

El estudio del clima y los océanos: el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas

por Michael Sparrow, Secretaría de la OMM

Las cuestiones oceánicas están ganando visibilidad gracias a que se están llevando a cabo diversas actuaciones organizativas y políticas a nivel internacional, como las siguientes:

- la creciente economía azul;
- el Marco de Sendái para la Reducción del Riesgo de Desastres, que fomenta el desarrollo de servicios multirriesgos basados en los impactos para el apoyo al proceso de toma de decisiones;
- una sensibilización cada vez mayor de la importancia que adquiere el océano a la hora de comprender, predecir y responder a la variabilidad del clima y el cambio climático, y al desarrollo sostenible, tal y como lo destacan publicaciones como el Informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC);
- las Conferencias Oceánicas, los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Decenio de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible (2021-2030) de las Naciones Unidas, que constituyen una oportunidad para impulsar la innovación y hacer avanzar las ciencias oceánicas.

La investigación oceánica internacional se coordina en gran medida a través de la Comisión Oceanográfica Internacional (COI) de la UNESCO, el Consejo Internacional de Ciencias y la OMM y sus asociaciones. La OMM tiene un interés importante en el desarrollo y suministro de información oceánica para apoyar todo el abanico de estudios, aplicaciones y servicios que prestan sus Miembros; de ahí que la Organización participe en una variedad de actividades oceánicas. El Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC), copatrocinado por la OMM, la COI-UNESCO y el Consejo Internacional de

Ciencias, ofrece un excelente ejemplo de esta coordinación y asociación sobre investigación climática.

Los esfuerzos de la COI en materia de ciencias oceánicas se organizan en una serie de actividades que, además del PMIC, se coordinan a través de varios pequeños proyectos y equipos que trabajan en temas como el carbono y la acidificación de los océanos, los nutrientes, la eutrofización y la desoxigenación, las ciencias del clima (PMIC), el cambio climático y los impactos en los ecosistemas, y los plásticos marinos. La COI, en asociación con la OMM y otros organismos de las Naciones Unidas, ha liderado la concepción del Decenio de las Naciones Unidas de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible, que tiene la posibilidad de fortalecer los esfuerzos internacionales en materia de investigación oceánica. La [Junta Mixta de Colaboración OMM-COI](#) coordina las actividades conjuntas relacionadas con los océanos entre las dos Organizaciones.

El Consejo Internacional de Ciencias conecta a sus dos asociados de las Naciones Unidas con una amplísima comunidad científica mundial que generalmente no está vinculada directamente a organismos intergubernamentales. Por ejemplo, está la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica, que incluye a la Asociación Internacional para las Ciencias Físicas del Océano, que convoca periódicamente conferencias y foros científicos internacionales. También existe el Comité Científico de Investigaciones Oceánicas (CCIO) que se centra en promover la cooperación internacional en la planificación y realización de investigaciones oceanográficas y en la solución de problemas metodológicos y conceptuales que obstaculizan la investigación. El CCIO incluye la creación de capacidad en algunos de sus programas de investigación y grupos de trabajo, principalmente dirigidos a desarrollar metodologías de observación y a mejorar las prácticas existentes. Un acuerdo de cooperación firmado recientemente entre la iniciativa Future

Earth del Consejo Internacional de Ciencias y el PMIC vinculará más estrechamente sus actividades científicas, particularmente en lo que a menudo se conoce como “ciencia procesable”.

Las actividades de investigación sobre el clima y los océanos de la OMM se coordinan a través del PMIC, y uno de los proyectos centrales de este Programa es el **CLIVAR (Océano y Clima: Variabilidad, Predecibilidad y Cambio)**, que se lanzó en 1995. Entre los **Grandes Retos** del PMIC figuran el aumento del nivel del mar y los impactos costeros a escala regional y la predicción a corto plazo (www.wcrp-climate.org/grand-challenges/grand-challenges-overview). También aborda una serie de nuevas **actividades del Faro** que cubren diferentes aspectos del sistema climático, de los cuales el componente oceánico resulta crítico. Un ejemplo es My Climate Risk, que tiene como objetivo desarrollar un nuevo marco para evaluar y explicar el riesgo climático regional para brindar información climática significativa a escala local, y que incluirá aspectos regionales del nivel del mar (www.wcrp-climate.org/wcrp-ip-la).

