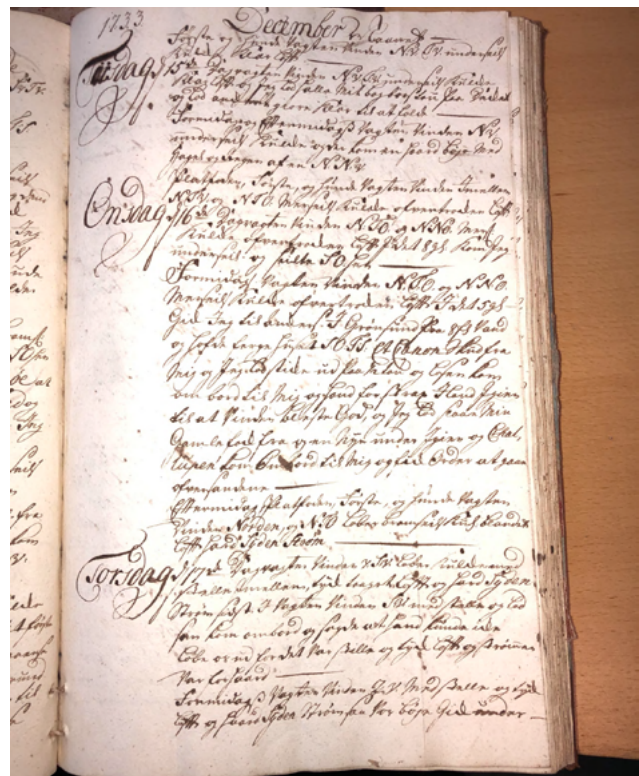
También merece la pena mencionar que siempre están saliendo a la luz nuevos tipos de información y archivos; por ejemplo, en el UKHO, ACRE Océanos encontró cuadernos usados para compilar observaciones de distancias al meridiano para determinar la longitud de lugares que también contenían dos observaciones diarias de presión y temperatura. Estos datos habían pasado desapercibidos entre el resto de datos y cifras a su alrededor.

El Servicio Meteorológico de Alemania

El Servicio Meteorológico de Alemania (DWD) tiene en su Servicio Meteorológico Marino de Hamburgo un archivo con varias colecciones de registros meteorológicos

históricos originales de barcos y de estaciones costeras alemanas y de ultramar. El archivo procede del Observatorio Marino Alemán (Deutsche Seewarte), un predecesor del DWD que existió entre 1868 y 1945 en Hamburgo. Con un total de más de 37 000 bitácoras meteorológicas de navíos, es uno de los mayores archivos de esta clase que existen en el mundo.

El archivo se compone de varias colecciones que comienzan en 1828. Las primeras observaciones proceden de los habituales diarios de navegación mientras que las de 1840 a 1860 lo hacen de diarios meteorológicos estandarizados introducidos por Maury. El Observatorio Marino de Alemania comenzó en 1868 a suministrar sus propios diarios meteorológicos a los buques mercantes germanos y a producir mapas meteorológicos con vientos y corrientes a partir de las observaciones registradas en los diarios de navegación. Con la base de este conocimiento climatológico y la experiencia de los navegantes, el Observatorio Marino de Alemania recopiló instrucciones de navegación para buques mercantes a cambio de su colaboración voluntaria, un sistema que todavía existe en el [Sistema internacional de buques de observación voluntaria \(VOS\) de la OMM](#).



Anotación de brisa del oeste (Beaufort 3) el lunes 14 de diciembre de 1733 en la fragata Hummer (Langosta), en su travesía desde Nyborg (Fionia) hacia Copenhague.

