



Tropical Pacific Observing System

# Primer Informe

## 2016

### Resumen Ejecutivo

# Primer informe de TPOS 2020

## Resumen Ejecutivo-Español

Diciembre de 2016

**Autores coordinadores principales:** Sophie Cravatte, William Kessler, Neville Smith y Susan Wijffels

**Autores contribuyentes:** Lisan Yu, Kentaro Ando, Meghan Cronin, Tom Farrar, Eric Guilyardi, Arun Kumar, Tong Lee, Dean Roemmich, Yolande Serra, Janet Sprintall, Pete Strutton, Adrienne Sutton, Ken Takahashi y Andrew Wittenberg

Consulte el Apéndice C del informe completo para la lista completa de autores, colaboradores y revisores.  
Foto de portada cortesía de B. Kessler.

Traducción al español proporcionada por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO con el apoyo de NOAA y Ken Takahashi.

Este informe es GOOS-215, contribución PMEL número 4548 y contribución JISAO número 2016-03-58.

**Por favor utilice la siguiente citación para el informe completo:**

Cravatte, S., W. S. Kessler, N. Smith, S. E. Wijffels, and Contributing Authors, 2016: First Report of TPOS 2020. GOOS-215, 200 pp. [Available online at [http://tpos2020.org/first-report/.](http://tpos2020.org/first-report/)]

**Citación para el Resumen ejecutivo sólo:**

Cravatte, S., W. S. Kessler, N. Smith, S. E. Wijffels, and Contributing Authors, 2016: Executive Summary. First Report of TPOS 2020. GOOS-215, pp. i-xii. [Available online at [http://tpos2020.org/first-report/.](http://tpos2020.org/first-report/)]

## Resumen ejecutivo

El proyecto del Sistema de Observación en el Pacífico Tropical 2020 (TPOS 2020 por sus siglas en inglés) es una oportunidad que se da una sola vez en cada generación de mejorar y rediseñar las observaciones internacionales en el Pacífico tropical. La variabilidad de este sistema estrechamente acoplado atmósfera-oceano repercute en el clima mundial y constituye la fuente principal de predictibilidad climática interanual a escala global.

El principal factor que impulsa este proyecto es el importante riesgo detectado de las predicciones asociadas a El Niño-Oscilación Sur (ENOS) y servicios conexos debido al deterioro del arreglo tropical de boyas ancladas (*tropical moored buoy array*) en el Pacífico en el periodo 2012-2014. La finalidad de la red del TPOS es atenuar este riesgo, así como acelerar los avances en la comprensión y predicción de la variabilidad del Pacífico tropical y sus profundas consecuencias para múltiples sectores en todo el mundo, como la agricultura, los ecosistemas marinos, la salud humana y la preparación contra desastres. En respuesta a otras motivaciones científicas, en particular los relativos al clima, el TPOS 2020 continuará los registros observacionales esenciales, intensificará el monitoreo de los parámetros y fenómenos claves de la capa superior del océano y la atmósfera próxima a la superficie, incluirá la biogeoquímica oceánica y se expandirá para abarcar la frontera oriental y la occidental.

En el presente informe se enuncian los fundamentos y los planes de la primera fase de la rediseño y mejora del TPOS. Su objeto es proporcionar a los patrocinadores un medio de justificar y defender las inversiones actuales y futuras en las observaciones, tanto permanentes como experimentales, efectuadas en el Pacífico tropical. El informe se centra en las contribuciones fundamentales y centrales al sistema observacional sostenido (en adelante “*backbone*” del TPOS) y se organiza en torno a cinco funciones esenciales [1.3]<sup>1</sup>:

- 1) Proporcionar datos para apoyar, evaluar, validar e inicializar la predicción del ENOS y otros sistemas de predicción, y promover sus avances.
- 2) Proporcionar observaciones para cuantificar el estado cambiante de la superficie y la subsuperficie del océano.
- 3) Apoyar la integración de métodos satelitales e *in situ*, incluyendo la calibración y la validación.
- 4) Avanzar en la comprensión y el modelado del sistema climático en el Pacífico tropical, incluyendo la provisión de infraestructuras observacionales para estudios de procesos.
- 5) Mantener y ampliar el registro climático del Pacífico tropical.

El rediseño se basa en los resultados del programa *Tropical Ocean-Global Atmosphere* (TOGA) llevado a cabo de 1985 a 1994 y en las numerosas innovaciones y mejoras introducidas desde entonces [2.2, 2.3]. Los

---

<sup>1</sup> Las referencias a las secciones del informe principal figuran entre corchetes.

numerosos beneficios públicos que emergieron del monitoreo y la predicción del ENOS, así como de las investigaciones científicas asociadas, continúan entre las principales motivaciones del TPOS. Esta red sienta además las bases para predicciones meteorológicas y oceánicas, así como para servicios de vigilancia del clima y el medio ambiente marino. Tales servicios de bien público exigen un fiable y eficaz TPOS sostenido [2.1, 2.2, 2.4]. En este informe se enuncian las recomendaciones y las medidas iniciales para responder a las exigencias de 2020 y más allá [5, 7].

