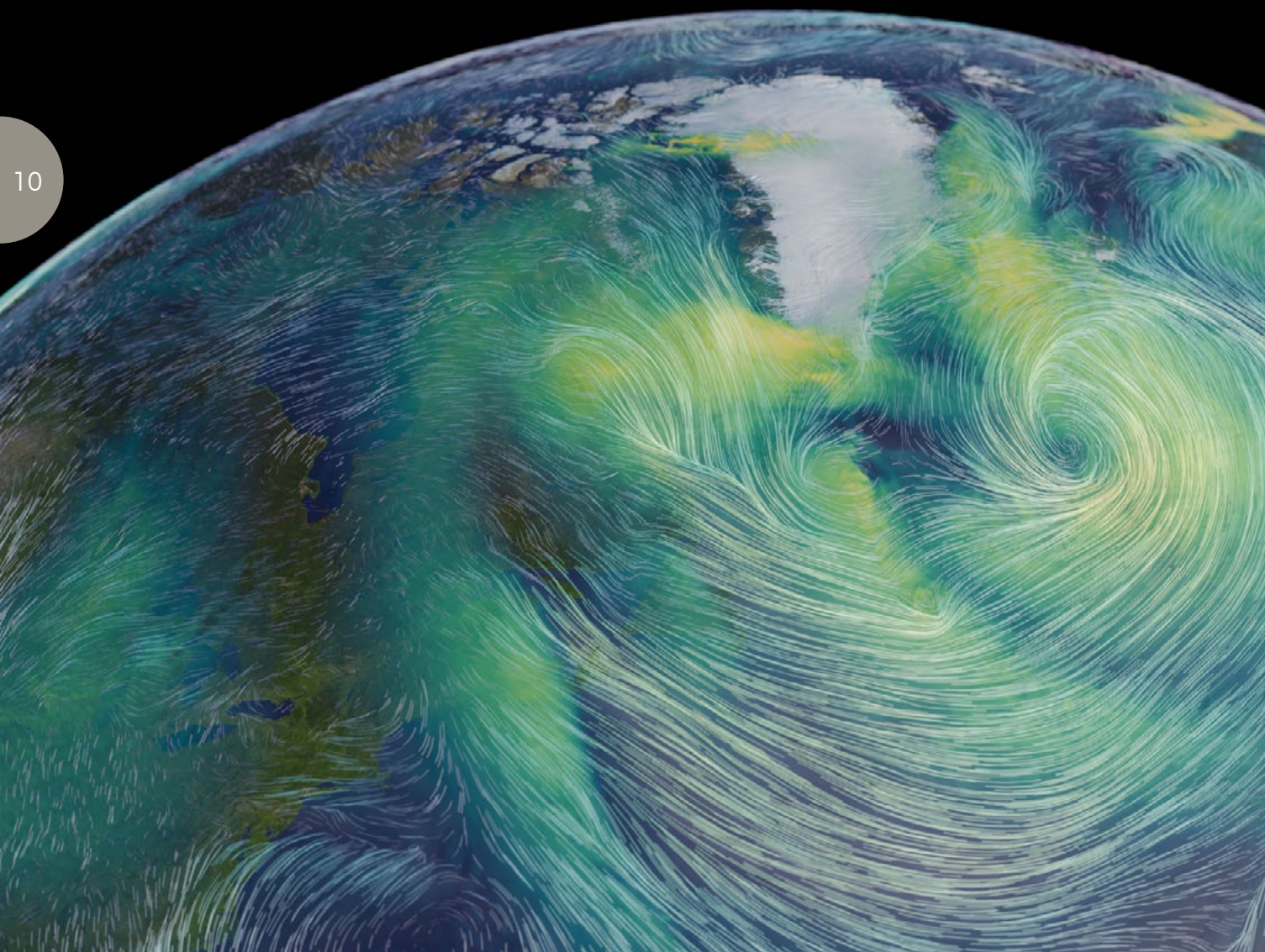


# *Modelos climáticos:*

una ventana científica  
al clima presente y futuro



10

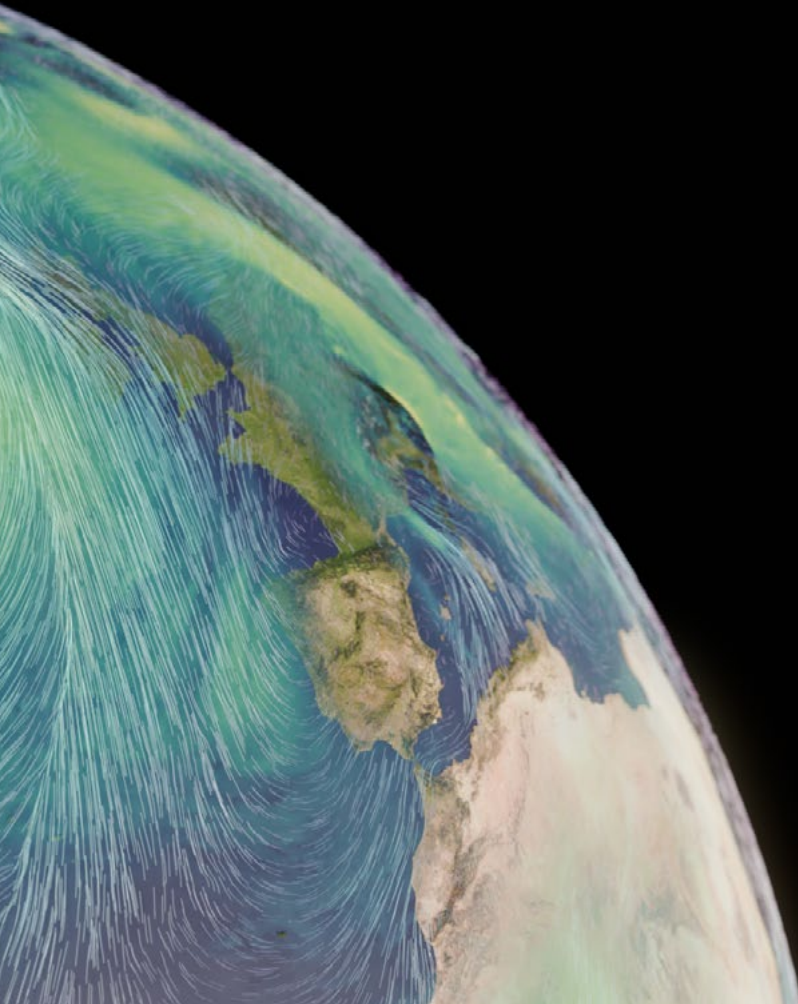
El cambio climático provocado por la actividad humana lleva muchas décadas fraguándose, pero ahora sus efectos son tan notorios que dejan en evidencia a quienes todavía se atreven a negar que esté ocurriendo. Una de las herramientas que nos ayudan a tomar medidas que nos permitan superar este reto son los modelos climáticos pero, ¿cómo funcionan? ¿dónde están? ¿qué nos enseñan? A continuación, desde el Centro Nacional de Supercomputación de Barcelona (BSC-CNS), damos respuesta a muchas preguntas sobre estas potentes herramientas de trabajo.



Paloma  
Trascasa-  
Castro



Inés  
Martín  
de Real



Oriol Tintó (BSC-CNS),  
para la iniciativa europea  
Destination Earth

Desde los inicios de la humanidad el clima ha despertado nuestra fascinación: lo hemos celebrado, honrado y temido. Ha esculpido nuestros calendarios, nuestros paisajes y nuestras culturas. La literatura, a través de leyendas y mitologías de todo el mundo, muestra hasta qué punto nuestra historia está impregnada por el clima. Conociendo sus ciclos regulares, hemos podido desarrollar la agricultura, pero también ha sido el responsable de grandes migraciones humanas e incluso del colapso de civilizaciones.