Océano y Clima: Variabilidad, Predecibilidad y Cambio

El proyecto CLIVAR se centra en la coordinación de la investigación científica internacional en el océano y su misión es la de comprender la dinámica, la interacción y la predecibilidad del sistema acoplado océano-atmósfera. Con este fin, facilita observaciones, análisis y predicciones de los cambios en el sistema climático de la Tierra, permitiendo así comprender mejor la variabilidad y dinámica del clima, la predecibilidad y el cambio, en beneficio de la sociedad y el medioambiente del planeta. Tiene como objetivo mejorar:

- los modelos del sistema oceánico;
- los sistemas de observación de los océanos;
- los sistemas de acopio de datos, síntesis e información de los océanos;
- la transferencia de conocimientos y la obtención de información de retorno de las partes interesadas;
- la educación, creación de capacidad y divulgación.

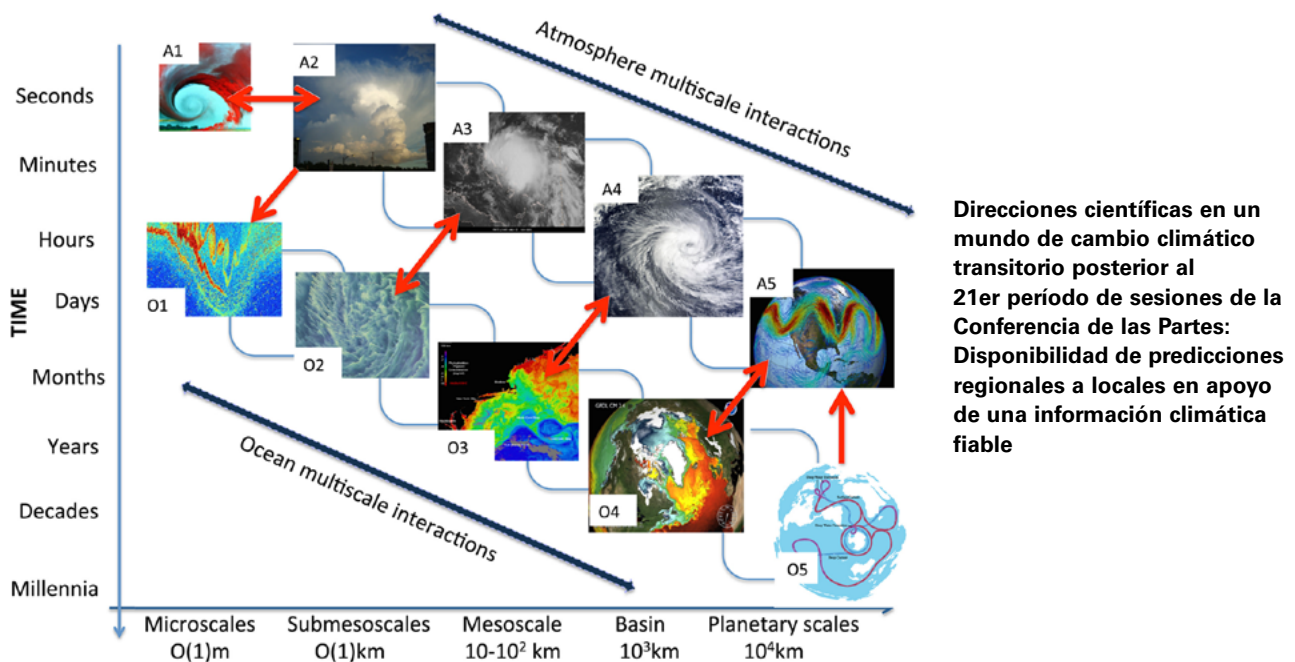
El proyecto CLIVAR se basa en los éxitos del Programa sobre los Océanos Tropicales y la Atmósfera Mundial (TOGA) y del Experimento Mundial sobre la Circulación

Oceánica (WOCE), ya que ambos avanzaron en la comprensión científica de la circulación oceánica y de las interacciones entre la atmósfera y el océano.

Los estudios llevados a cabo por el proyecto CLIVAR han proporcionado conocimientos fundamentales sobre los patrones que gobiernan la variabilidad y la predecibilidad en el sistema climático acoplado, con énfasis en el océano por ser el subsistema esencial que regula el clima del planeta. Por ejemplo, las iniciativas CLIVAR han sido determinantes en el desarrollo de los sistemas de predicción estacional del fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y han sido pioneras en las predicciones decenales. La elaboración de modelos acoplados como parte de CLIVAR contribuyó significativamente a comprender la respuesta del sistema climático ante los aumentos antropógenos de los gases radiativamente activos y de los cambios en los aerosoles; y este grado de comprensión se ha alcanzado a través del desarrollo de capacidades en materia de modelización acoplada del clima y de proyectos de intercomparación de modelos climáticos.