El TPOS ha sido muy exitoso en los 20 años transcurridos desde TOGA [2.5], sentando así las bases para un mayor comprensión y para el establecimiento de los numerosos servicios que emergieron durante ese periodo [2.4]. El TPOS 2020 está reconsiderando los requerimientos, tomando en cuenta al mismo tiempo los problemas científicos y la nueva comprensión que se ha logrado, así como la mayor sofisticación de los sistemas de análisis, modelización y predicción, además de los servicios que se han implementado o que están en preparación [3.1]. Se está replanteando el diseño del TPOS para aprovechar los adelantos en las nuevas tecnologías, tanto por satélite como *in situ*, y para conseguir una mayor eficiencia, eficacia y fiabilidad, reenfocando las observaciones en las necesidades de los decenios venideros. Los requerimientos se están elaborando primero para las Variables Oceánicas y Climáticas Esenciales y, en lo posible, se los está caracterizando en términos de su muestreo espacial y temporal, las dependencias de régimen, la exactitud, la calidad y la necesidad de continuidad, según corresponda [3.1.1, 3.1.2, 3.1.3]. Los requerimientos son motivados también por la necesidad de mantener y mejorar el registro climático [3.2].

Los nuevos objetivos para una mejor comprensión y desarrollo de modelos incluyen la capa de mezcla oceánica y los flujos superficiales que interactúan con ella; el ciclo diurno; la física de la interacción océano-atmósfera ecuatorial; las regiones de frontera del Pacífico; y la biogeoquímica, en particular los grandes flujos de carbono aire-mar [3.3]. Estos requerimientos se cumplirán a través de una combinación de redes observacionales permanentes y experimentales.

El nuevo enfoque del TPOS 2020 reduce la dependencia en plataformas particulares y aprovecha algunas de las ventajas que ofrecen los recientes adelantos tecnológicos [7.6]. Los regímenes clave se observarán exhaustivamente por primera vez, lo que redundará en provecho del desarrollo de modelos acoplados, mejores productos grillados a nivel de todo el sistema y una mejor comprensión en general. Las mejoras del TPOS posibilitarán mejoras muy necesarias de los sistemas de modelado operacional que hasta ahora han resultado difíciles de conseguir.

Se están formulando principios para guiar el diseño del nuevo *backbone* del TPOS y su implementación [4, 7.1]. Estos comprenden una consideración en conjunto de las plataformas satelitales e *in situ*, aprovechando sus capacidades para reducir la incertidumbre en el registro climático del Pacífico tropical [5] e introduciendo Estudios Piloto y de Procesos [6] que alimentarán el ulterior perfeccionamiento del TPOS durante y después de la conclusión del proyecto en 2020.

En la siguiente sección de este resumen se enuncian los **requerimientos** en materia de variables oceánicas y las **recomendaciones** asociadas al sistema de observación, mientras que la sección posterior (Implementación) se centra en las **medidas** principales. El orden en que se exponen aquí las recomendaciones y las medidas no supone ninguna prioridad y en algunos casos difiere de su orden en la parte principal del informe.

En la medida de lo posible en esta etapa del TPOS 2020, el informe contiene estimaciones del costo de algunos ítems importantes. Las recomendaciones y las medidas son viables y aplicables, pero los costos solo podrán calcularse debidamente tras un diálogo más profundo con los encargados de implementar el TPOS.

## REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES

El monitoreo y la detección del cambio climático exige una rigurosa exactitud, duración y continuidad en todas las variables climáticas esenciales. Elaborar tal registro climático exige redundancia y resiliencia apropiadas contra los fallos de los componentes del sistema que podrían de otro modo ocasionar daños [3.2.1].

□ El TPOS requiere datos imparciales y exactos sobre **viento de superficie/esfuerzo del viento**<sup>2</sup> con una buena cobertura espacial y temporal, incluso en regiones de lluvia intensa y en regímenes de vientos moderados y fuertes. Es importante mantener largas series temporales de vientos *in situ* para su intercalibración y para apuntalar el registro climático, especialmente en el Pacífico ecuatorial y en las zonas de fuerte convección y precipitación [3.1.1.2, 3.2.1, 5.1]. El seguimiento de los procesos frontales y otros procesos a pequeña escala exige que los campos de vector de viento resuelvan gradientes a escalas no superiores a los 50 km [3.3.2]. Es necesario también que las corrientes de superficie concilien las diferencias entre los vientos registrados por dispersómetros (*scatterometers*) y los observados *in situ* [véase la Recomendación 11]. El TPOS 2020 recomienda:

**Recomendación 1** Una constelación de misiones con dispersómetros con múltiples frecuencias y mediciones complementarias de la velocidad del viento con sensores microondas para asegurar estimaciones del viento a gran escala cada 6 horas para todo tipo de tiempo en más del 90% del Océano Pacífico tropical durante el próximo decenio y después de éste, con distintas horas de cruce del ecuador para observar el ciclo diurno.

**Recomendación 2** Mediciones *in situ* de los vectores de viento, procurando en particular ampliar los registros de datos climáticos *in situ* e intercalibrar los distintos sensores de viento por satélite, especialmente en el Pacífico ecuatorial y en las zonas lluviosas tropicales.

