

## TH03

# Los servicios climáticos: una oportunidad para la Ingeniería Civil

### Del acceso a las bases masivas de datos a la generación de información útil

Tras los trabajos sobre el vehículo autónomo y la disrupción tecnológica, el ThinkHub Caminos, en su búsqueda de oportunidades para la ingeniería de caminos, analiza el nuevo concepto de “servicios climáticos” y su aplicación mediante la generación de información útil a partir del tratamiento de bases masivas de datos.

Al aumentar la disponibilidad de datos, los Ingenieros

Actualmente se vive en la sociedad un momento de expansión de la disponibilidad de datos, tanto por la creciente monitorización de la realidad, como por la posibilidad de difusión universal de la misma. Se cuenta, por tanto, con una nueva familia de plataformas y necesidades informativas, que crean oportunidades antes inexistentes.

La ingeniería civil no puede ni debe permanecer indiferente ante esta nueva revolución basada en la información. Muy especialmente cuando la mayor parte de su actividad se centra sobre el territorio, cada vez más monitorizado y, más aún, cuando la información adecuadamente gestionada puede llevar a una reducción notable de las incertidumbres, inseguridades y deficiencias asociadas al antiguo marco de uso, que se ha visto obligada a utilizar durante décadas.

pueden reducir incertidumbres e inseguridades de su quehacer

### El reto de convertir las bases de datos en información útil

Sin embargo, y aunque en algunos sectores se han hecho importantes progresos, la ingeniería de caminos se encuentra lejos de conseguir el máximo aprovechamiento de este nuevo marco de trabajo. Esta situación se debe a varios motivos:

Aunque hay progresos, el dominio de los datos solo se

- Existe un cierto déficit de interés por parte de nuestros profesionales sobre la disponibilidad, género, características, heterogeneidad e incertidumbres asociadas a los datos existentes, así como sobre la existencia y accesibilidad a los proveedores de servicios de datos relevantes para nuestra actividad profesional. De igual modo, el conocimiento adquirido en nuestra formación sobre monitorización, sensórica y minería de datos es limitado.
- La necesidad de seleccionar de entre los datos disponibles, aquellos que realmente constituyan una información relevante y oportuna que permita reducir las incertidumbres, mejorar la eficiencia y seguridad o elevar la rentabilidad económica, requiere de un conocimiento contextual y una tecnología aplicada que difícilmente pueden ser generada por los usuarios últimos o por especialistas fuera del sector de la ingeniería civil.
- La transformación de estos datos en información aplicable se realiza muy a menudo a través de un proceso de des-escalado (downscaling) que proporciona al usuario la información para una ventana temporal y espacial que no coincide con la disponible en los datos fuente. Para ejecutar esta función se aplican técnicas que generalmente quedan lejos del conocimiento común de los usuarios, aunque sus bases forman parte del corpus formativo de los ingenieros de caminos.
- Finalmente, los procesos en que los datos existentes constituyen una información relevante con valor añadido presentan problemas de

logrará desde el contexto y la tecnología de Ingeniería Civil,

readaptación y monitorización continua. Eso requiere una supervisión y mantenimiento constantes, que a veces no depende de nuestro marco de actividad, como la información meteo/climatológica, pero sí en otros casos, como la monitorización de las Obras Hidráulicas durante su vida útil.

Las cuestiones anteriores llevan directamente a la necesidad de cubrir la demanda de especialistas dentro de nuestra profesión que sean capaces de generar productos y servicios específicos para su aplicación en nuestras actividades profesionales.

generando  
especialistas  
en Servicios  
Climáticos.

## Servicios Climáticos e Ingeniería Civil

La Ingeniería  
depende de la  
información  
climática,

El clima y la meteorología es uno de los ámbitos en los que diferentes sectores de la sociedad demandan una gran cantidad de información y son altamente dependientes de la misma. Algunos de estos sectores son energía, agua, agricultura, transporte, salud, pesca, turismo, seguros, gestión de riesgos, adaptación y mitigación del cambio climático. Independientemente del hecho de que algunos de ellos están íntimamente ligados a la ingeniería civil, en general, nuestra profesión es altamente dependiente de la información meteorológica y climática.