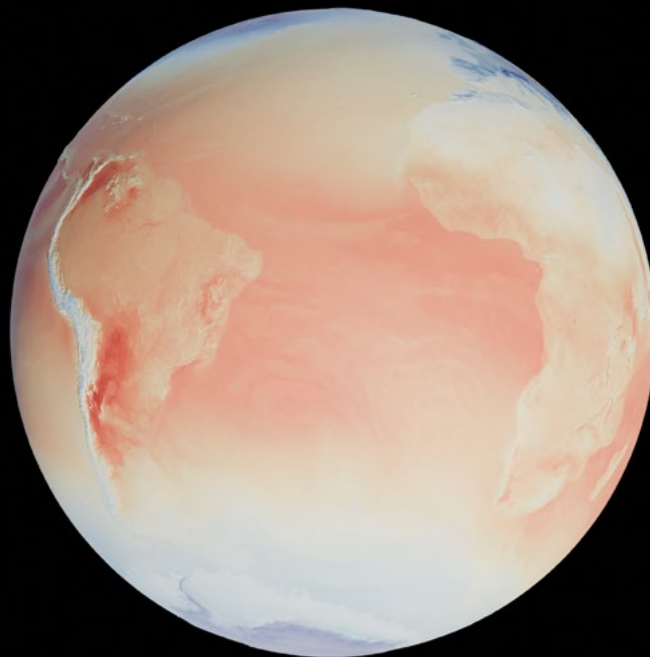
La investigación de las últimas décadas nos ha permitido entender de cerca cómo se comporta el clima y lo interconectado que está todo el planeta a través de él. Una herramienta clave para avanzar nuestro conocimiento científico de la Tierra son los modelos climáticos. Con ellos entendemos cada vez

mejor cómo opera el clima y podemos simular su comportamiento a corto o largo plazo, así como estudiar cómo podría evolucionar según distintos escenarios. Y, en un mundo que se está calentando, donde la crisis climática cada vez es más imperante, contar con este tipo de herramientas es muy relevante para anticipar y minimizar impactos negativos del clima en la sociedad.

Un modelo climático es una maqueta digital del planeta que resuelve un gran conjunto de ecuaciones que describen cómo interactúan los diferentes componentes del clima. Son tantas las ecuaciones que lo conforman, que un ordenador normal tardaría años en re-

---

Visualización de la temperatura global para la iniciativa europea Destination Earth / Oriol Tintó (BSC-CNS)



● ●  
*Contar con modelos climáticos que nos permiten entender cómo opera el clima y simular su comportamiento a corto o largo plazo es muy relevante para anticipar y minimizar impactos negativos del clima en la sociedad*

solverlas; por eso necesitamos superordenadores con mucha más capacidad de cálculo. Con este fin, los investigadores del Departamento de Ciencias de la Tierra del Barcelona Supercomputing Center - Centro Nacional de Supercomputación (BSC-CNS) utilizan el superordenador MareNostrum5. Desarrollan y ejecutan modelos climáticos del planeta entero para estudiar sus impactos en sectores como el de la agricultura, la salud o la energía, y así poder anticipar variaciones en el clima que puedan ocasionar grandes impactos. Pero mucho antes de poder crear estas maquetas digitales, tuvimos que entender qué es el clima.

El motor principal del clima es el sol. Su energía entra en la Tierra y, junto con la gravedad, transporta energía y agua por todo el planeta. La Tierra tiende siempre a estar en equilibrio, como si de un balancín se tratara. Cualquier alteración, por pequeña que sea, produce una respuesta para volver a equi-