El proyecto CLIVAR ha aumentado en gran medida la comprensión del ser humano con respecto a los procesos que gobiernan la circulación oceánica y su papel en el sistema climático acoplado, gracias a los progresos alcanzados en los sistemas de observación del clima, en los estudios de procesos y en los modelos climáticos acoplados. Ahora se dispone de capacidades nuevas y únicas de observación, modelización y reanálisis que respaldan la investigación científica sobre la dinámica y variabilidad de los océanos, y ello se debe en gran parte a CLIVAR. Además, el citado Proyecto acepta y, a menudo, respalda formalmente muchas actividades y proyectos nuevos que se llevan a cabo fuera de su ámbito competencial pero que ponen de manifiesto una clara relevancia para sus metas y objetivos. CLIVAR organiza talleres científicos sobre temas de actualidad destinados a la comunicación, la educación en materia colaborativa y la promoción de las carreras de los jóvenes científicos. El PMIC, a través del proyecto CLIVAR, realiza contribuciones fundamentales al conocimiento y la comprensión del sistema climático y que sustentan la prestación de servicios climáticos operativos.

El legado de CLIVAR incluye la implementación y el desarrollo de redes de observación multinacionales y multiplataforma en todas las cuencas oceánicas, la creación de modelos climáticos con componentes oceánicos realistas y la elaboración de reanálisis oceánicos; todo ello hace de puente entre las observaciones y los modelos a través de la asimilación de datos. Entre los



Stammer, D., Bracco, A., Braconnot, P., Brasseur, G. P., Griffies, S. M. y Hawkins, E. (2018). Science directions in a post COP21 world of transient climate change: Enabling regional to local predictions in support of reliable climate information. *Earth's Future*, 6, 1498-1507. <https://doi.org/10.1029/2018EF000979>

elementos *in situ* de los sistemas de observación disponibles figuran el despliegue mundial de boyas a la deriva en superficie y flotadores perfiladores Argo, planeadores oceánicos, redes de boyas fijas en localizaciones tropicales y extratropicales, el muestreo de profundidad completa de la columna de agua de los barcos del programa de mediciones hidrográficas recurrentes, etc. Desde finales de la década de 1970, las observaciones satelitales del océano se han convertido en una parte crucial del sistema mundial de observación. CLIVAR trabaja en estrecha colaboración con el Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC) y el Sistema Mundial de Observación del Océano (GOOS), utilizando el "Marco para la Observación de los Océanos" para guiar su puesta en marcha de un sistema de observación oceánico integrado y sostenible.

A medida que el PMIC avanza hacia una nueva fase de planificación e implementación estratégica, el nuevo objetivo de CLIVAR es describir, comprender y modelizar la dinámica del sistema climático acoplado, haciendo hincapié en las interacciones océano-atmósfera e identificando los procesos responsables de la variabilidad, el cambio y la predecibilidad del clima en escalas de tiempo de subestacional a estacional, interanual, decenal y secular. En concreto, el proyecto CLIVAR contribuirá

de manera crítica a la nueva estrategia del PMIC abarcando los siguientes temas:

- comprensión del papel del océano en la variabilidad, el cambio y la sensibilidad transitoria del clima;
- entendimiento del papel del océano en la configuración del ciclo hidrológico y en la distribución de las precipitaciones a escalas mundial y regional;
- comprensión de los patrones gobernantes de los fenómenos climáticos regionales que ofrecen predecibilidad en diferentes escalas de tiempo;
- suministro de observaciones, análisis y predicciones coordinados de la variabilidad y el cambio en el sistema climático de la Tierra;
- detección, atribución y cuantificación de la variabilidad del clima y el cambio climático;
- desarrollo y evaluación de simulaciones climáticas y capacidades predictivas.