□ Se requiere un muestreo sin sesgo y exacto de alta resolución y a largo plazo de la **temperatura de la superficie del mar (TSM)**, haciendo hincapié en las regiones con nubosidades y precipitaciones persistentes y gradientes horizontales pronunciados en la región de la lengua fría. Idealmente, para una mejor comprensión de los procesos cerca de la superficie, el muestreo debería resolver el ciclo diurno y por tanto poder caracterizar los perfiles de la temperatura cerca de la superficie en regiones donde la variabilidad diurna es amplia [3.1.1.1, 3.3.1, 3.3.2, 5.2]. El TPOS 2020 recomienda:

**Recomendación 3** Mediciones por satélite sostenidas de la TSM utilizando sensores infrarrojos para un muestreo espaciotemporal más alto; sensores microondas pasivos para subsanar las insuficiencias bajo las nubes; y la diversidad de plataformas satelitales e *in situ* para contribuir a la intercalibración.

---

<sup>2</sup> Las variables esenciales climáticas y oceánicas figuran en **negrita y cursiva**.

**Recomendación 4** Mantenimiento del nivel actual de las observaciones de la TSM *in situ* y mejora de la calidad de las boyas a la deriva utilizadas para la medición de la TSM. Ambas contribuirán a la calibración y validación de las mediciones de la TSM por satélite, y además servirán de conjunto de datos de referencia independiente para el registro climático de la TSM. Centrarse específicamente en zonas convectivas y lluviosas para la obtención de datos fidedignos sobre la TSM, manteniendo al mismo tiempo las mediciones de la TSM *in situ* mediante boyas ancladas en la región ecuatorial.

□ Se requiere un muestreo de gran exactitud a gran escala de la **altura de la superficie del mar (ASM)** para el clima así como a menor escala (hasta la submesoescala) para la inicialización de los modelos de predicción oceánica. Se debe mantener el muestreo de la masa oceánica (gravedad o presión del fondo del océano) [3.1.2.1, 3.1.2.2, 3.3.4, 5.3]. El TPOS 2020 recomienda:

**Recomendación 5** Continuación de las mediciones de alta precisión de la ASM mediante la serie Jason de altímetros satelitales para el monitoreo de la ASM a gran escala, y el desarrollo continuo de la tecnología de altímetros de banda ancha para medir las variaciones de la ASM a mesoescala y submesoescala que son particularmente energéticas en regiones cruciales, incluyendo el borde occidental.

**Recomendación 6** Mantenimiento de las mediciones *in situ* de mareógrafos para calibrar y validar las observaciones de la ASM por satélite, perfeccionadas con la referenciación mediante el sistema mundial de navegación por satélite y complementadas mediante mediciones sostenidas de perfiles de temperatura y salinidad (véase más abajo).

**Recomendación 7** Continuación de las mediciones de la masa oceánica para complementar las mediciones de la ASM por satélite y las mediciones de la altura estérica derivada de perfiles, y sensores de presión instalados en el fondo del mar para ayudar a calibrar y validar las estimaciones obtenidas por satélite.

□ Se requieren mediciones de las **precipitaciones** por satélite evaluadas con respecto a los datos obtenidos *in situ* en diversos regímenes climáticos. El muestreo co-localizado de la razón de lluvia y la velocidad/dirección del viento reviste particular importancia en las regiones convectivas del Pacífico ecuatorial occidental y en las zonas de convergencia intertropical y del Pacífico Sur [3.1.1.2, 3.1.1.5, 5.4]. El TPOS 2020 recomienda:

**Recomendación 8** Continuación y estrechamiento de la colaboración internacional en constelaciones de satélites para la medición de la precipitación a fin de mantener el muestreo espaciotemporal de las mediciones pluviométricas en los trópicos.

**Recomendación 9** Continuación y ampliación de las mediciones pluviométricas *in situ* en alta mar para la evaluación y el mejoramiento de los productos derivados de los satélites, especialmente para proporcionar un registro climático a largo plazo.

□ Se requiere un muestreo a gran escala de la **salinidad de la superficie del mar (SSM)**, con una resolución suficiente para caracterizar frentes de salinidad marcados en la zona ecuatorial [3.1.1.6]. Para entender procesos y fenómenos clave, resulta particularmente importante el muestreo de la salinidad con mayor resolución en la piscina cálida del Pacífico occidental y en las regiones frontales [3.3.1, 3.3.2, 5.5]. Las mediciones *in situ* y por satélite ofrecen observaciones complementarias de la SSM para responder a las

necesidades del TPOS. Las mediciones *in situ* proporcionan datos exactos de salinidad cerca de la superficie. Argo cubre las escalas espaciales más amplias; las boyas ancladas proporcionan mediciones de alta frecuencia, los buques de observación voluntaria (VOS en inglés) suministran mediciones de alta resolución espacial a lo largo de las rutas de navegación, así como un registro largo de datos climáticos. Los satélites aportan un muestreo casi uniforme de la SSM que resuelve gradientes, así como una mejor cobertura en las zonas costeras de los océanos y en los mares marginales. El TPOS 2020 recomienda:

**Recomendación 10** Continuidad de las redes de medición complementarias por satélite e *in situ* de la SSM, con foco en una mayor exactitud de los satélites.

