

Contribuciones del Proyecto de comparación de modelos acoplados a la ciencia climática

por David Carlson¹ y Veronika Eyring²

El Proyecto de comparación de modelos acoplados (en este artículo, el Proyecto) del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC) sirve como base fundamental para la investigación climatológica internacional. El proceso representa un notable esfuerzo de coordinación técnica y científica en docenas de centros de modelización del clima e involucra a más de un millar de investigadores. Las sucesivas fases del Proyecto han respaldado y posibilitado una secuencia paralela de informes de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). El Quinto Informe de Evaluación reconoce abiertamente su sólida confianza en la fase 5 del Proyecto. Este breve resumen del diseño, objetivos previstos y progreso de la actual fase sexta del Proyecto mostrará cómo contribuye a la ciencia climática³.

Motivación y beneficios

Aunque los proyectos de comparación de modelos parecen algo habitual hoy en día, el concepto surgió por primera vez cuando los centros de modelización atmosférica de todo el mundo comenzaron a ejecutar modelos acoplados de océano y atmósfera para la predicción del clima. Pronto se reconoció la necesidad de compartir y

comparar las salidas de estos modelos. Pero resultaba más fácil decirlo que hacerlo: se requería un conjunto organizado y duradero de protocolos y mecanismos para este fin, así como un proceso para desarrollar y mantener la coordinación y las herramientas de comparación necesarias. Como respuesta, el Grupo de trabajo sobre la elaboración de modelos combinados del PMIC inició el Proyecto de comparación de modelos acoplados. Desde el principio, el apoyo del Programa sobre diagnóstico y comparación de modelos climáticos⁴ permitió al Proyecto desarrollar formatos y normas, así como la creación de mecanismos eficaces para facilitar la disponibilidad de las salidas de los modelos.

Desde 1995, el Proyecto ha apoyado a los centros de modelización y a un extenso número de investigadores y usuarios de modelos en la realización de análisis y comparaciones de experimentos con modelos climáticos de vanguardia bajo protocolos comunes. Al mismo tiempo que proporciona una base útil y accesible para la realización formal de evaluaciones externas por parte del IPCC y otros, el Proyecto ha demostrado desde su inicio dos beneficios paralelos para la comunidad científica del clima:

- Progresos en el desarrollo técnico de los propios modelos, promovidos por el intercambio y la comparación, y acompañados de formatos consensuados para el intercambio y de métricas para la comparación.
- Capacidad para explorar de forma sistemática (mediante el diagnóstico de modelos, medias de conjuntos o comparaciones cruzadas) aspectos específicos del sistema climático como las nubes, la circulación oceánica profunda o el ciclo de carbono.

¹ Director del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas, cofinanciado por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura), el CIUC (Consejo Internacional para la Ciencia) y la OMM

² Centro Aeroespacial Alemán

³ Resumen del diseño experimental y organización de la fase 6 del Proyecto de comparación de modelos acoplados, de Eyring y otros, 2015

⁴ Ministerio de Energía (Estados Unidos)

Los procesos del Proyecto promueven expresamente el uso compartido de conocimiento especializado en programas y equipamiento informáticos, así como intercambios entre usuarios de modelos y la comunidad científica. Tienen además el valor añadido de minimizar la duplicación de esfuerzos y de reducir la demanda de recursos operativos y computacionales, algo que es muy apreciado por los centros individuales y por el colectivo de la comunidad en un contexto de recursos limitados.

Retos de la fase 6 del Proyecto

Las necesidades del Proyecto y los retos que afronta, en particular su fase 6, han aumentado. Cada vez es mayor el número de centros que ejecutan más versiones de más modelos, y de una complejidad creciente. Un modelo moderno del sistema Tierra podría contener ahora una química atmosférica completa, procesos terrestres activos –incluyendo crecimiento y declive de la vegetación– y un ciclo de carbono interactivo en la tierra y en el océano. Sigue siendo muy difícil ejecutar con la máxima resolución los modelos del sistema Tierra con todas estas mejoras, pero la lista de salidas necesarias y deseadas de los modelos para apoyar la toma de decisiones relacionadas con el clima ha crecido enormemente mientras la resolución básica ha mejorado.