El número total de observaciones marinas en el archivo histórico del Observatorio Marino Alemán se estima al

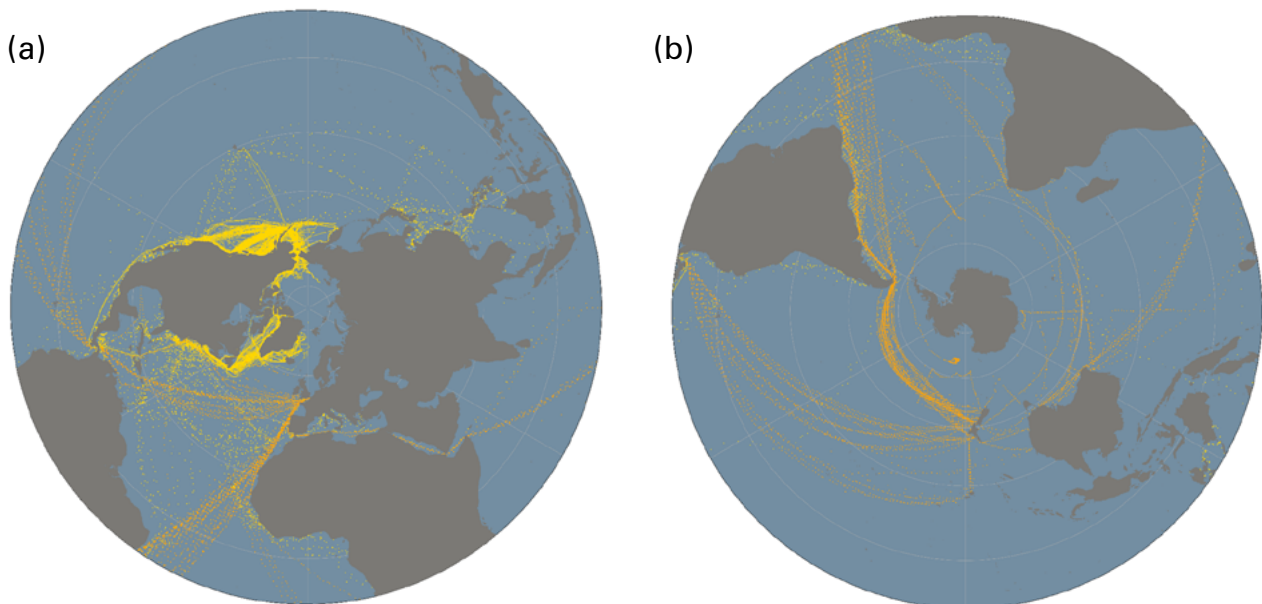


Figura 2. Posiciones de los navíos en las que se han recuperado observaciones científicas meteorológicas marinas y del hielo marino nuevas a partir de registros históricos (a, hemisferio norte; b, hemisferio sur). En amarillo, posiciones de buques (principalmente de la Armada y de la Guardia Costera de los Estados Unidos de América) de las cuales se han extraído datos mediante el proyecto de ciencia ciudadana Old Weather. Las posiciones en naranja representan datos extraídos de diarios de navegación del proyecto de ciencia ciudadana Southern Weather Discovery por parte del Instituto Nacional de Investigación del Agua y la Atmósfera de Nueva Zelanda. Entre el 1 y el 2 % de las aproximadamente 130 000 imágenes que han sido suministradas han sido transcritas, lo cual se espera que se acelere en los próximos años para mejorar la cobertura espacio-temporal en el hemisferio sur.

menos en 23 millones, siendo probable que la cifra sea considerablemente mayor. Los trabajos para digitalizar los diarios de navegación comenzaron a principios de la década de 1940, utilizando tarjetas perforadas a las que se transfirieron millones de observaciones. Desde entonces los trabajos han continuado en el DWD en diversas fases. Hasta ahora unos 15 millones de observaciones han sido digitalizadas y añadidas a una base de datos.

Para digitalizar los contenidos de los diarios de los buques, se ha establecido un sofisticado sistema en varias etapas: recopilación de los metadatos de un cuaderno específico, escaneado de los mismos y finalmente la transcripción de los contenidos. Todos los datos digitalizados en cada etapa son almacenados en una base de datos. Por último, tras un control de calidad, los datos son incluidos en el archivo de meteorología marina del DWD y en ICOADS.

