

Construyendo la infraestructura de observación del mañana: tendencias tecnológicas que dan forma al futuro del monitoreo hidrometeorológico

Por Shannon Kaya, Directora de la División de Transformación, Innovación e Ingeniería de la Dirección de Servicios de Monitoreo y Datos, Servicio Meteorológico de Canadá, Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá

A medida que los fenómenos climáticos extremos mundiales se intensifican y los riesgos hidrometeorológicos aumentan, la capacidad científica para observar, comprender y responder debe ser también mayor. En el actual esfuerzo por establecer una Visión del Sistema Mundial Integrado de Observación de la OMM (WIGOS) para 2050 (*), se prevé un futuro en el que las observaciones del sistema Tierra, tanto espaciales como de superficie, estarán más integradas, tendrán una mayor capacidad de respuesta y serán más innovadoras que nunca. En el centro de esta transformación se encuentra la infraestructura para el monitoreo hidrometeorológico, un sistema en evolución impulsado por la tecnología, las nuevas asociaciones y los nuevos métodos de generación de datos. En el presente artículo, se esbozan las principales tendencias tecnológicas relacionadas con la infraestructura identificadas a través del esfuerzo por establecer la Visión del WIGOS para 2050 que se espera influyan en los próximos 25 años, para su consideración desde una perspectiva presupuestaria y organizativa en el futuro.

Redes de observación diversificadas y distribuidas

La infraestructura mundial de observación en superficie está experimentando un cambio fundamental que se caracterizará por un modelo de redes adaptable y escalonado que incorpore estaciones de referencia de gran exactitud, redes troncales integrales y sistemas emergentes u oportunistas, como sensores de bajo costo, plataformas móviles y observaciones aportadas por la comunidad. Los instrumentos tradicionales y las redes nacionales seguirán siendo fundamentales, pero coexistirán cada vez más con sensores

distribuidos en ciudades inteligentes, regiones remotas y entornos marinos. El resultado será un sistema de observación más amplio y flexible que refleje la diversidad de usuarios y aplicaciones a las que debe servir.

De la miniaturización a la movilidad

La innovación tecnológica está haciendo posible el despliegue de sensores avanzados en nuevas plataformas y entornos remotos que antes eran inaccesibles. La miniaturización de los sensores meteorológicos y su integración en drones y otros vehículos, e incluso en dispositivos portátiles, como collares, en animales está transformando cómo y dónde se pueden recopilar datos. Los sistemas aéreos no tripulados (figura 1) se están



Figura 1. En los próximos dos años, los sistemas autónomos, como los sistemas aéreos no tripulados meteorológicos, se perfilarán como una contribución significativa al sistema de observación de la Tierra.

convirtiéndolo en alternativas a las radiosondas tradicionales, ya que ofrecen capacidades de creación de perfiles verticales reutilizables y de menor costo, con un mayor alcance y un menor impacto medioambiental que las tecnologías actuales. En el océano, el despliegue de planeadores autónomos, embarcaciones de superficie no tripuladas y boyas polivalentes está facilitando un monitoreo más persistente y a escala precisa de las condiciones oceánicas y atmosféricas. Estos sistemas móviles y adaptables proporcionarán cobertura de datos críticos en áreas donde la infraestructura tradicional es limitada o poco práctica.

Automatización y procesamiento periférico

La infraestructura de monitoreo será cada vez más inteligente y automatizada. La integración de la computación periférica en los sistemas de observación facilitará el procesamiento de los datos en el punto de recopilación, lo que reducirá el tiempo de espera y las necesidades de ancho de banda. Esto revestirá particular importancia en entornos remotos o extremos, donde el acceso a la red es intermitente. Los sensores autocalibrables, alimentados por energía solar y diseñados para un bajo mantenimiento, mejorarán la resiliencia y la sostenibilidad medioambiental de las redes de monitoreo. Estos avances permitirán desplegar y mantener redes de alta densidad incluso en regiones con infraestructuras o recursos humanos limitados.

Integración de sistemas espaciales y de superficie

La verdadera transformación de la infraestructura se realizará a través de la integración. Los sistemas de observación espaciales y de superficie se diseñarán y funcionarán de forma conjunta, optimizando la cobertura, la exactitud y la complementariedad. Las redes terrestres desempeñarán un papel fundamental en la calibración de los sensores satelitales y proporcionarán información fundamental sobre los perfiles verticales. Los superemplazamientos, es decir, emplazamientos con instrumentos provenientes de múltiples ámbitos, respaldarán la validación de productos derivados de satélites y el desarrollo de algoritmos. Este enfoque combinado

aumentará el valor de los activos espaciales y de superficie, sobre todo para la modelización de alta resolución, la asimilación de datos y las aplicaciones de alerta temprana.