Algunas configuraciones de modelos de la fase 6 del Proyecto se ejecutarán con resoluciones globales de 25 km, lo que mejora la resolución regional de hace apenas unos años. La ejecución de estos modelos requiere de ingentes recursos computacionales mientras que archivar, documentar, categorizar, mantener y distribuir los terabytes (aumentando a petabytes) de las salidas del modelo supone un desafío a la capacidad y a la creatividad de los centros de datos de mayor tamaño y de las redes más rápidas.

Durante el diseño de la fase 6, el Grupo del Proyecto de comparación de modelos acoplados –un grupo de revisión integrado por científicos internacionales– llevó a cabo un riguroso estudio del rendimiento pasado y de las necesidades futuras. Se escuchó con atención a los clientes, en este caso, los centros de modelización y los usuarios de investigación. Teniendo en cuenta las fases previas del Proyecto, especialmente la evolución desde la fase 3 hasta la fase 5, se evaluaron las estrategias y prácticas que habían impulsado o limitado la consecución de progresos sustanciales en la pericia de los modelos y en el conocimiento científico. A partir de esta consulta, el Grupo definió cinco objetivos para la fase 6 del Proyecto de comparación de modelos acoplados:

- facilitar la relación y las comparaciones entre los distintos proyectos de comparación de modelos en el seno de la fase 6 del Proyecto y asegurar la coherencia entre las fases del mismo;
- capacitar a la comunidad investigadora para que proporcione a los centros de modelización un resumen de las actividades preferentes de la fase 6 del Proyecto en base a su prioridad científica;
- permitir a los grupos de modelización poner en marcha programas autónomos de desarrollo y experimentos de investigación desvinculados –aunque aún pertinentes– de un plazo único de entrega del IPCC;
- reforzar el conjunto de actividades del proyecto de comparación de modelos englobándolas en un marco de trabajo científicamente coherente, orientado a la mejora del resultado colectivo; y
- alcanzar todo lo anterior mediante un proceso abierto e inclusivo.

El diseño de la fase 6 del Proyecto, a medida que evoluciona y se ejecuta hasta la fecha, alcanza estos objetivos mediante cambios fundamentales en sus procesos y procedimientos y adoptando los grandes retos científicos⁵ del PMIC como envolvente de su marco de trabajo científico.

Operaciones continuas y flexibles

Para evitar la alternancia entre prisas y retrasos previos a un plazo de entrega fijado, la fase 6 del Proyecto permite a los centros de modelización poner en marcha versiones mejoradas de los modelos y realizar experimentos del Proyecto cuando lo crean conveniente. Para ello, habrán de completar y entregar los experimentos de diagnóstico, evaluación y caracterización del clima y la simulación histórica de la fase 6 del Proyecto de acuerdo con las especificaciones, a modo de certificación de sus capacidades e intenciones en el Proyecto y como “tarjeta de entrada” en dicha fase 6.

La fase 6 del Proyecto tiene acceso desde abril de 2016 a conjuntos de datos históricos de forzamientos, incluyendo emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero, cambios en el uso del suelo y variaciones solares y estratosféricas (aerosoles volcánicos, ozono), lo que permitirá a los centros de modelización empezar a ejecutar muy pronto experimentos de tarjeta de entrada en dicha fase 6.

A finales de 2016 se dispondrá de los datos de forzamientos para proyecciones climáticas futuras procedentes de

⁵ www.wcrp-climate.org/grand-challenges

Miembros del Grupo del Proyecto de comparación de modelos acoplados

- Veronika Eyring (Presidenta del Centro Aeroespacial Alemán)
- Sandrine Bony (Centro Nacional de Investigación Científica, Francia)
- Jerry Meehl (Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas, Estados Unidos de América)
- Catherine Senior (Servicio Meteorológico del Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte)
- Bjorn Stevens (Instituto Max Planck de Meteorología, Alemania)
- Ron Stouffer (Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos, Estados Unidos de América)
- Karl Taylor (Programa sobre diagnóstico y comparación de modelos climáticos, Estados Unidos de América)

la comunidad de evaluación integrada de la modelización, lo que permitirá que los experimentos de proyección climática se inicien desde ese punto. La mayoría de los experimentos de comparación de modelos respaldados por la fase 6 del Proyecto tendrán lugar en el período 2017-2018 y los resultados basados en los análisis de las salidas de esa fase 6 comenzarán a aparecer entre 2018 y 2020, a tiempo para contribuir al Sexto Informe de Evaluación del IPCC.