□ Se requieren mediciones de las **corrientes superficiales** (velocidad y dirección) con una alta resolución espacial y temporal, especialmente en la franja ecuatorial, a fin de facilitar la asimilación y la síntesis de las mediciones del viento efectuadas por satélite e *in situ* [3.1.1.2]. Las series temporales de las **corrientes subsuperficiales** ecuatoriales se utilizan ampliamente para la validación y desarrollo de modelos y seguirán siendo necesarias para la asimilación de datos en modelos en el futuro [3.1.3.2]. Para una mejor comprensión de los procesos y fenómenos, el TPOS 2020 ha identificado requerimientos de mayor resolución vertical de las mediciones de corrientes a fin de resolver la cizalladura cerca de la superficie; el muestreo meridional cerca del ecuador para resolver la circulación; y un mejor monitoreo de otros elementos clave de circulación como las corrientes de borde occidental en latitudes bajas y las corrientes de profundidad intermedia [3.3.1, 3.3.3, 3.3.4.1, 3.3.4.2, 5.6]. El TPOS 2020 recomienda:

**Recomendación 11** Continuación de los desarrollos tecnológicos en mediciones remotas de las corrientes superficiales y mejores mediciones *in situ* de las corrientes superficiales y subsuperficiales, en particular cerca del ecuador, y hacer mediciones co-localizadas del viento y las corrientes superficiales; y

**Recomendación 19** Mantenimiento y, en lo posible, aumento del rango de profundidades de muestreo de los perfiles de corrientes en las boyas ancladas ecuatoriales existentes, y mejora de la resolución meridional de la velocidad mediante boyas suplementarias cerca del ecuador a lo largo de meridianos seleccionados.

□ Los requerimientos de flujos aire-mar de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) están parcialmente cubiertos por el muestreo existente de alta calidad de la presión parcial del CO<sub>2</sub> (**pCO<sub>2</sub>**) sobre la superficie del mar. Estas observaciones cuantifican la variabilidad estacional a interanual de los flujos de CO<sub>2</sub> afectados por el ENOS y mejoran la comprensión de la variabilidad natural en el contexto del cambio inducido por las actividades humanas [3.1.1.4, 3.3.5]. El TPOS 2020 recomienda:

**Recomendación 12** Continuación de las series temporales de alta frecuencia mediante boyas ancladas y de las observaciones en curso del pCO<sub>2</sub> en la superficie del mar de gran escala espacial a lo largo del Pacífico entre 10°S y 10°N.

□ Se requieren mediciones a gran escala del **color del océano** en la superficie, con una resolución suficiente para diagnosticar los límites de los regímenes y con una exactitud suficiente para diagnosticar los cambios estacionales. Se requiere asimismo el muestreo *in situ* de la clorofila *a* a fin de validar las mediciones por teledetección del color del océano [3.1.1.4, 5.7]. El TPOS 2020 recomienda:

**Recomendación 13** Continuación de la promoción de las misiones satelitales relativas al color del océano con traslape adecuado para facilitar la intercalibración en aras de la consistencia de las mediciones. Se requieren mediciones *in situ* de la clorofila *a* y las propiedades ópticas para la validación de las mediciones por satélite del color del océano.

□ El emprender los procesos biogeoquímicos estacionales requiere realizar mediciones a escalas de tiempo semestrales, abarcando el Pacífico tropical desde 10°S hasta 10°N, aumentadas por observaciones de alta frecuencia en sitios seleccionados [3.3.5]. A fin de comprender correctamente la dinámica del CO<sub>2</sub>, es preciso comprender las variaciones en el **oxígeno** que se consume bajo la superficie durante el reciclado de la materia orgánica (por ejemplo, el fitoplancton) producida en la superficie. La expansión de las zonas de oxígeno mínimo tiene consecuencias fundamentales para la vida marina. El TPOS 2020 recomienda:

**Recomendación 14** Se requieren observaciones de las propiedades biogeoquímicas subsuperficiales desde 10°S hasta 10°N, con inclusión de la concentración de clorofila, la retrodispersión por partículas, el oxígeno y los nutrientes. Mayor foco es necesario en el borde oriental de la piscina cálida y la lengua fría del Pacífico oriental.

□ Se requiere un muestreo exhaustivo de las variables de estado necesarias para la estimación de los **flujos de calor** turbulentos (TSM, temperatura del aire, humedad, viento y corrientes superficiales) y de los **flujos radiativos** (radiación solar incidente, radiación de onda larga incidente, emisividad) en todo el rango de regímenes climáticos/meteorológicos y los principales regímenes oceánicos [3.1.1.3, 5.8]. Esto es esencial para evaluar y mejorar los reanálisis atmosféricos, las estimaciones por satélite de los flujos de superficie y los sistemas acoplados de asimilación de datos, así como para mejorar nuestra comprensión de los intercambios entre la atmósfera y el océano en esos distintos regímenes. El TPOS 2020 recomienda:

**Recomendación 15** Se deben fortalecer las observaciones *in situ* de las variables de estado necesarias para la estimación de flujos superficiales de energía y agua fresca en regiones clave, las cuales incluyen la piscina cálida en el Pacífico occidental, a lo largo de la línea ecuatorial y de varias líneas meridionales que se extienden desde la zona de convergencia del Pacífico sur (ZCPS) e intertropical (ZCIT) del hemisferio sur, a través del ecuador, hasta cruzar la ZCIT del hemisferio norte.

□ El TPOS 2020 apoya los esfuerzos encaminados a aumentar el número de flotadores a la deriva y boyas fijas que miden la **presión a nivel del mar** [3.1.2.4, 7.4.1].

□ Las olas en la superficie del mar (**estado del mar**) modifican el esfuerzo superficial a velocidades bajas del viento y son importantes para el nivel del mar en las costas y efectos relacionados. Unas cuantas boyas de oleaje direccionales permanentes en el Pacífico tropical complementarían y validarían los datos sobre olas obtenidos por satélite [3.1.2.3].