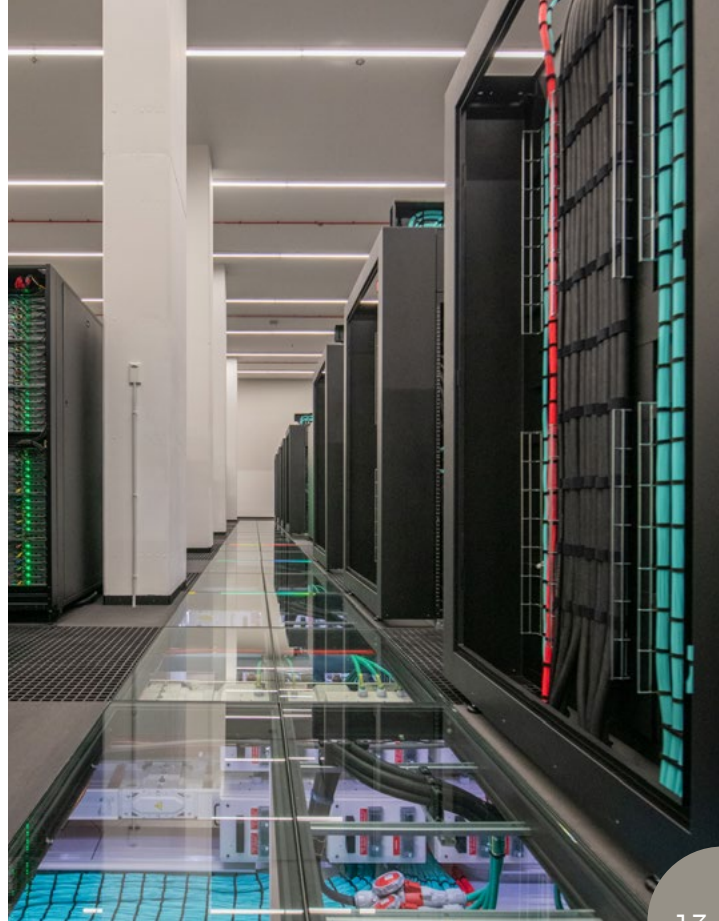


Imagen del MareNostrum5 del Barcelona Supercomputing Center / BSC-CNS

● ●  
*La Tierra tiende siempre a estar en equilibrio. Cualquier alteración produce una respuesta para volver a equilibrarse, a través de intercambios de energía y agua de un lado a otro del planeta. Es lo que conocemos como "variabilidad climática"*



Imagen del MareNostrum5 del Barcelona Supercomputing Center / BSC-CNS

14  
librarse. Este balancín natural de la Tierra se llama “variabilidad climática” y consiste en intercambios de energía y agua de un lado al otro del planeta.

La variabilidad climática a menudo opera siguiendo patrones: eventos climáticos que se repiten de manera similar y recurrente. Estos patrones son los “modos” de variabilidad climática y actúan a diferentes escalas temporales: días, meses e incluso décadas. El modo de variabilidad climática que afecta a más regiones es el de “El Niño y la Oscilación del Sur”, que consiste en cambios en el océano y la atmósfera en el Pacífico ecuatorial que dan lugar a temperaturas en la superficie del mar más cálidas (El Niño) o frías (La Niña) de lo habitual. Aunque estas alteraciones no suelen superar los tres grados centígrados,

pueden llegar a tener efectos devastadores al otro lado del planeta: desde sequías en la India o en el este de África, hasta inundaciones en Australia o cambios en la circulación de la estratosfera sobre los polos norte y sur. Y este es sólo un ejemplo de lo increíblemente conectadas que están las distintas regiones del planeta a través del clima. Todos estos procesos y la variedad climática es lo que se simula con los modelos climáticos.

● ●  
*Las distintas regiones del planeta están increíblemente conectadas a través del clima. Todos estos procesos y la variedad climática es lo que se simula con los modelos climáticos*



Desde la Revolución Industrial, hemos estado emitiendo grandes cantidades de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, y seguimos haciéndolo, contribuyendo al incremento de la temperatura global del planeta. El aumento de las temperaturas causa, a su vez, cambios en el clima de muchas regiones, y en su conjunto es lo que conocemos como “cambio climático”. Mientras que la variabilidad climática es un proceso natural, el cambio climático es de origen humano y actúa como un pulso constante que perturba todo el sistema climático. Cómo se desarrolle el cambio climático y cuáles serán sus impactos dependerán de las decisiones políticas y de las medidas de mitigación y adaptación que se adopten. La medida más eficaz para luchar contra el cambio climático es la mitigación, es decir, emitir menos gases de efecto invernadero. Para comparar distintas evoluciones posibles del cambio climático, los científicos plantean distintos escenarios socioeconómicos a los modelos climáticos.

Una duda frecuente es cómo podemos fiarnos de un modelo climático que nos ofrece información del futuro que no podemos con-



*Mientras que la variabilidad climática es un proceso natural, el cambio climático es de origen humano y actúa como un pulso constante que perturba todo el sistema climático*

tratar. Para resolverla y saber si un modelo es capaz de imitar la dinámica del planeta Tierra, se tiene que validar. La validación consiste en hacer simulaciones del clima pasado y luego comparar los resultados con datos obtenidos de observaciones reales. Esto sirve para detectar qué variables climáticas (temperatura, precipitación, etc.), qué regiones (el Sáhara, el océano Pacífico, etc.) o qué partes de la diná-