Protocolos coherentes y duraderos para los modelos

La diagnóstico, evaluación y caracterización del clima y la simulación histórica de la fase 6 del Proyecto surgen como consecuencia de la sólida base de las fases previas de este último. Además, muy probablemente representan con exactitud los experimentos que la mayor parte de los grupos de modelización usan, o usarán, para probar y evaluar sus versiones de modelo más recientes. Téngase en cuenta que, a efectos de la fase 6 del Proyecto, el clima futuro comenzó en 2015; y de cara a las futuras fases, cabe esperar que los protocolos para la diagnóstico, evaluación y caracterización del clima y la simulación histórica del Proyecto se mantengan coherentes. De esa manera, más que imponer barreras computacionales o de rendimiento, tanto la diagnóstico, evaluación y caracterización del clima como la simulación histórica contribuirán a fomentar la coherencia entre modelos y de una fase a otra.

Mejora de la normativa y la documentación

El impulso para una mejora en la normativa y la documentación surge internamente debido a la creciente complejidad de los modelos y externamente cuando se reconoce que un número cada vez mayor de usuarios ajenos a la comunidad de modelización del clima quiere tener acceso a los datos del Proyecto de comparación de

modelos acoplados. El Proyecto trabaja estrechamente con el Comité de infraestructura del Grupo de trabajo sobre la elaboración de modelos combinados del PMIC para establecer y promulgar los requerimientos, los formatos y las especificaciones de los productos de salida, la documentación del modelo y las simulaciones, y los sistemas de archivo y acceso. Estas directrices y normas, unido a la viabilidad a largo plazo del proceso global del Proyecto, han contribuido a desarrollar en paralelo los datos y la infraestructura de evaluación. Un esfuerzo adicional facilitará la ejecución de los paquetes de análisis aceptados cada vez que un servidor de archivos registre un nuevo producto del Proyecto.

El uso rutinario de estas herramientas y patrones de diagnóstico facilitará en gran medida las evaluaciones sistemáticas de los modelos como parte de posteriores evaluaciones. Las normas y especificaciones del Proyecto han hecho posible un sustancial esfuerzo de ensamblado de datos, enfocado en la recopilación y conversión de observaciones y productos de reanálisis en formatos accesibles (en el sentido del Proyecto) para su uso en la evaluación de modelos. Estos trabajos de evaluación de modelos aumentarán y se acelerarán durante la fase 6. Las herramientas y fuentes de datos basadas en la comunidad del Proyecto potencian fundamentalmente el progreso en el desarrollo de los modelos y la exploración científica.

Enfoque científico deliberado

A la luz de la creciente complejidad de los modelos individuales, del aumento de centros de modelización ejecutando más versiones y del número compartido de proyectos de comparación de modelos dentro y fuera del Proyecto, el Grupo quiso afianzar el doble papel del mismo: avanzar en el desarrollo de modelos y en la investigación climática.

A la hora de evaluar los más de 30 proyectos de comparación de modelos propuestos para el Proyecto, el Grupo

consideró la relevancia de cada uno de ellos ante las tres preguntas básicas formuladas por la fase 6:

- ¿Cómo responde el sistema Tierra al forzamiento?
- ¿Cuáles son los orígenes y las consecuencias de los sesgos sistemáticos del modelo?
- ¿Cómo pueden evaluarse los cambios del clima futuro teniendo en cuenta la variabilidad climática, la predictibilidad y la incertidumbre en los escenarios?