Durante décadas, los servicios meteorológicos han generado, normalizado y distribuido información meteorológica y climática que ha sido obtenida tanto a través de observaciones como del desarrollo de modelos numéricos de procesos océano-atmosféricos. En general, esta información ha sido suministrada como un servicio genérico. Sin embargo, la generación de información ad-hoc dotaría de un alto valor añadido a administraciones públicas y empresas, incluidas aquellas que enmarcan su actividad en la ingeniería civil.

y los nuevos  
datos permiten  
generar nuevos  
servicios,

Es en este contexto en el que aparece el concepto de servicios climáticos. Este concepto es relativamente reciente y como recoge AEMET, de acuerdo con la Comisión Europea, se define como *“la transformación de datos relacionados con el clima, conjuntamente con otra información relevante, en productos adaptados a las necesidades de explotación tales como: proyecciones, predicciones y tendencias; análisis, informes y dictámenes; análisis económicos, evaluaciones (incluidas evaluaciones tecnológicas) y buenas prácticas; desarrollo y propuesta de soluciones; y cualquier otro servicio relacionado con el clima que pueda ser útil para la sociedad en general”*. Los servicios climáticos integran la información climática en la toma de decisiones, la gestión de riesgos, la planificación, las decisiones operativas...

Cualquiera de las definiciones consideradas implica la elaboración de una información adaptada a las necesidades de un agente específico y, por tanto, los servicios climáticos están claramente orientados al usuario y, por ende, al mercado. Pueden presentarse como predicciones numéricas entregadas a modo de un producto final, como estudios de diagnóstico de escenarios elaborados ad-hoc, o incluso como metodologías de generación implantadas en soporte virtual para una explotación directa por el usuario con un cierto grado de supervisión experta.

muy eficientes  
y de gran  
impacto en  
otros sectores.

Dado el impacto que el desarrollo de servicios climáticos puede tener sobre diferentes sectores estratégicos, en el marco de las estrategias de fomento de la competitividad desarrollada bajo los auspicios de la Comisión Europea, se ha identificado la necesidad de cubrir la enorme brecha existente entre las fuentes de datos climáticos disponibles, suministradas generalmente por organismos oficiales, y la información específica de valor añadido requerida por los agentes públicos y privados para rentabilizar esa información a través de su actividad y, para ello, se ha desarrollado el *European Research and Innovation Roadmap for Climate Services*.

De todo lo anterior es fácil concluir que la ingeniería civil tiene un enorme potencial de convertirse en un gran usuario de servicios climáticos. Sin embargo, la implantación de esta aplicación concreta del conjunto de oportunidades que ofrece el acceso a grandes bases de información, pasa necesariamente por la implicación de los ingenieros de caminos en la concepción e implementación de los servicios climáticos en la ingeniería civil.

Para ofrecerlos, el ingeniero ha de implicarse en el manejo

## Copernicus: La mirada de Europa sobre la Tierra

En este contexto, estamos viviendo una auténtica revolución con la aparición de grandes programas y plataformas de generación de observaciones y servicios. Un claro ejemplo es el programa Copernicus, promovido por la Unión Europea y dedicado a la observación y monitorización de la Tierra con el objetivo de analizar el planeta y su medio ambiente en beneficio de los ciudadanos europeos.

El programa Copernicus pone a disposición de administraciones públicas, empresas, centros de investigación y ciudadanos un ingente volumen de datos para ser transformados en información sobre nuestro planeta y lo hace de manera abierta y gratuita. Para ello, integra las observaciones realizadas por los satélites “Sentinels”, el primero de los cuales fue lanzado en 2014, los datos provenientes de misiones anteriores y un gran número de sistemas de medición in situ. Esta cantidad masiva de datos es la base de los servicios Copernicus, que aspiran a transformarlos mediante su tratamiento e integración con otras fuentes de datos no climáticas, para generar información de valor añadido para la agricultura, medio ambiente, energía, cambio climático, seguridad, transportes aéreo, terrestre y marítimo o planificación urbana y regional, entre otros.