Con este fin, CLIVAR coordina la investigación internacional en ciencias climáticas y oceánicas, facilitando

la cooperación entre las iniciativas nacionales y multinacionales, y permitiendo así llevar a cabo la investigación climática mundial más allá de las capacidades regionales e institucionales de cualquier nación a nivel individual; además, aporta también observaciones, análisis, predicciones y proyecciones de variabilidad y cambios en el sistema climático de la Tierra, lo que posibilita una mejor comprensión de la variabilidad y dinámica del clima, así como la predecibilidad del mismo y el cambio climático, en beneficio de la sociedad y el medioambiente del planeta. A través de sus grupos de expertos, focos de investigación, talleres, escuelas de verano y conferencias, CLIVAR continúa reuniendo a investigadores de todo el mundo (véase, por ejemplo, Stammer y otros, 2018); y, de esta manera, desarrolla una comunidad internacional fuerte y multidisciplinar de científicos en todas las etapas de su carrera para coordinar los esfuerzos necesarios para medir, simular y comprender las dinámicas acopladas océano-atmósfera, e identificar los procesos responsables de la variabilidad, el cambio y la predecibilidad climáticos.

Para planificar las futuras estrategias de la ciencia del clima resulta fundamental desarrollar información regional fiable sobre el cambio climático que se pueda proporcionar en escalas temporales desde estacionales hasta seculares, y aun mayores, en beneficio de la humanidad y la vida en la Tierra. A través de su trabajo, el proyecto CLIVAR contribuye directamente a alcanzar esos objetivos. Cabe esperar que en un período de tiempo de 5 a 10 años se logrará un gran progreso en ampliar el conocimiento de los procesos teóricos, en mejorar los modelos climáticos a través de una mejor representación de los procesos climáticos importantes en los modelos numéricos, y en perfeccionar las predicciones climáticas regionales y la información climática asociada en escalas de tiempo estacionales a decenales. Todo ello se sustentará firmemente en los esfuerzos necesarios para mejorar y mantener el Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC).

CLIVAR, como muchas otras actividades del PMIC, se basa en la financiación nacional, proporcionada a través de contribuciones voluntarias anuales y, fundamentalmente, en la organización de oficinas de proyectos internacionales. CLIVAR posee dos de estas oficinas: la Oficina Internacional del Proyecto Mundial de CLIVAR, alojada por el Primer Instituto de Oceanografía del Ministerio de Recursos Naturales en Qingdao (China), y la Oficina Internacional del Proyecto Monzónico de CLIVAR, alojada por el Instituto Indio de Meteorología Tropical en Pune (India).

Cambio del nivel del mar e impactos costeros a escala regional

Con el reconocimiento de que el aumento del nivel del mar costero supone una de las consecuencias sociales más graves del cambio climático antropógeno, el PMIC definió el [Gran Reto científico del cambio del nivel del mar y los impactos costeros a escala regional](#).

El actual aumento del nivel medio del mar a escala global continuará durante muchos siglos como consecuencia del calentamiento climático antropógeno, y el ritmo exacto y la magnitud final de este aumento dependerán sustancialmente de las futuras emisiones de gases de efecto invernadero.

En las próximas décadas, los cambios y la variabilidad del nivel del mar a escala regional se desviarán significativamente de los valores medios mundiales. Por lo tanto, el cambio detallado del nivel del mar a lo largo de las costas puede ser potencialmente mucho más importante que el aumento medio mundial y dependerá de muchos procesos que involucran al océano, la atmósfera, la geosfera y la criosfera. Las preocupaciones de la sociedad sobre el aumento del nivel del mar surgen del posible impacto del cambio del nivel del mar a escala regional y costera, y de los cambios asociados en los valores extremos en las costas de todo el mundo, como la posible recesión de la línea de costa, la pérdida de infraestructura costera, de recursos naturales y de biodiversidad y, en el peor de los casos, el desplazamiento de comunidades y la migración de refugiados ambientales.

A nivel local, el aumento del nivel del mar y los fenómenos extremos pueden tener impactos significativos en las zonas costeras; así, en las costas en hundimiento, los efectos del aumento resultante del nivel del mar ya son evidentes en algunas ciudades costeras y deltas. Es muy probable que una gran parte de las costas de todo el mundo se vean afectadas por el aumento del nivel del mar ocasionado por el clima, aunque las consecuencias concretas variarán mucho entre regiones y de una costa a otra ya que no se pueden generalizar fácilmente pues los niveles medios y extremos cambiantes de las aguas costeras dependen de una combinación de procesos cercanos a la costa y mar adentro, relacionados con factores antropógenos climáticos pero también no climáticos. Entre ellos figuran el movimiento natural de la tierra que surge de las placas tectónicas, el vulcanismo o la compactación; el hundimiento de la tierra debido a la extracción antropógena de recursos subterráneos; y los cambios en la morfología costera como resultado



Hoja de ruta para la realización de observaciones permanentes del océano Índico durante el período 2020-2030 (<https://doi.org/10.36071/clivar.rp.4.2019>).

del transporte de sedimentos inducido por factores naturales y/o antropógenos.