□ Se requiere un muestreo a gran escala a través de los trópicos de **la temperatura y la salinidad subsuperficiales** (con una resolución de aproximadamente 2°×2°), con un menor espaciado meridional (100 km) y una mayor resolución vertical (10 m o más fina) en la región ecuatorial. Se requieren perfiles profundos estables y precisos. Otro objetivo es resolver la estratificación de la salinidad cerca de la superficie, especialmente en la piscina cálida, en su borde oriental y bajo franjas de lluvia persistente.

Para una mejor comprensión de los fenómenos y los procesos, se requiere una resolución vertical más fina por encima de los 100 m de profundidad. Un muestreo entre 2°S y 2°N debería bastar para resolver los gradientes meridionales. Los perfiles en la región ecuatorial occidental-central deberían resolver los fenómenos a escalas temporales no superiores a los 5 días [3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4.1].

Una mejor resolución de los campos físicos ayudará a la interpretación y modelado de los procesos biogeoquímicos. La mayoría de las plataformas utilizadas para una mejor observación de la temperatura y la salinidad pueden adaptarse a las observaciones biogeoquímicas *in situ* [3.3.5].

La diversidad del ENOS y sus cambios futuros requerirán un muestreo del ambiente del Pacífico tropical para seguir los patrones espaciotemporales del ENOS y propiciar la mejora de la predicción del ENOS y la bondad de los pronósticos con modelos.

El TPOS 2020 recomienda [4, 5.9]:

**Recomendación 16** Una combinación de boyas ancladas, flotadores perfiladores y líneas/secciones de barcos para responder a la necesidad de observaciones sostenidas de temperatura y salinidad subsuperficiales. Se requiere la integración mediante la asimilación y síntesis de los datos para producir los campos grillados necesarios.

**Recomendación 17** Incrementar la resolución meridional de la temperatura y la salinidad en la zona ecuatorial mediante una combinación de: a) boyas ancladas adicionales cerca del ecuador y b) el aumento de los perfiles Argo en la zona ecuatorial (aproximadamente duplicando la densidad).

**Recomendación 18** Incrementar la resolución vertical de la temperatura y salinidad del arreglo tropical de boyas ancladas mediante más sensores en la capa superior del océano, desde la parte superior de la termoclina hasta la superficie, e incrementar la resolución de los perfiles Argo a 1 dbar desde 100 dbar hasta la superficie (o lo más cerca posible); y

**Recomendación 20** Duplicar la densidad de las observaciones Argo del perfil de la temperatura y la salinidad en los trópicos (10°N - 10°S), para obtener una mejor relación señal/ruido (mejor que 4:1) a escalas temporales semanales, empezando por el Pacífico occidental y la zona ecuatorial.

□ Se deberán seguir apoyando otros componentes *in situ* existentes. Estos incluyen la red de derivadores superficiales; los buques de observación voluntaria (VOS) y buques de oportunidad (incluyendo las mediciones complementarias efectuadas por barcos de servicio); transectos con batitermógrafos desechables de alta resolución; transectos hidrográficos profundos, largos y regulares (conocidos como GO-SHIP); sitios de referencia de punto fijo en el marco del Sistema Interdisciplinario Continuo de Observación del Medio Ambiente Oceánico mediante Series Temporales (OceanSITES); y mareógrafos para la calibración y la vigilancia del cambio del nivel del mar [3.1.1.1, 3.1.1.3, 3.1.1.4, 3.1.1.6, 3.1.2.4, 3.1.3]. El TPOS 2020 recomienda:

**Recomendación 21** Apoyo permanente a las observaciones *in situ* efectuadas mediante boyas a la deriva, buques, mareógrafos y boyas ancladas de referencia.

□ El modelado y la asimilación de datos son elementos fundamentales del diseño del TPOS y son críticos para proporcionar productos integrados de valor para las partes interesadas, entre ellos las predicciones y los campos grillados sintetizados. Esbozamos la labor encaminada a proporcionar orientación adicional para el diseño del TPOS 2020, determinar las causas de los sesgos de los modelos acoplados y evaluar la influencia de los datos observacionales en los análisis oceánicos y otros productos [3, 4, 6.1.6, 6.1.7, 7.5]. El TPOS 2020 recomienda:

**Recomendación 22** Un programa coordinado de: a) estudios de asimilación de datos para evaluar la eficacia del diseño del *backbone* de TPOS 2020 y b) estudios sobre la utilización y la influencia de los datos observacionales en un subconjunto apropiado de sistemas de análisis oceánicos.

## IMPLEMENTACIÓN

Este informe presta asesoramiento a los patrocinadores sobre las medidas de implementación a corto plazo con respecto a las plataformas y otros aspectos técnicos, en conformidad con los requerimientos y las recomendaciones antes expuestas. El hecho de concentrarse en el corto plazo por lo general excluye las medidas específicas relacionadas con los satélites; para una orientación pertinente, se remite al lector a las recomendaciones.