Se integran las observaciones no tradicionales

Las observaciones no tradicionales, como las del Internet de los objetos, los proyectos de ciencia ciudadana y las plataformas comerciales, se están convirtiendo en valiosos contribuyentes a los sistemas mundiales de observación. Los sensores integrados en los vehículos, las infraestructuras y los dispositivos portátiles ofrecerán datos densos e hiperlocales que pueden complementar las redes oficiales. Los sensores a bordo de animales, bajo el concepto de Internet de los animales ([haga clic aquí para ver un video que muestra los movimientos globales de los animales basados en los datos de Movebank](#)), ya están proporcionando observaciones oceánicas y atmosféricas de regiones donde se realizan pocos muestreos. La integración de estos nuevos flujos de datos en los sistemas nacionales e internacionales requerirá normas comunes sobre los datos, protocolos de aseguramiento de la calidad y marcos de gobernanza sólidos. Sin embargo, su potencial para ampliar el alcance y los detalles de las observaciones es significativo.

La inteligencia artificial como facilitador de infraestructuras

La inteligencia artificial (IA) desempeñará un papel fundamental en el futuro del monitoreo hidrometeorológico. La IA admitirá el control de calidad automatizado, la detección de anomalías, la optimización de la red (diseño y gestión/mantenimiento) y la fusión de datos. También facilitará la generación de productos reticulares a partir de múltiples fuentes de datos, mejorando las resoluciones espaciales y temporales. En el futuro, los asistentes basados en la IA podrán ofrecer información meteorológica y climática personalizada y en tiempo real a personas, empresas y comunidades, gracias a una integración perfecta de las observaciones en superficie y espaciales. La IA también ayudará a abordar uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la infraestructura del futuro: dar sentido a volúmenes de datos mucho más grandes y complejos.

Un sistema mundial inclusivo y equitativo

Uno de los objetivos centrales de los futuros sistemas de observación hidrometeorológica será garantizar un acceso equitativo a los datos y las capacidades de observación en todas las regiones. La inversión en infraestructura de monitoreo deberá dar prioridad a las zonas polares, oceánicas y ecológicamente sensibles, así como a otras áreas geográficas con baja capacidad de observación. Las asociaciones público-privadas, los centros regionales y los nuevos mecanismos de financiación serán esenciales para reducir las deficiencias en la cobertura y la calidad, mejorar las alertas tempranas y aumentar la resiliencia climática.

A medida que nos acercamos a 2050, la infraestructura de monitoreo hidrometeorológico debe evolucionar para satisfacer las necesidades de un planeta que cambia con rapidez, aprovechando las oportunidades para impulsar la innovación, la integración de datos y la colaboración para construir un sistema de observación que sea flexible, inclusivo y preparado para el futuro.

(*) El autor desea agradecer los esfuerzos desplegados por el experto que figura a continuación en la redacción de la Visión del WIGOS para 2050 en el marco del grupo de redacción de la Visión del WIGOS, establecido por el Comité Permanente

de Sistemas de Observación y Redes de Monitoreo de la Tierra de la Comisión de Observaciones, Infraestructura y Sistemas de Información de la OMM:

- Stephan Bojinski (EUMETSAT), Mary-Jane Morongwa Bopape (Red Sudafricana de Observación Medioambiental (NRF-SAEON)), Niels Bormann (ECMWF), Sid Ahmed Boukabara (NASA), Sean Burn (EUMETSAT), GUO Jianxia (CMA), Shannon Kaya (Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá), Agnes Lane (Oficina de Meteorología de Australia), Anthony McNally (ECMWF), Rosemary Munro (EUMETSAT), Osamu Ochiai (JAXA), Mikael Rattenborg (EUMETSAT, jubilado), Paolo Ruti (EUMETSAT), Michael Seablom (NASA), Fiona Isobel Smith (Oficina de Meteorología de Australia), Junhong (June) Wang (Universidad de Albany, SUNY), Elian Augusto WOLFRAM (Servicio Meteorológico Nacional, Argentina), Lihang Zhou (NOAA).

Los oradores invitados también contribuyen a diversas reuniones, entre ellas:

- Amy Chen (NASA), John Eyer (Oficina Meteorológica del Reino Unido, jubilado), Melissa Martin (NASA), Diego Ellis Soto (Universidad de California, Berkeley), Jonathan Taylor (Oficina Meteorológica del Reino Unido).