El objetivo principal del Gran Reto del nivel del mar ha sido:

- establecer una comprensión cuantitativa de los mecanismos naturales y antropógenos de la variabilidad del nivel del mar a escala regional a local;
- promover los avances que necesitan los sistemas de observación para lograr una vigilancia exhaustiva del nivel del mar;
- fomentar el desarrollo de predicciones y proyecciones del nivel del mar que sean cada vez más beneficiosas para la ordenación de las zonas costeras.

A lo largo de su vida, el Gran Reto ha abordado los siguientes mandatos, dirigidos por seis grupos de trabajo que actúan en paralelo pero de manera interconectada:

1. Enfoque integrado de las estimaciones históricas del nivel del mar (escala de tiempo paleo).
2. Cuantificación de la contribución del hielo terrestre al aumento del nivel del mar en un futuro próximo.
3. Variabilidad y cambio actual del nivel del mar a escala regional.
4. Predecibilidad del nivel del mar a escala regional.
5. Ciencia del nivel del mar para la ordenación de las zonas costeras.
6. Cambio mundial del nivel del mar.

Un principio fundamental de esta actividad es que no solo está dirigida por científicos sino que sus cuatro copresidentes pertenecen a la comunidad de usuarios y científicos que trabajan en estrecha colaboración con una variedad de actores (responsables políticos,

ingenieros costeros, etc.). La conexión con los servicios ha sido un hilo conductor a lo largo de la vida del Gran Reto, trabajando en estrecha colaboración con la COI y con el Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC), según corresponda. Se están estableciendo conexiones asimismo con el Decenio de las Naciones Unidas de las Ciencias Oceánicas.

El Gran Reto llegará a su fin en una conferencia final prevista para julio de 2022 en Singapur. Sin embargo, sus actividades continuarán tanto dentro del proyecto CLIVAR como a través de las nuevas actividades del Faro.

Centro de atención en los océanos polares

En términos de tiempo y clima, lo que sucede en las regiones polares no se queda en los polos ya que los rápidos cambios que tienen lugar en esos lugares están afectando fundamentalmente a los patrones meteorológicos y climáticos de todo el mundo. Estas regiones son históricamente difíciles de observar y comprender debido a las condiciones hostiles para realizar observaciones, y a las complejas interacciones entre el océano, el hielo y la atmósfera. Las regiones también son difíciles de modelizar porque, además de lo comentado anteriormente, es preciso alcanzar acuerdos con respecto a las proyecciones de los modelos en los polos.

Las regiones polares representan un importante banco de pruebas para desarrollar y mejorar el enfoque integrado del sistema Tierra. El Proyecto de Predicción Polar del Programa Mundial de Investigación Meteorológica (PMIM) de la OMM ha progresado a la hora de elaborar métodos avanzados de asimilación acoplada en un marco operativo. Al mismo tiempo, las comunidades del PMIM y el PMIC están aprovechando la campaña de campo del Año de la predicción polar para perfeccionar los modelos. Se está llevando a cabo una fase de consolidación que podría aportar cuestiones fundamentales en la investigación para los futuros proyectos del sistema Tierra.

El propio Año de la predicción polar se definió a partir del legado anterior del Año polar internacional (API) 2007-2008, copatrocinado por la OMM y el Consejo Internacional de Ciencias. El API fomentó una mayor interacción entre las diferentes disciplinas y la participación de las ciencias sociales, los pueblos indígenas y la próxima generación de científicos. Muchas de las redes de observación y de los grupos polares creados durante

el API todavía están activos. En la actualidad se está construyendo un portal de datos del Año de la predicción polar (yopp.met.no).

Se ha creado la Vigilancia de la Criosfera Global (VCG) para ofrecer continuidad en el enfoque en las regiones polares en el marco de la OMM, al tiempo que el Grupo especial de actividades espaciales de los polos de la OMM y la Asociación de Jóvenes Científicos Polares proporcionan una coordinación centrada en la criosfera entre las agencias espaciales.