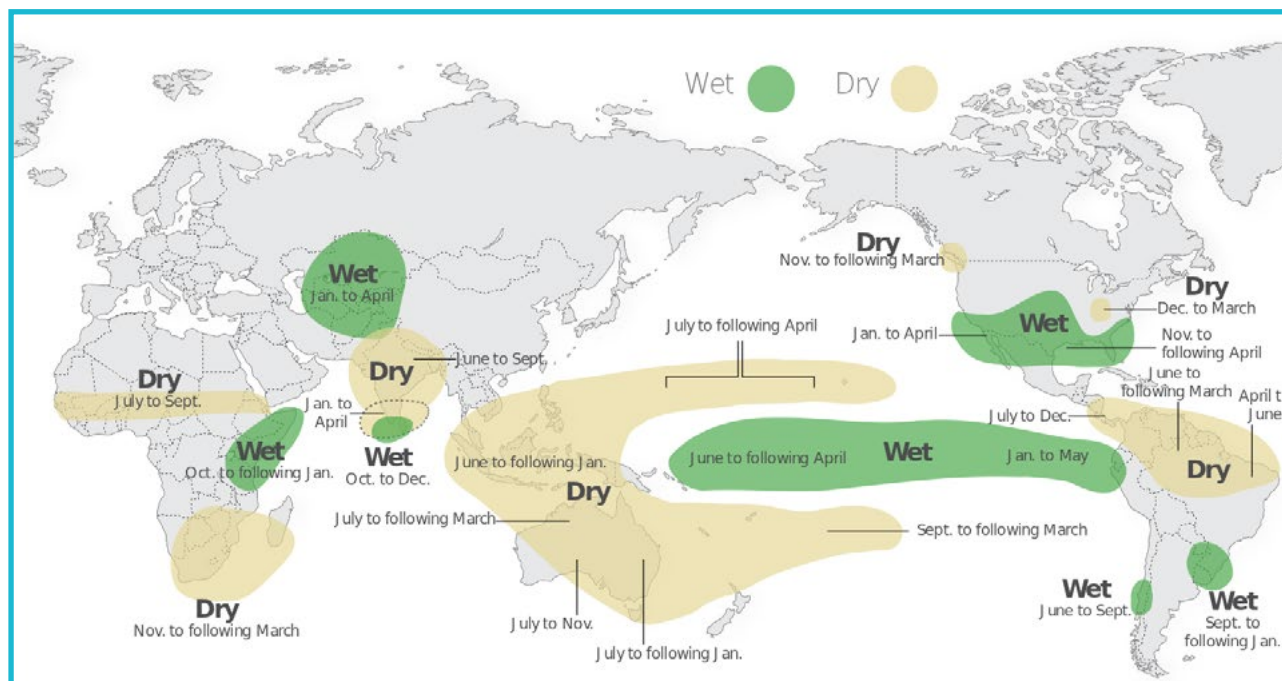


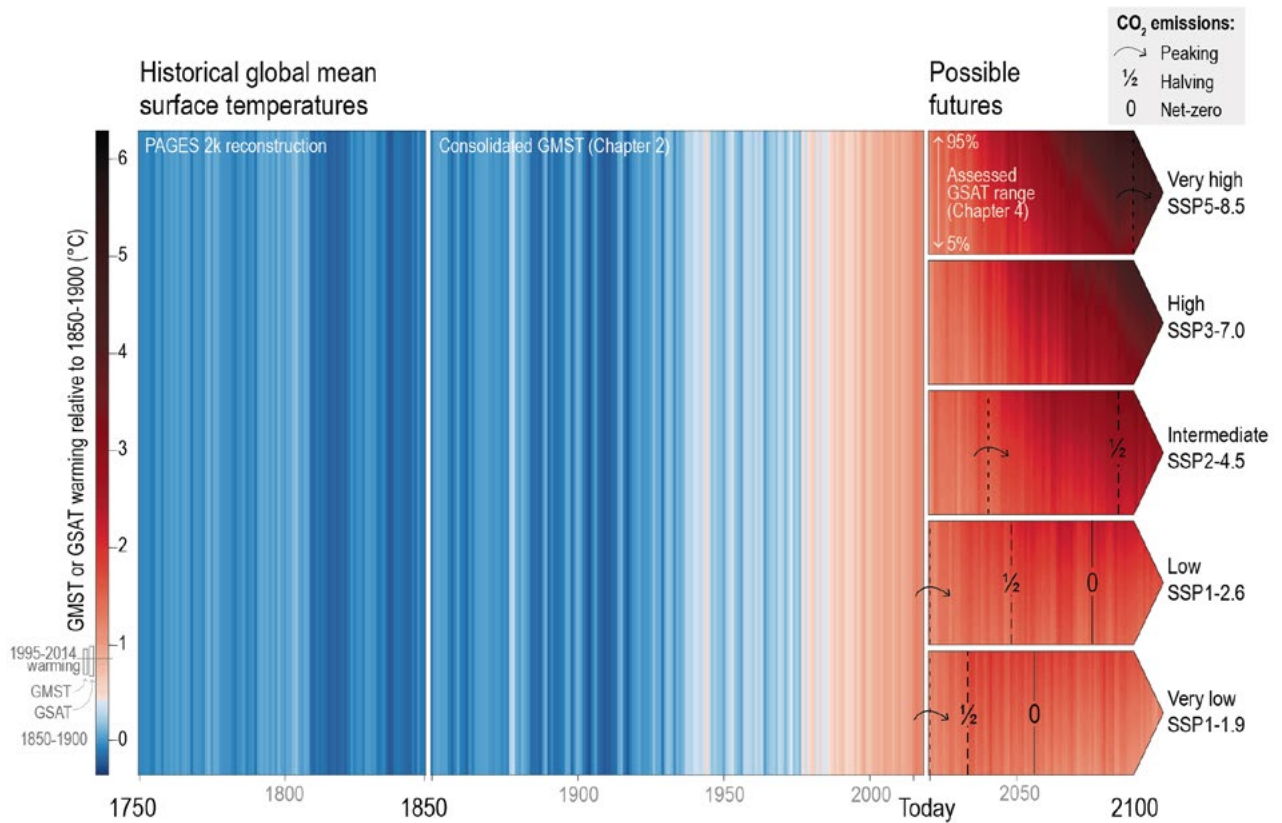
Usar muchos modelos permite simular distintos escenarios y aumentar la fiabilidad de las predicciones. Cuantas más simulaciones coincidan, más robustos y probables serán los resultados, dado el carácter caótico de la atmósfera

mica del clima (como la formación de las nubes o la circulación meridional del Atlántico) no se representan bien y hay que mejorar. Por ejemplo, si un modelo no reproduce correctamente la temperatura en la península ibérica, los científicos dedicarán más esfuerzos a entender esa parte del clima y a mejorar los modelos y sus predicciones.

Toda predicción climática tiene una incertidumbre asociada que depende del horizonte temporal. En el futuro cercano, de aquí a diez años, la mayor incertidumbre proviene de las diferencias entre los modelos, ya que cada uno representa procesos de manera un poco distinta. Por ejemplo, si simulan la circulación del Atlántico Norte de manera diferente, la duración del invierno en Europa podrá ser ligeramente distinta. A medio plazo, de aquí a 20 años, la incertidumbre se relaciona con la respuesta de la variabilidad climática al ca-

Resumen de los impactos de precipitación derivados del fenómeno de El Niño en distintas épocas del año. En amarillo, áreas en las que este fenómeno da lugar a condiciones más secas, y en verde, donde da lugar a más lluvias / Fuente





Esta imagen muestra la evolución de la temperatura media global desde 1750 hasta 2100. Los colores indican el aumento de temperatura respecto al periodo preindustrial (1850-1900): los tonos azules representan temperaturas más frías y los rojos, más cálidas. A la derecha se presentan cinco posibles futuros, según distintos escenarios socioeconómicos (SSP), que describen cómo podría evolucionar la sociedad y, con ello, las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los escenarios inferiores corresponden a fuertes medidas de mitigación y bajas emisiones, mientras que los superiores reflejan trayectorias con emisiones altas y escasa acción climática / IPCC

● ●  
*Tener más datos y poder contextualizarlos gracias a los modelos, nos permite predecir eventos climáticos, como, por ejemplo, una sequía, con más antelación o reducir los impactos del clima en la población*

lentamiento global. Se sabe cómo funciona la variabilidad climática pero aún es pronto para entender por completo cómo funcionará en un planeta más caliente.

