

Creación de capacidad en la evaluación de modelos y en el apoyo a la toma de decisiones del CORDEX



por Kim Whitehall^{1,3}, Chris Mattmann^{1,2,4}, Duane Waliser^{1,2}, Jinwon Kim², Cameron Goodale¹, Andrew Hart¹, Paul Ramirez¹, Paul Zimdars¹, Dan Crichton¹, Gregory Jenkins³, Colin Jones⁵, Ghassam Asrar⁶, Bruce Hewitson⁷

Los informes de evaluación del clima en los ámbitos estatal, nacional e internacional son importantes a la hora de ofrecer una base científica que permita comprender y evaluar los impactos de la variabilidad climática y del cambio climático en sectores económicos tales como la agricultura y la alimentación, los recursos hídricos, la energía y el transporte. Las proyecciones del clima futuro basadas en modelos constituyen un elemento central de los informes de evaluación, pues no solo anticipan los indicadores físicos del clima futuro sino que también proporcionan indirectamente información acerca de los impactos sociales de estos cambios. Las citadas proyecciones son, por lo tanto, una fuente clave de información científica para abordar la política climática, los temas de adaptación, los planes de mitigación y las estrategias de gestión del riesgo.

Estas proyecciones climáticas cuantitativas se basan normalmente en conjuntos de modelos climáticos regionales y globales de múltiples componentes y con acoplamiento dinámico. Para aumentar la confianza en estas proyecciones futuras es de suma importancia llevar tanto como sea posible las simulaciones de los climas pasados y presentes de los modelos al examen de los datos empíricos. Aunque en las últimas dos décadas se han realizado valoraciones y experimentaciones sistemáticas multimodelo en muchos aspectos de las evaluaciones globales, por ejemplo por parte del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el desarrollo y la aplicación de infraestructuras para los modelos regionales se ha visto algo limitada debido a la falta de coordinación internacional. El Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC) creó el Experimento coordinado sobre reducción de escala de modelos climáticos regionales (CORDEX; Giorgi y otros, 2009, Jones y otros, 2011) con objeto de facilitar tal coordinación para la regionalización de los modelos climáticos. Un requisito importante del experimento CORDEX es

mejorar el acceso a las observaciones climáticas a largo plazo y de buena calidad para utilizarlas en la evaluación de las proyecciones climáticas regionales. La Figura 1 (véase la página 30) muestra esquemáticamente el papel de los modelos y de las observaciones, y las conexiones entre modelos globales y regionales, en la fundamentación de las decisiones relacionadas con los impactos climáticos.

Para alcanzar este objetivo del CORDEX y dada la necesidad prioritaria de las proyecciones regionales, el Laboratorio de propulsión a chorro (JPL), del Instituto de tecnología de California, y su Instituto regional mixto de ingeniería y ciencias del sistema Tierra (JIFRESSE), con la Universidad de California, Los Ángeles (UCLA), han desarrollado el Sistema de evaluación de modelos climáticos regionales (RCMES). Esta es una de las actividades de evaluación regional que promueve el PMIC y que se concentran en 10 regiones de dimensión continental, por ejemplo África, Asia del Sur, América Central, Ártico o Australia. En paralelo el PMIC, en colaboración con otros programas y organizaciones afines, está creando una red de expertos regionales para llevar a cabo dichas evaluaciones y en último término asesorar en la interpretación de las evaluaciones climáticas fundamentadas científicamente a las instancias decisorias en los sectores económicos de interés en cada región.

El objeto de este artículo es presentar el sistema RCMES a las más amplias comunidades de modelización del clima y de asesoramiento en la toma de decisiones, reconociendo que el Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC) ofrece una gran oportunidad para conseguir un mayor uso del RCMES.

Cómo afrontar las necesidades derivadas de la modelización climática

El éxito en la teledetección y en la modelización climática da lugar a la generación de enormes cantidades de datos en muchos centros de observación y modelización meteorológica/climática distribuidos por todo el mundo. Estos conjuntos de datos tienen formatos, resoluciones y cobertura territorial diferentes. Como ejemplo, el volumen total de datos del Proyecto de comparación de modelos acoplados fase 3 (CMIP3), que sirvió de apoyo al Cuarto informe de evaluación del IPCC: Cambio climático 2007 (AR4) fue de decenas de terabytes, mientras que se espera

¹ Laboratorio de propulsión a chorro, Instituto de tecnología de California
² Instituto regional mixto de ingeniería y ciencias del sistema Tierra de la Universidad de California, Los Ángeles (UCLA)
³ Universidad Howard
⁴ Universidad del Sur de California
⁵ Instituto Meteorológico e Hidrológico de Suecia
⁶ Programa Mundial de Investigaciones Climáticas, OMM
⁷ Universidad de Ciudad del Cabo