Es esencial que todas las recomendaciones y medidas propuestas por el TPOS 2020 se examinen detenidamente antes de su implementación, teniendo en cuenta los compromisos contraídos por las partes interesadas, así como sus capacidades y potencialidades. La transición del TPOS tal como existe en la actualidad a su futura configuración debe ser objeto de una gestión y una coordinación eficaces para mantener los flujos de datos para la predicción operacional, obtener registros climáticos continuos y tomar en cuenta los cambios en los métodos de muestreo [3.2, 7.1 y secciones del 7.7]. Es necesario seguir evaluando la transición para hacer frente a los riesgos de forma adecuada.

Existen varios mecanismos que facilitan ese proceso y los socios del TPOS 2020 pueden impartir asesoramiento y orientaciones. También es posible recurrir a mecanismos regionales [7.7.1, 7.7.2, 7.7.3].

**Medida 15** En consulta con los principales interesados, entre ellos el GOOS, la JCOMM, el WIGOS de la OMM y el SMOC, se debe entablar un proceso de transición y crear un Grupo de Transición e Implementación del TPOS 2020 para supervisar la implementación de las recomendaciones y medidas propuestas por el TPOS 2020.

□ La medida más apremiante es hacer frente al deterioro del arreglo tropical de boyas ancladas en la zona occidental; la respuesta aquí propuesta se centra en restaurar las capacidades más críticas y buscar compromisos sostenidos al respecto [1.2, 7.2, 7.4.3].

**Medida 1** Se deberán mantener o volver a ocupar seis sitios del arreglo tropical de boyas ancladas en el Pacífico occidental entre 2°S y 2°N.

**Medida 2** Se deberán duplicar de inmediato los despliegues de Argo entre 10°S y 10°N en la región occidental (especialmente fuera de la zona ocupada por el arreglo tropical de boyas ancladas) para mantener el muestreo de la temperatura y la salinidad subsuperficiales y compensar el deterioro del arreglo.

❑ Se recomienda el incremento de perfiles Argo en la región tropical (10°S - 10°N) [Recomendaciones 17 y 20]. Los despliegues tendrían por objeto una densidad de un perfil cada 5 días por cuadrado de 3°×3° o, de forma equivalente, un perfil por cuadrado de 2,1°×2,1° cada 10 días. El incremento sería escalonado, basándose en la experiencia en la región occidental. Cerca del ecuador el muestreo de alta frecuencia del arreglo tropical de boyas ancladas sigue siendo crítico y complementa la excelente resolución vertical proporcionada por Argo [Recomendaciones 18, 19; 7.4.3].

**Medida 3** El despliegue de boyas de Argo debe duplicarse en la región tropical (10°S-10°N), con una mayor resolución vertical en la capa superior del océano.

❑ Las escalas oceánicas de variabilidad, ruido de fondo (por ejemplo, remolinos y efectos meteorológicos sinópticos) y los distintos fenómenos (ondas de inestabilidad tropical y capas de barrera) varían a lo largo del Pacífico tropical. Los ajustes en el despliegue y el cometido de la red de flotadores puede redundar en ulteriores beneficios para el TPOS [3, 5.9].

**Medida 4** A través del Equipo de Trabajo del *Backbone* del TPOS 2020 y el Equipo Directivo de Argo, seguir estudiando cómo optimizar los despliegues de flotadores y misiones para contribuir mejor al logro de los objetivos del TPOS.

❑ El TPOS 2020 llega a la conclusión de que es muy conveniente que el arreglo tropical de boyas ancladas pase de su actual estructura grillada entre 8°S y 8°N a otra con boyas ancladas más eficaces que efectúen el muestreo de los distintos regímenes del Pacífico tropical [3.1.1.3] y recojan la variabilidad a escala de cuenca en los campos superficiales y subsuperficiales [3.1]. Cualquier cambio se implementaría cuidadosamente a fin de mantener los registros climáticos y se evaluaría de conformidad con los principios de monitoreo del clima de GCOS. Las medidas 5 y 6 iniciarían esos cambios.

Las actuales capacidades de muestreo en la región cercana al ecuador no cumplen con los requerimientos de escala exigidos por los gradientes meridionales pronunciados en todo el ecuador [3.1.3, 3.3.3, 3.4, 5.9.1; Recomendación 17]. Habida cuenta de las capacidades de las plataformas disponibles, la manera más eficaz de lograrlo sería aumentando la resolución meridional de un muestreo de punto fijo mejorado que abarque el ecuador en una o algunas longitudes seleccionadas.

**Medida 5** Se deberán añadir boyas fijas entre 1°S y 1°N en longitudes seleccionadas para incrementar la resolución de la dinámica cerca del ecuador. Se debería procurar mejorar la instrumentación en todas las boyas fijas entre 2°S y 2°N en esas longitudes, incluyendo perfiles de velocidad en lo posible.

❑ Habida cuenta de la capacidad de Argo de proporcionar perfiles de alta resolución (Medida 3) y de la posibilidad de que los dispersómetros y los modelos capten los vientos alisios [3.1.1.2, 5.1], existe ahora la posibilidad de orientar al arreglo tropical de boyas ancladas hacia otras prioridades.

**Medida 6** Una reconfiguración escalonada del arreglo tropical de boyas ancladas debería enfatizar la mejora en los regímenes clave.

❑ Recomendamos mediciones más completas de los flujos superficiales en regímenes particulares, con el muestreo correspondiente incrementado en la capa de mezcla oceánica [3.1.1.3, 5.8; Recomendación 15].