Estas cuestiones sirven como base para la mejora del modelo en relación con los siete grandes retos científicos del PMIC. El Grupo combinó, ajustó y revisó las 30 propuestas para llegar a una lista "final" de 21 proyectos de comparación de modelos respaldados por la fase 6 del Proyecto. Todos ellos suscribían un acuerdo de 10 o más centros de modelización que se comprometían a ejecutar todos los experimentos de alta prioridad (nivel 1) especificados por el proyecto de comparación de modelos y a producir toda la información y salidas de diagnóstico requeridas.

Esta convergencia entre los objetivos del proyecto de comparación de modelos y los compromisos con los centros de modelización no sucedió de manera automática ni espontánea. Es una señal clara de que el proceso del Proyecto está, y continuará estando, centrado en cuestiones de alta relevancia científica que son consecuencia de los grandes retos científicos del PMIC y que contribuyen a su cumplimiento. Obviamente, los proyectos de comparación de modelos personalizaron sus objetivos y demandas en base a las prestaciones esperadas de los modelos pero, a través de este proceso, los centros de modelización participaron directamente en el diseño de la dimensión y el enfoque científico de la fase 6 del Proyecto.

Para ganar respaldo y ayudar a la fase 6 del Proyecto y a los centros de modelización a establecer prioridades y realizar un seguimiento de los progresos, todos los proyectos de comparación de modelos especifican sus actividades de alta prioridad (nivel 1). La mayor parte de ellos asumen listas más largas de experimentos opcionales y recomendados. Trabajando conjuntamente con la comunidad de evaluación integrada de la modelización, la fase 6 del Proyecto especificará "rutas socioeconómicas compartidas" en estrecha (y cuantitativa) conexión con las "rutas de concentración representativas" de la fase 5. La fase 6 da además un paso decidido hacia la mejora de la comunicación con las comunidades responsables de las evaluaciones, la adaptación y los servicios mediante la creación de un comité asesor de vulnerabilidad, impactos y adaptación, y de servicios climáticos.

Los recursos computacionales disponibles no bastan para cubrir completamente las aspiraciones analíticas y experimentales de la fase 6 del Proyecto. El PMIC espera que un proceso metódico del Proyecto fomente la eficiencia y al mismo tiempo estimule el interés y los recursos adicionales. Hacia 2011, Jerry Meehl, del Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas de los Estados Unidos de América, escribió que la fase 5 del Proyecto representaba "el más ambicioso experimento multimodelo coordinado sobre cambio climático jamás intentado". Hoy en día, la amplitud y la ambición de la fase 6 ofrecen un nuevo y extraordinario estándar de la ciencia climática multidisciplinar y un nuevo nivel de desafío en la coordinación.

Resumen

La fase 6 del Proyecto de comparación de modelos acoplados prevé e impulsa un paquete coherente y duradero de actividades básicas, unas mejores herramientas y mecanismos para el acceso y el análisis, y un impacto amplio y con enfoque científico a la vez. Establece un ejemplo notable de carácter inclusivo, transparencia y acceso abierto a su información y productos. Funciona casi enteramente mediante la coordinación, la colaboración y la cooperación. Aunque la comunidad meteorológica entiende los modelos globales (atmosféricos) y el intercambio rápido de datos de alta calidad y salidas de modelos, la empresa del Proyecto supera a la predicción numérica del tiempo en complejidad y en volumen de datos.

La mayor parte de la coordinación y colaboración es llevada a cabo por climatólogos voluntarios. No conocemos otra comunidad de modelos, desarrolladores de modelos e investigadores en el mundo de la física, la medicina, la economía, la energía o el armamento, que realice una tarea tan grande de comparación e intercambio y que mantenga un esfuerzo tan notable en la motivación de la comunidad.

La respuesta del Proyecto merece reconocimiento y admiración en la comunidad científica. La amplitud y la ambición de la fase 6 del mismo ofrecen un nuevo y extraordinario estándar de la ciencia climática multidisciplinar y un nuevo nivel de desafío en la coordinación. Puesto que la atención se centra cada vez más en los impactos del cambio climático, el proceso y los productos del Proyecto de comparación de modelos acoplados representarán una de las fuentes más robustas y fiables de información climática para la sociedad.

Las referencias están disponibles en la versión en línea.