Los trabajos de digitalización, no solo los del DWD, se han realizado durante décadas mediante diferentes proyectos (la mayoría de los cuales se han detallado en este artículo), y, en consecuencia, los contenidos de los diferentes archivos están fragmentados; por ejemplo, algunos diarios de navegación solo se digitalizaron en parte, o los registros de las bases de datos tienen su origen en

distintos períodos de digitalización. Para otros conjuntos de datos los metadatos se han perdido y en ocasiones los programas de intercambio han generado duplicidades.

Por lo tanto, a la incorporación de nuevos datos digitalizados se añade en paralelo como una nueva tarea la homogeneización y consolidación de los archivos. En este contexto, una prioridad para el DWD es asignar a cada observación los ID de los barcos que faltan, lo que permitirá identificar lagunas de datos y aplicar mejores controles de calidad a todos los viajes de los navíos y que mejorarán la calidad de las colecciones existentes.

Los trabajos para digitalizar los archivos históricos del DWD continúan y además de bitácoras meteorológicas de navíos se están recuperando varios archivos de estaciones terrestres y, tras someterlos a controles de calidad, se están enviando los resultados a las bases de datos internacionales (hay disponible más información sobre las actividades de rescate de datos del DWD [aquí](#)).

Gran parte de los trabajos de digitalización del DWD dependen del teclado a mano de las observaciones. El tipo de escritura del alemán antiguo y una disposición de los datos poco usual suponen un continuo reto para los sistemas de reconocimiento automático de textos.

Los futuros sistemas automáticos de transcripción pueden acelerar este proceso. Sin embargo, la gestión de datos y metadatos rescatados de estas valiosas fuentes históricas, así como el manejo y escaneado de documentos antiguos y frágiles, requiere todavía mucho cuidado para obtener conjuntos de datos modernos de alta calidad.

NOAA, Universidad de Washington y Archivos Nacionales de los Estados Unidos de América

La NOAA y la Universidad de Washington (Instituto Cooperativo de Estudios Climáticos, Oceánicos y de Ecosistemas) han colaborado con los Archivos Nacionales de los Estados Unidos de América desde 2011. Durante este período el proyecto ha producido imágenes digitales en alta resolución de 4 618 volúmenes de diarios de navegación de navíos federales del período 1844-1955. Todas ellas son públicas y se encuentran disponibles en el [Catálogo de los Archivos Nacionales](#). Hasta ahora, estos activos han generado alrededor de 1,5 millones de nuevos registros meteorológicos horarios con fines científicos a través del proyecto de ciencia ciudadana [Old Weather](#). Como se muestra en la figura 2a, más de 600 000 observaciones meteorológicas y de hielo marino en el Ártico han sido mejoradas con una meticulosa reconstrucción de la trayectoria de los buques con resolución horaria usando la técnica de navegación a estima y la información del piloto recogida en los diarios de navegación (es decir, datos de rumbos y tiempos del barco, y ángulos y distancias a puntos de referencia conocidos en tierra).

Continúa el proceso de creación de los duplicados digitales y obtención de los equivalentes digitales, y de ellos datos meteorológicos de calidad controlada y su incorporación a ICOADS y al Banco internacional de datos de presión en superficie (ISPD). Los datos de hielo marino recuperados por el proyecto Old Weather han sido utilizados para la validación de una reconstrucción (a partir de modelos) del volumen de hielo marino del Ártico del siglo pasado (Schweiger y otros, 2019; Wood y otros, 2019), y los datos transcritos también están disponibles para investigación del uso de técnicas de aprendizaje automático en el reconocimiento de escritura manual.

El enorme potencial del rescate de datos puede ilustrarse por el tamaño de la colección de los Estados Unidos que permanece en gran parte sin utilizar. Comenzando en 1847, los diarios de navegación de su Armada, de la Guardia Costera, y de buques del servicio de aduanas y

del servicio cartográfico, contienen datos meteorológicos horarios relativos a entre 7 y 10 variables cada hora, aunque no todas ellas fueron adquiridas uniformemente hasta después de la Guerra Civil de los Estados Unidos (1861-1865). Hay aproximadamente 22 700 diarios de navegación en los Archivos Nacionales con fechas de 1801 a 1941. Hasta 1915, la mayor parte de los volúmenes contienen un año de observaciones, mientras que entre 1915 y 1941 los diarios fueron encuadernados en volúmenes mensuales. Estimando de manera conservadora que solo la mitad de estos volúmenes incluyen las 24 observaciones horarias, el total de observaciones a recuperar sería de 75 500 000. Sin duda, desde la Segunda Guerra Mundial hay otras decenas de millones de observaciones no recuperadas.