del ingente volumen de datos digitales hoy disponible

Copernicus es, solo un ejemplo, aunque quizás uno de los más importantes, para mostrar las nuevas oportunidades ofrecidas a los diferentes agentes de la ingeniería civil para obtener importantes beneficios de las bases masivas de datos. Sin embargo, las plataformas de adquisición de datos son un elemento necesario, pero no suficiente. La generación de información en forma de servicios específicos pasa, entre otras cosas, por la aplicación de técnicas y metodologías desarrolladas ad hoc tales como la minería de datos.

y aplicar la minería de datos y otras técnicas, para

## Minería de datos

Todos los procesos anteriormente descritos se basan fundamentalmente en la gestión de grandes bases de datos. La extracción de la información relevante, a partir de grandes volúmenes de datos para su uso posterior en aplicaciones concretas, ha dado lugar al desarrollo de la minería de datos. Éste es un campo de la estadística y las ciencias de la computación cuyo objetivo es identificar patrones significativos en grandes volúmenes de datos obtenidos instrumental o sintéticamente.

Para ello, la minería de datos hace uso de métodos de la inteligencia artificial, el aprendizaje automático o la estadística. Estos métodos se aplican para realizar el análisis automático o semi-automático de grandes cantidades de datos con el fin de extraer patrones, generar grupos de registros de datos o clusterización, la determinación de registros poco usuales como la detección de anomalías y el establecimiento de dependencias a través de reglas de asociación. Por tanto, su aplicación en la ingeniería civil de hoy y en una ingeniería civil basada en la gestión de ingentes volúmenes de datos es esencial. La minería de datos debería pasar, por tanto, a formar parte del corpus formativo del ingeniero de caminos.

sacar patrones y ver anomalías entre grandes volúmenes de datos.

## Información climática y ciclo de vida de las Obras Públicas

Durante todas las fases de su vida útil, la Obra Pública

Para entender el potencial de los servicios climáticos en la ingeniería civil es necesario que seamos capaces de percibir la simbiosis existente entre la información climática / meteorológica y las diferentes fases del ciclo de vida de cualquiera de las Obras Públicas o actividades en el ámbito de la ingeniería civil.

La actividad de la ingeniería civil se ve afectada y muchas veces amenazada por las condiciones climáticas en diferentes escalas temporales. La generación de servicios climáticos específicos para la ingeniería civil ofrece la posibilidad de rentabilizar la disposición de información relevante y oportuna a través de la adaptación a corto, medio y largo plazo de sus actividades e inversiones a las condiciones climáticas y/o meteorológicas.

está vinculada estrechamente a los datos climáticos

Durante el estudio de viabilidad, diseño y proyecto de cualquier obra pública es esencial contar con bases de datos históricas de las variables océano-atmosféricas relevantes en series temporales de longitud suficiente (varias decenas de años) para garantizar una caracterización adecuada de las condiciones medias y extremas. Lamentablemente esta información no está siempre disponible a partir de observaciones, especialmente en muchos de los países y localizaciones en los que trabaja la ingeniería española. Eso obliga a complementar y/o sustituir los datos provenientes de observaciones, con modelos numéricos que los extiendan espacial y temporalmente a costa de una mayor incertidumbre.

Durante las fases de construcción y operación o explotación la demanda de información debe cubrir diferentes escalas temporales. Desde el nowcast, que ofrece predicciones de variables meteorológicas relevantes a horizontes de 2 o 6 horas, hasta la predicción de corto plazo que extiende estas proyecciones a días, este tipo de sistemas operacionales son sumamente útiles, por ejemplo, para la construcción de obras marítimas o fluviales o para la explotación de otras Obras Públicas.

y su manejo y funcionalidad dependen de predicciones,

Más recientemente, se ha desarrollado la predicción estacional que permite realizar predicciones a meses vista, evidentemente con un menor nivel informativo y de fiabilidad que los sistemas operacionales de corto plazo. Estos sistemas, que aún no se han implementado en aplicaciones para la ingeniería civil, pueden ser sumamente útiles para la planificación de medios y recursos a varios meses vista. Es también relevante el análisis intra-anual, es decir, aquel que analiza aspectos tales como la estacionalidad de variables relevantes tales como la precipitación o la temperatura. A más largo plazo, el análisis de la variabilidad entre décadas es también importante, especialmente por las posibles consecuencias que los patrones climáticos de gran escala pueden tener sobre las precipitaciones extremas, sequía y las consecuencias que produce sobre los intereses del sector de la ingeniería civil.

que la nueva irregularidad exige sean más precisas.