El PMIC realiza una serie de actividades relacionadas con los océanos polares, generalmente dirigidas por el CLIVAR y su principal proyecto hermano CliC (Clima y Criosfera) y, a menudo, en asociación con otras organizaciones que tienen su foco de interés en las regiones polares. Por ejemplo, el Grupo especial regional sobre el océano Austral de CLIVAR/CliC/SCAR (Comité Científico de Investigaciones Antárticas), que tiene el objetivo de servir como foro de discusión y comunicación de los avances científicos en el ámbito de la comprensión de la variabilidad del clima y el cambio climático en el océano Austral, así como la misión de asesorar a los grupos CLIVAR, CliC y SCAR sobre progresos, logros, nuevas oportunidades e inconvenientes en la investigación coordinada a nivel internacional del océano Austral. El PMIC, a través de este Grupo especial regional sobre el océano Austral, ha presentado, con el SCAR y otras organizaciones (algunas del sector privado), una propuesta de Programa de Decenio Regional del Océano Austral dirigida al Decenio de las Naciones Unidas para "mejorar la comprensión del océano Austral y su papel en el conjunto de los océanos mundiales". Esta propuesta involucrará a varios actores (científicos, instancias políticas, sector industrial y organizaciones no gubernamentales) para desarrollar y facilitar las prioridades y acciones de investigación para el océano Austral, teniendo en cuenta las dimensiones medioambientales, económicas y sociales. Desde hace relativamente poco tiempo, en la región ártica existe un grupo especial sobre los océanos septentrionales de los proyectos CLIVAR/CliC, que lleva a cabo una función similar.

Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales

En términos del papel que desempeña la investigación del clima oceánico para satisfacer las necesidades de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN), la ciencia producida por los científicos del PMIC es crucial en algunas áreas, como las siguientes:

- apoyar el diseño conjunto (mediante la ciencia y las operaciones) de unas mejores predicciones a escala estacional a decenal;
- respaldar la investigación de fondo necesaria para aumentar la comprensión de los procesos involucrados en la mejora de la exactitud de las predicciones para una variedad de escalas de tiempo;
- mejorar la comprensión de la dinámica, la interacción y la predecibilidad del sistema acoplado océano-atmósfera para una variedad de escalas de tiempo, incluidos los modos de variabilidad (como el ENOS) y los cambios abruptos en el sistema (como los fenómenos extremos);
- comprender la forma en que las variaciones de baja frecuencia del estado medio del océano influye en la variabilidad subestacional y en los fenómenos extremos subestacionales, como las olas de calor oceánicas que dan lugar al blanqueamiento de los corales;
- entender el papel del océano en el balance energético planetario.

Referencias

Doblas-Reyes, F. J., García Serrano, J., Lienert, F., Biescas, A. P. y Rodrigues, L. (2013). Seasonal climate predictability and forecasting: status and prospects. *WIREs Clim. Change*, 4, 4245-4268. doi: 10.1002/wcc.217.

Friedlingstein, P. y otros (2020). Global Carbon Budget 2020. *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 3269-3340, <https://doi.org/10.5194/essd-12-3269-2020>, 2020.

Kirtman, B., Stockdale, T. y Burgman, R. (2013). The Ocean's role in modeling and predicting seasonal to-interannual climate variations. En: *Ocean Circulation and Climate: A 21st Century Perspective*, 2nd Ed. Eds. G. Siedler, S. Griffies, J. Gould y J. Church (Sydney: Academic Press), 625-643. doi: 10.1016/b978-0-12-391851-2.00024-6.

Meehl, G. A., Goddard, L., Boer, G., Burgman, R., Branstator, G., Cassou, C. y otros (2014). Decadal climate prediction an update from the trenches. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 95, 243-267. doi: 10.1175/BAMS-D-12-00241.1.

Smith, D. M., Scaife, A. A. y Kirtman, B. (2012). What is the current state of scientific knowledge with regard to seasonal and decadal forecasting. *Environ. Res. Lett.* 7:015602. doi: 10.1088/1748-9326/7/1/015602.

Stammer, D., Bracco, A., Braconnot, P., Brasseur, G. P., Griffies, S. M. y Hawkins, E. (2018). Science directions in a post COP21 world of transient climate change: Enabling regional to local predictions in support of reliable climate information. *Earths Future*, 6. <https://doi.org/10.1029/2018EF00097>.

von Schuckmann, K. y otros (2020). Heat stored in the Earth system: where does the energy go? *Earth Syst. Sci. Data*, 12(3), 2013-2041. <https://doi.org/10.5194/essd-12-2013-2020>.