El vapor norteamericano Powhatan en medio de una tormenta frente a las costas de Hatteras. Ilustración de G.T. Douglass, Harper's Weekly, 12 de mayo de 1877.

Instituto Meteorológico de Dinamarca y Archivos Nacionales de Dinamarca

Los Archivos Nacionales de Dinamarca guardan una gran cantidad de colecciones de diarios de navegación. Comenzando en fecha tan temprana como mediados del siglo XVII, se han identificado más de 7 000 cajas de archivo con diarios de navegación y otros datos marinos, que ocupan más de 700 metros de estanterías. Hasta ahora solo una pequeña parte de ellos ha sido digitalizada.

Se han publicado datos de muchas naciones marítimas pero los datos daneses son de especial interés por dos aspectos, además de por su temprano inicio:

1. Hubo conexiones regulares en barco entre la Dinamarca continental y otras partes del Reino, lo que permite disponer de una valiosa información de

meteoros, viento, temperatura y extensión de la cubierta de hielo en las rutas a Groenlandia e Islandia.

2. El impuesto de Øresund era una tasa que todos los barcos que navegaban por este estrecho, situado entre Dinamarca y Suecia en la actualidad (Dinamarca en aquel tiempo), debían pagar. En algunos años, este impuesto suponía un tercio del presupuesto de la nación. Así pues, para asegurarse el pago del impuesto, el rey dispuso barcos en diversos lugares de este estrecho, así como en el estrecho Gran Belt. Los diarios de navegación de estos navíos son de interés por su alta resolución temporal y porque se remontan al siglo XVII.

Los Archivos Nacionales y el Instituto Meteorológico de Dinamarca están preparando un proyecto, denominado ROPEWALK (Rescate de datos con trabajo popular: extracción de datos meteorológicos y climáticos de diarios de navegación) para digitalizar esta enorme cantidad de datos. Se utilizarán técnicas de aprendizaje automático tanto como sea posible, siendo el resto de datos digitalizados por voluntarios, como se ha hecho en otros proyectos de este tipo. Los datos obtenidos serán puestos a disposición de la comunidad científica tras pasar un control de calidad.

Instituto Nacional de Investigación del Agua y la Atmósfera

El Instituto Nacional de Investigación del Agua y la Atmósfera (NIWA) en Nueva Zelanda lleva realizando actividades de rescate de datos meteorológicos como contribución al proyecto ACRE (ACRE Pacífico y ACRE Antártida) desde 2009. También se han transferido datos al ISPD a través de este canal. Durante la pasada década, se ha centrado principalmente en la recuperación de observaciones del Pacífico suroeste y de altas latitudes del hemisferio sur cubriendo el período 1800-1950.

El NIWA conserva millones de observaciones que se remontan a mediados del siglo XVIII y actualmente trabaja en la creación de copias digitales y en un catálogo con metadatos para la verificación de las existencias de documentos físicos y datos introducidos manualmente en archivos digitales. Otros documentos meteorológicos históricos de gran valor localizados en Nueva Zelanda (Lorrey y Chapell, 2016) han sido utilizados para reconstruir patrones de meteorología sinóptica y se han comparado con observaciones marinas rescatadas por otras organizaciones científicas.

En los últimos años, el NIWA ha conducido la plataforma científica SWD ([Southern Weather Discovery](https://southernweatherdiscovery.org)), alojada en Zooniverse (southernweatherdiscovery.org), y ha recuperado unas 250 000 observaciones marinas del hemisferio sur, fomentando el rescate de datos meteorológicos y completando las experimentaciones sobre los duplicados de datos introducidos mediante tecleo (fig. 2b). También está colaborando activamente con Microsoft en un proyecto de inteligencia artificial para la Tierra que compara observaciones manualmente transcritas con otras obtenidas por medios automáticos.