Muchas de nuestras Obras Públicas extienden su vida útil durante varias décadas y, por tanto, la ingeniería civil precisa del conocimiento necesario para entender el efecto que las variaciones climáticas de largo plazo, y más concretamente el cambio climático, puede tener sobre ellas y su explotación. Sin embargo, gran parte de la información disponible en cualquiera de las escalas temporales o espaciales requeridas, está lejos de constituir un servicio para el ingeniero de caminos si previamente no se transforma adecuadamente para ello.

## Los servicios climáticos en la ingeniería de costas y puertos

Existen algunas áreas de la ingeniería civil en las que se han dado pasos importantes para asimilar la creciente capacidad de adquirir, almacenar y gestionar datos para generar información relevante, y están empezando a hacer uso de las oportunidades que la creciente información climática y meteorológica pone a su disposición. Dentro de la ingeniería civil, la ingeniería de puertos y costas es una de las disciplinas que

ya está implementando algunos servicios climáticos, que pretenden informar las diferentes fases del ciclo de vida de cualquier infraestructura o actuación en la costa.

Así, por ejemplo, a día de hoy, la fase de diseño y proyecto incluye información climática (olas, viento, corrientes, niveles) obtenida a partir de la integración de instrumentos in situ, como boyas y mareógrafos, con datos de satélite o instrumentos virtuales obtenidos a partir de modelos numéricos de reanálisis. Ninguna de estas bases de datos es completa, pero la integración de los datos de las diferentes fuentes, permite elaborar bases calibradas y validadas de datos geolocalizados, y series temporales históricas de varias décadas. Para la caracterización climática en aguas profundas se utilizan técnicas de minería de datos que reducen la dimensión del número de datos, sin perder la información sobre los parámetros fundamentales que determinan los patrones climáticos.

En puertos y costas se ha integrado mejor la información

Contar con 60 años de datos de oleaje en boyas virtuales desplegadas a lo largo de la costa española supone contar con más de 500.000 estados de mar horarios en cada una de las boyas situadas en aguas profundas. La propagación de toda esa información hasta la costa requeriría miles de ejecuciones numéricas para estudiar cómo se transforma el oleaje desde aguas profundas hasta la bocana de un puerto.

de largas series de datos del estado del mar,

Para ello, se utilizan técnicas de minería de datos, como mapas autorganizados (SOM), que exploran e identifican dentro de la base de datos completa, cuáles son aquellos que mejor caracterizan las condiciones del mar en una ubicación determinada. Esto simplifica considerablemente la dimensión del problema al reducir la propagación de 500.000 ejecuciones a centenares. Más aún, las técnicas estadísticas permiten, a partir de este número limitado de propagaciones, reconstruir las series temporales completas de tal modo que pueden generarse boyas virtuales en la bocana de los puertos, o en cualquier ubicación en la costa, con 60 años de datos horarios. Esta información es esencial para atender a las fases de diseño y proyecto, pero también para el análisis del proceso constructivo y ofrece ya una clara ventaja en la fase de licitación para aquellas empresas que hacen un uso eficiente de esta información.

gracias a la minería y mapeado de los datos,

Durante el proceso de construcción, analizado en la fase anterior y en el que se puede obtener información sobre eventos extremos, estacionalidad de las condiciones del mar o ventanas temporales y persistencias para unas condiciones dadas, también se puede hacer uso de los sistemas operacionales de predicción inmediata (nowcast) y a corto plazo. La integración de estas predicciones a horizontes de 72 horas, con el modelado de la interacción del mar con las Obras Públicas en construcción, y con la información sobre los medios y umbrales de operación de maquinaria, permite optimizar los recursos en obra y garantizar la seguridad de las operaciones, reduciendo los riesgos e incrementando los beneficios.

para mejorar la construcción y mantenimiento de las obras, y

Una vez finalizada la obra, los sistemas operacionales que integran la información meteorológica y de las operaciones en el puerto pueden ser aplicados para optimizar su explotación, como ya se está desarrollando en puertos importantes, y proporciona un instrumento relevante para la gestión de riesgos por eventos extremos.