Las mediciones en puntos fijos (boyas ancladas) son particularmente adecuadas para estas tareas debido a su capacidad de enfocarse en regímenes y efectuar muestreos de las altas frecuencias (diurnas) de esos procesos.

**Medida 10** Todos los sitios de boyas ancladas ecuatoriales deberían mejorarse y pasar a ser boyas ancladas de medición de flujos.

□ El arreglo tropical de boyas ancladas, limitado a 8° del ecuador, ofrece solo una cobertura parcial de los principales regímenes climáticos [3.1] y por lo general carece del muestreo apropiado para determinar todas las componentes importantes de los flujos.

**Medida 11** Líneas meridionales de los sitios de flujo deberían extenderse desde el ecuador para intersectarse con las zonas de convergencia del Pacífico Sur e intertropical en la parte occidental, y en toda la ZCIT, la lengua fría y la ZCIT austral estacional en el Pacífico oriental y central.

□ La reducción de la cobertura horizontal fuera de esos regímenes principales debería acompañarse de evaluaciones de los efectos en los campos subsuperficiales, los flujos superficiales (incluyendo el esfuerzo del viento) y la recolección de datos obtenidos en navegación y datos complementarios, especialmente para los datos relativos al  $p\text{CO}_2$  [7.4.4.2, 7.4.6]. Las Medidas 1 y 2 relativas al Pacífico occidental servirán de valiosa referencia para estas medidas.

Observamos diferencias importantes en los productos relativos a los vientos de superficie y los flujos dentro de la región tropical y una escasez de estudios sobre los efectos de los datos meteorológicos de superficie del arreglo tropical de boyas ancladas en la predicción meteorológica y los productos de reanálisis asociados y en los modelos acoplados [3.1, 4].

**Medida 7** Promover y apoyar estudios de sensibilidad y de impacto del ingreso de datos del viento y el vector del viento a los productos de análisis y reanálisis operacional y a los especializados relativos al esfuerzo del viento, incluyendo su aplicación a la detección del cambio climático. Se deberá también tomar en consideración la eficacia de las etiquetas de lluvia en los metadatos y varios métodos para la intercalibración de los dispersómetros.

**Medida 8** Renovar y ayudar a coordinar los esfuerzos para comprender la sensibilidad y diagnosticar los efectos de las variables de los flujos aire-mar acopiadas por el arreglo tropical de boyas ancladas en la predicción meteorológica, los reanálisis atmosféricos y los modelos acoplados, en particular mediante las actividades en curso centradas en los efectos de las observaciones.

Véase también la Medida 13.

□ El vandalismo de que son objeto las boyas del arreglo tropical de boyas ancladas ha sido un problema recurrente, en particular para la línea de boyas de la TAO ubicada en 95°O, lo que tuvo por resultado mediciones reducidas durante el reciente episodio de El Niño (2015-2016). Sería valiosa la participación regional para prestar apoyo al muestreo de este importante régimen.

**Medida 9** El Grupo de Transición y Implementación (véase la sección 7.7) deberá entablar discusiones con las partes interesadas del TPOS sobre soluciones sostenibles para los diferentes problemas de implementación en las regiones del Pacífico occidental y oriental, especialmente para las contribuciones necesarias del arreglo tropical de boyas ancladas.

□ La reorientación del arreglo tropical de boyas ancladas plantea riesgos, en particular para las variables de los flujos superficiales, algunos de los cuales no tienen actualmente alternativa a las mediciones mediante boyas. Para atenuar esos riesgos, se deberá alentar a los buques de observación voluntaria y otros sistemas *in situ* a concentrarse más en esas variables. Las nuevas tecnologías y las mejoras en las pruebas y la calibración de los productos de reanálisis y climáticos ofrecen otras vías para responder a los requerimientos en materia de flujos superficiales [7.4.6].

**Medida 13** Para atenuar los riesgos al cumplimiento de los requerimientos en materia de flujos superficiales asociados a los cambios en el arreglo tropical de boyas ancladas, el TPOS 2020 busca: a) mejorar el muestreo efectuado por la flota climática de buques de observación voluntaria y otros sistemas *in situ* en materia de flujos superficiales, b) apoyar desarrollos tecnológicos pertinentes, y c) alentar esfuerzos encaminados a mejorar el realismo de los productos de flujos del reanálisis y de los pronósticos meteorológicos numéricos en tiempo real mediante técnicas de corrección de salida/ajuste de flujos.

□ Los requerimientos, las recomendaciones y las medidas sobre biogeoquímica y ecosistemas serán temas importantes en próximos informes del TPOS 2020. En el presente informe se destaca la importancia social y la utilidad de sistemas biogeoquímicos establecidos tanto sostenidos como experimentales [2.6.7, 3.3.5]. La utilización oportunista de las plataformas existentes, como las boyas ancladas, los flotadores y los buques de investigación y servicio, constituye una estrategia esencial. Aprovechar al máximo el uso de cruceros de servicio de las boyas ancladas es un componente decisivo de las observaciones biogeoquímicas del *backbone* de TPOS. Los buques de servicio deberán proseguir las mediciones del  $p\text{CO}_2$  en curso a fin de mantener la continuidad en el registro del flujo de  $\text{CO}_2$  y servir de validación para las mediciones efectuadas mediante boyas ancladas y nuevas tecnologías, así como para brindar un contexto para la variabilidad espacial entre observaciones mediante boyas fijas. Otra de las primeras iniciativas que puede tomar el TPOS es la cartografía de la zona de oxígeno mínimo del Pacífico oriental [3.3.5].