Retos y acciones

Los dos principales retos a los que se enfrenta la comunidad de rescate de datos marinos son el acceso a los registros históricos y la conversión de datos manuscritos a formato digital.

En la primera categoría se tiene que los diarios de navegación, que normalmente disponen de las mayores cantidades de datos meteorológicos de alta calidad, cuentan con una antigüedad muchas veces superior a los 100 años y son considerados documentos de importancia nacional. Los archivos estatales, que suelen tener la responsabilidad de la preservación y custodia de estos, a veces, frágiles documentos, son comprensiblemente cautos en su manejo. Por otro lado, no es infrecuente encontrar otros obstáculos como el cobro por el acceso a los mismos, aparte del coste de escaneado, y otras dificultades que limitan el acceso a los datos en la medida necesaria.

La segunda categoría, la conversión a un formato digital accesible suele ser también un cuello de botella. En la actualidad este paso se realiza por transcripción manual, a veces por el método de tecleo doble ciego o por ciencia ciudadana (*crowdsourcing*). Estas metodologías son adecuadas para regiones con datos escasos o períodos de tiempo determinados, como en el caso del Ártico o de los océanos en el hemisferio sur, o para investigaciones puntuales. Sin embargo, las digitalizaciones a gran escala de las ingentes cantidades de datos marinos históricos, que se sabe que existen, requerirán una solución eficiente basada en aprendizaje automático y técnicas de inteligencia artificial en general.

Por último, los registros digitalizados deben ser lo más completos que se pueda y estar acompañados de metadatos con el mayor nivel de detalle, cuando ello sea posible. Esto es especialmente relevante cuando se trata el sesgo de los datos, que depende del

conocimiento relativo a parámetros como la radiación solar, la velocidad del viento y su dirección, la humedad y la temperatura del aire. Para los metadatos, información como por ejemplo el tipo de abrigo meteorológico que alojaba el termómetro y su localización, y detalles del resto de la instrumentación, son todos importantes. Para la temperatura del agua del mar se sabe poco sobre la instrumentación en la sala de motores, el tipo de sonda utilizada o cómo se realizaban las mediciones (Kent y Kennedy, 2001). A veces puede encontrarse información importante acerca de los métodos de observación en manuales del observador marino y en documentos similares. Además de lo referido hasta ahora, está la necesidad de reprocesar los datos heredados para obtener el máximo posible de ellos y evaluar su completitud. Todas estas tareas se beneficiarían en gran medida del acceso a unas fuentes de financiación más sostenibles.

Entre las acciones que se han puesto en marcha para cubrir estas necesidades figuran:

- en los Estados Unidos de América, el establecimiento por la NOAA de financiación dirigida a proyectos de ciencia ciudadana y de transcripción automática con intervención de pequeñas empresas utilizando la incubadora de tecnología de la información de su

Programa de Comunicaciones y Computación de Alto Rendimiento;

- el incremento del apoyo de filántropos privados a la ciencia del clima en áreas donde el soporte financiero siempre ha sido un problema;
- la unión de Copernicus (Unión Europea), OMM, ACRE, DWD, Fondo Newton del Reino Unido, NOAA, NIWA e iniciativas y flujos de financiación similares, que están trabajando en coordinación con los Servicios Meteorológicos Nacionales para reconstruir las infraestructuras básicas de datos con el fin de satisfacer las necesidades de los reanálisis de alta capacidad y las aplicaciones emergentes de inteligencia artificial en este campo.

Una vez en formato digital, ya existe la tecnología para asimilar las observaciones meteorológicas marinas realizadas por cada barco, cada día, durante los dos últimos siglos. Lo que se aprenda del estado futuro a largo plazo del sistema Tierra gracias a un reanálisis exhaustivo podrá resultar de extraordinaria importancia.

**Las referencias están disponibles
en la versión en línea**