Por ejemplo, no se sabe si el fenómeno de El Niño será más frecuente o más intenso. Otra de las variables que genera incertidumbre es saber cómo organizaremos nuestra sociedad de aquí a final de siglo, ya que los sistemas socioeconómicos que elijamos generarán resultados muy diferentes.

Con el tiempo, no obstante, los equipos científicos han logrado que los modelos climáticos sean más complejos y sus simula-

ciones más precisas y realistas. Esto se debe a que se mide el clima con más frecuencia y en más lugares. Tener más mediciones contribuye a ampliar nuestro conocimiento sobre la dinámica y los procesos climáticos. Tener más datos y poder contextualizarlos gracias a los modelos nos permite predecir eventos climáticos, como, por ejemplo, una sequía, con más antelación o reducir los impactos del clima en la población.

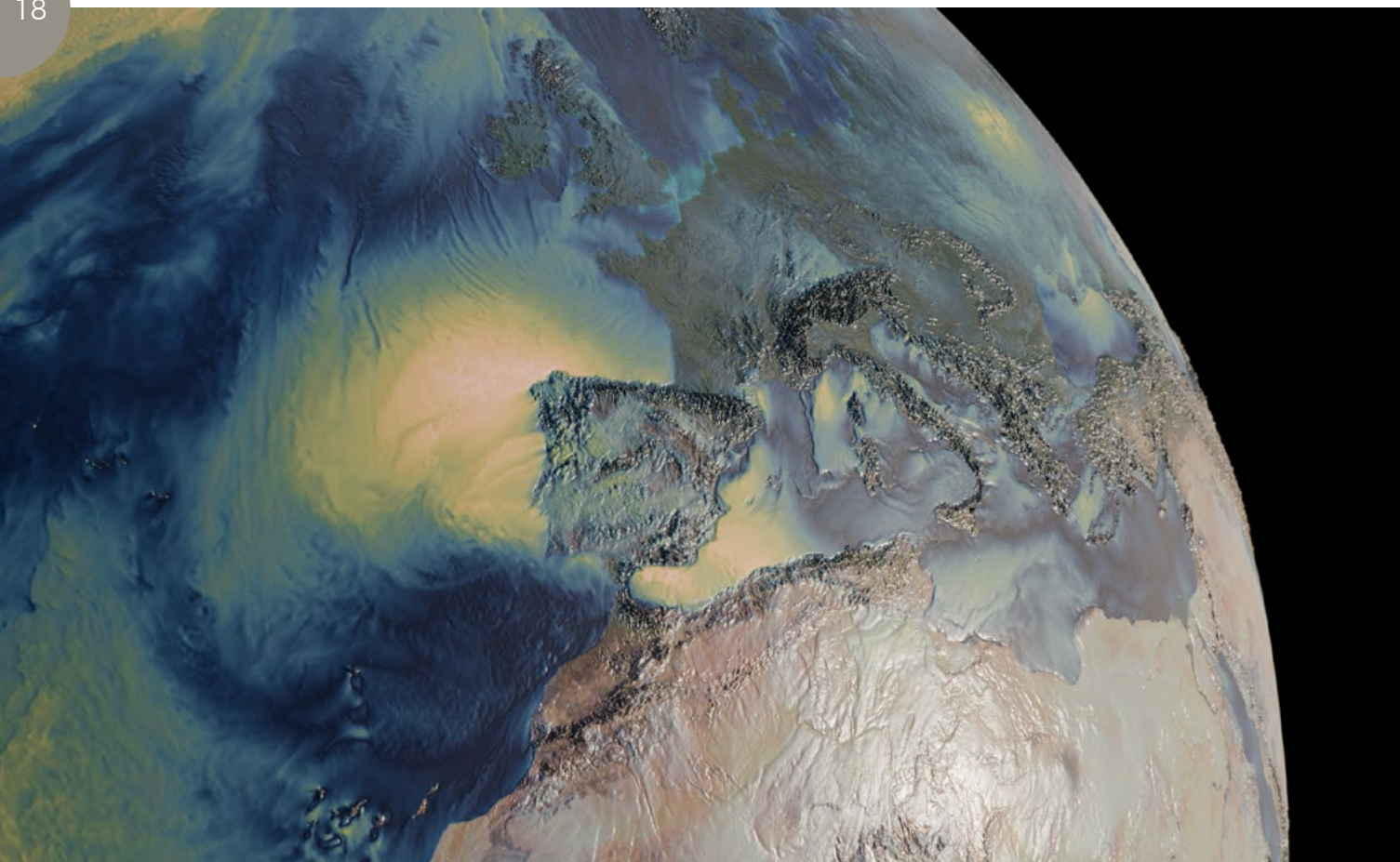
Por otro lado, la resolución espacial y temporal de los modelos ha aumentado con el rápido avance de la tecnología, y ahora son capaces de simular el clima en áreas más pequeñas, por ejemplo, en valles o incluso en ciudades.