**Medida 12** Proseguir o restablecer las observaciones del  $p\text{CO}_2$  en curso en todos los buques de servicio y mantener y, en lo posible, ampliar la red actual de mediciones del  $p\text{CO}_2$  mediante boyas ancladas. Las mediciones del oxígeno disuelto desde la superficie hasta unos 1500 m deberán efectuarse en los buques cuando resulte posible, y se deberán instalar sensores de oxígeno en cada boya anclada.

□ En este informe se mencionan varios estudios piloto y de procesos, así como trabajos en curso por los equipos de trabajo del TPOS 2020. Algunos de estos estudios son precursores necesarios para la orientación de las estrategias de muestreo, la evaluación y mejora de su entrega, costos y adecuación para su implementación sostenida. Otros tienen por objeto una mejor comprensión de los fenómenos y procesos [3.3], algunos de los cuales se tratan total o parcialmente en las recomendaciones y medidas antes enunciadas.

Además de las iniciativas de proyectos recomendadas a continuación, varios grupos en torno al Pacífico participan ya en proyectos de investigación que aprovechan adelantos técnicos recientes, brindando al TPOS 2020 nuevas posibilidades de monitoreo [7.5.2].

Las nuevas tecnologías se tienen también en consideración ya que ofrecen posibilidades de una participación más amplia en el desarrollo del TPOS, así como para mejorar la eficacia y/o la pertinencia y repercusión del sistema de observación.

Los proyectos recomendados y las iniciativas apoyadas son las siguientes [6.1, 6.2, 10]:

#### **Estudios piloto/programas para el *backbone***

- Observando los sistemas de corriente de borde occidental: un estudio piloto [6.1.1]
- Sistema de guía de ondas y surgencia en el Pacífico oriental ecuatorial y costero [6.1.2]
- Determinando las escalas temporales y espaciales críticas para la biogeoquímica en el TPOS [6.1.3]
- Mediciones directas de los flujos aire-mar, las olas y su rol en la interacción aire-mar [6.1.4]
- Estación piloto de observación del clima en la Isla Clipperton para el estudio de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) en el Pacífico oriental [6.1.5]
- Evaluación de los efectos de los cambios en el *backbone* del TPOS [6.1.6]
- Comparación de análisis y utilización de las observaciones del TPOS [6.1.7]

#### **Estudios de procesos**

- Física de la surgencia y mezcla en el Pacífico [6.2.1]
- Interacción aire-mar en el borde norte de la piscina cálida del Pacífico occidental [6.2.2]
- Interacción aire-mar en el borde oriental de la piscina cálida [6.2.3]
- Sistema ZCIT/piscina cálida/lengua fría/estratos en el Pacífico oriental [6.2.4]

#### **Ejemplos de proyectos de nuevas tecnologías financiados**

- Flotadores perfiladores equipados con sensores pluviométricos, de velocidad del viento y biogeoquímicos (NOAA) [10.2.1]
- Embarcaciones superficiales autónomas como plataformas de bajo costo del TPOS (NOAA) [10.2.2]
- Experimento con el planeador superficial de flujos (JAMSTEC) [10.2.3]
- Observaciones incrementadas en la capa límite oceánica en las boyas ancladas TAO del NDBC (NOAA) [10.2.4]
- Desarrollo y evaluación de mediciones directas (covarianza de remolinos) de los flujos turbulentos para las boyas ancladas TAO del NDBC (NOAA) [10.2.5]

**Medida 14** A través del Foro de Recursos de TPOS 2020 y el Grupo de Transición e Implementación del TPOS 2020, y mediante enlaces con programas de investigación y patrocinadores, se deberá prestar apoyo a estudios piloto y de procesos que contribuyan al perfeccionamiento y la evolución del *backbone* del TPOS.

Este es el primero de una serie de informes del TPOS 2020. Las recomendaciones y medidas iniciales dan comienzo a un proceso de transformación y cambio conducente a un sistema de observación con mayores capacidades, más resiliente y más eficaz. El enfoque integrado disminuye la dependencia en una sola plataforma, y su implementación recoge en parte la eficacia que ofrecen adelantos tecnológicos recientes. Se podrán seguir con mayor exactitud las condiciones oceánicas y de superficie a gran escala. Los principales

regímenes podrán observarse de manera exhaustiva, posibilitando una descripción continua más clara de la evolución del clima del Pacífico tropical y orientando el desarrollo de los modelos acoplados. Las mejoras del TPOS permitirán numerosas mejoras necesarias de los sistemas de modelado operacional, respondiendo a los retos científicos de los próximos decenios.

Los informes subsiguientes incluirán refinamientos que surgirán de la evolución de la tecnología y los nuevos conocimientos adquiridos gracias a los estudios piloto y de procesos. Las observaciones relativas a la biogeoquímica y los ecosistemas y su interpretación en el contexto de las observaciones mejoradas del sistema físico ocuparán un lugar importante. El valor de todas las observaciones del TPOS se acrecenta gracias a la integración mediante la asimilación y las síntesis, de tal modo que los futuros diseños responderán a las necesidades de las parametrizaciones avanzadas de modelos y los cambios que aumenten la eficacia de los sistemas de asimilación de datos.