En el largo plazo, las consecuencias del cambio climático sobre la costa, y especialmente sobre los puertos y las obras costeras, pasa por la determinación de las proyecciones de los cambios en aquellas variables climáticas que son relevantes para las actividades portuarias. Al margen de la obligatoriedad de elaborar un plan de adaptación al cambio climático que impone la nueva Ley de Costas en los terrenos concesionados a las Comunidades Autónomas, fundamentalmente puertos, o el requisito de considerar el efecto del cambio climático en las evaluaciones ambientales, es necesario hacer énfasis sobre el hecho de que la mayor parte de los

para la gestión posterior de los riesgos a largo plazo.

bancos multilaterales y fondos que financian las Obras Públicas está introduciendo la evaluación de las consecuencias del cambio climático y los eventos extremos a lo largo de la vida útil de sus inversiones, como requisito indispensable en la planificación de nuevas Obras Públicas o en la ampliación y modificación de las existentes.

Este ejemplo que se describe aquí para el sistema portuario puedes ser fácilmente extensible a ciudades, aeropuertos, carreteras y otras grandes Obras Públicas pero, aunque existen iniciativas, la ingeniería de caminos está todavía muy lejos de sacar pleno partido de las nuevas oportunidades que se están generando.

## El camino hacia la implantación

Es evidente que la irrupción de nuevas técnicas de monitorización, la aparición de grandes programas como **Copernicus**, las capacidades de generación sintética de datos, de su almacenamiento y la gran accesibilidad a los mismos ofrecen una gran cantidad de oportunidades a la ingeniería civil. De hecho, en gran medida, supone un cambio radical en los recursos disponibles para hacer ingeniería que debe llevar a la ingeniería de caminos a cuestionarse si esta revolución requiere un replanteamiento importante de los objetivos, métodos y técnicas con los que actualmente acometemos nuestro trabajo.

En el pasado ya se han producido cambios sustanciales, como la aparición de la computación que, manteniendo los fundamentos esenciales, ha supuesto un cambio radical en la manera de afrontar la ingeniería de caminos. La profesión supo adaptarse en ese momento y trasladar esa innovación a la sociedad mejorando considerablemente nuestra capacidad de diseñar, proyectar, construir y explotar Obras Públicas de manera más eficiente y segura.

Sin embargo, estamos ante un cambio que supone mucho más que la introducción de una nueva herramienta. Por ello, es necesario preparar a nuestros profesionales y especialmente a nuestros estudiantes para hacer una transición racional y efectiva hacia la implantación de nuevas disciplinas, como '**Servicios climáticos e ingeniería civil**', que deben ser construidos durante la próxima década e integrados plenamente en nuestras regulaciones y recomendaciones, metodologías, procesos de planificación, proyecto, construcción, explotación y mantenimiento, conduciendo a una reducción de las incertidumbres y a un incremento en la seguridad y eficiencia de nuestra actividad.

Las acciones a considerar para hacer efectivas esta implementación y transición son múltiples y afectan a nuestras Escuelas, empresas y administraciones. Pero, sin duda, la generación de bases de datos masivas y los procesos para convertirlas en información útil y relevante para su aplicación en la ingeniería civil pasan por un esfuerzo colaborativo de la profesión que debe planificarse y realizarse sin pausa, dada la vertiginosa velocidad a la que se están produciendo los cambios en este campo.

Nuevos datos y técnicas proporcionan oportunidades,

pero es necesario preparar la transición

planeando un esfuerzo colaborativo de la profesión.