*La sociedad tiene una gran responsabilidad, pero no partimos de cero: el conocimiento generado y las herramientas desarrolladas en las últimas décadas cimientan una base sólida para la acción*

---

Visualización de los vientos en Europa para la iniciativa europea Destination Earth / Oriol Tintó (BSC-CNS)



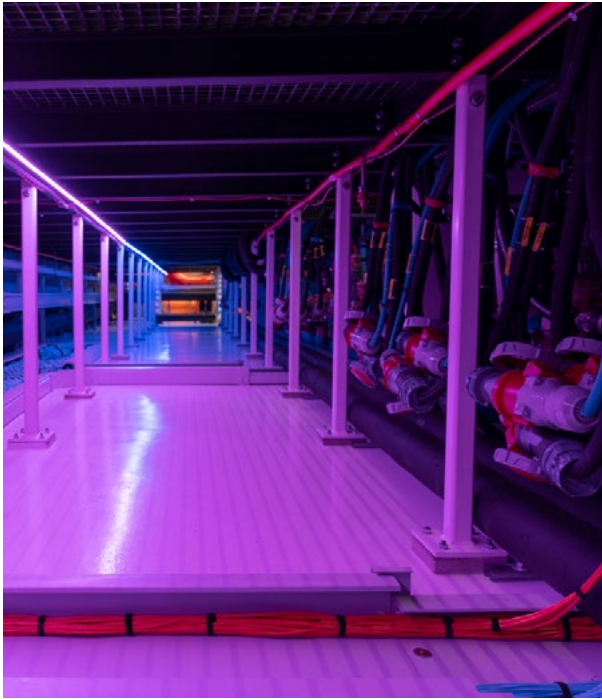


Imagen del MareNostrum5 del Barcelona Supercomputing Center / BSC-CNS

Lo mismo ocurre en el plano vertical: los modelos tienen cada vez más capas, como si fueran cebollas. De esta manera se puede conocer desde cómo se forma un cumulonimbo hasta cómo funciona el ciclo del carbono en el océano, teniendo así una imagen precisa de lo que pasa desde el océano profundo hasta las capas más altas de la atmósfera.

La comunidad científica que diseña y trabaja con los modelos climáticos es enorme. El ejemplo más importante de colaboración es el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), un organismo científico de la ONU que evalúa el conocimiento sobre las causas y los efectos del cambio climático, ofreciendo información útil para la toma de decisiones. En su último informe se utilizaron alrededor de 100 modelos climáticos diferentes, generados por 49 centros de investigación de todo el mundo, incluido el BSC-CNS. Usar muchos modelos permite simular dis-

tintos escenarios y aumentar la fiabilidad de las predicciones. Cuantas más simulaciones coincidan, más robustos y probables serán los resultados, dado el carácter caótico de la atmósfera.

Desde hace años, esta comunidad coincide en un mismo mensaje: hay que actuar rápido y cambiar nuestro sistema energético hacia las energías renovables para reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero. Los impactos del cambio climático que ya estamos presenciando, como sequías o lluvias torrenciales más frecuentes, se intensificarán. A ello se sumarán nuevas consecuencias que pueden amenazar nuestro modo de vida, convirtiendo algunas regiones del planeta en zonas totalmente inhabitables. La sociedad tiene una gran responsabilidad, pero no partimos de cero: el conocimiento generado y las herramientas desarrolladas en las últimas décadas cimentan una base sólida para la acción. Escuchemos a la ciencia y tomemos decisiones en base a información contrastada ●