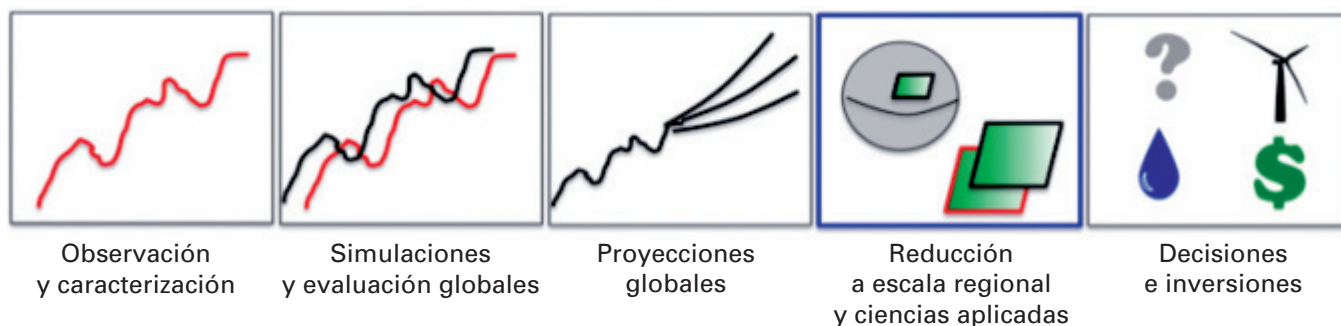


Figura 1 – Esquema en el que las observaciones (rojo) y los modelos globales y regionales (negro) juegan papeles clave en la cuantificación de los impactos climáticos y en el desarrollo de proyecciones climáticas; un proceso que se realiza normalmente de izquierda a derecha, con el objeto de alcanzar en el extremo derecho un proceso de toma de decisiones debidamente informado. El recuadro azul resalta el área en el que se centra este artículo.

que el Proyecto de comparación de modelos acoplados fase 5 (CMIP5) necesite unos cuantos petabytes, esto es, órdenes de magnitud mayor en tamaño y en complejidad. Igualmente, la cantidad de datos de satélite, como muestran los sucesivos lanzamientos del Sistema de observación de la Tierra (EOS), ha crecido casi dos órdenes de magnitud desde 1997 a 2005. Así pues, el almacenamiento, la distribución y el procesamiento de estos grandes conjuntos de datos, manteniendo a su vez su integridad y las oportunas capacidades de gestión del flujo de trabajo, se han convertido en un reto importante para los climatólogos y para otros usuarios.

Históricamente, la comunidad dedicada al estudio del clima mundial ha compartido públicamente los conjuntos de datos y las metodologías para manejarlos y analizarlos entre sí a través de numerosos portales como, por ejemplo, el de los Centros de archivos activos distribuidos (DAAC) de la NASA para los datos de satélite o el de la Guía de datos climáticos de la Corporación universitaria para la investigación atmosférica (UCAR) para muchos conjuntos de datos registrados en un lugar o provenientes de modelos numéricos.

Los climatólogos han abordado algunos de los retos anteriormente citados desarrollando infraestructuras sistemáticas para la comparación y la experimentación de los modelos. Ejemplos representativos son el Proyecto de intercomparación de modelos atmosféricos (AMIP; Gates y otros, 1999) de principios de la década de 1990, seguido del Proyecto de comparación de modelos acoplados (CMIP; Covey y otros, 2003). Este último sirvió como modelización base para los informes de evaluación del IPCC bajo los auspicios del PMIC. De hecho, el éxito de los primeros CMIP exigió soluciones de la tecnología de la información (IT) de una mayor adaptabilidad y capacidad para abordar las necesidades de almacenamiento y de distribución, en particular a partir del CMIP3. Con tal objeto se eligió y posteriormente se desarrolló la Federación de redes de datos climáticos del sistema Tierra (ESGF; Williams y otros, 2009), patrocinada principalmente por el Departamento de Energía de Estados Unidos de América. El éxito de dicha iniciativa se ha considerado significativo, ya que ha satisfecho las necesidades de terabytes del CMIP3 y ahora, de un modo más distribuido y eficaz, las necesidades de petabytes del CMIP5.

Además de la necesidad de infraestructuras sistemáticas para la experimentación de los modelos y de capacidades

relacionadas con las IT para llevar a cabo evaluaciones e intercomparaciones de los modelos climáticos globales, se requieren algunos patrones comunitarios para las métricas de evaluación. Es crucial disponer de tales métricas estándar, aceptadas por la comunidad, para medir y hacer un seguimiento del desarrollo de los modelos así como para proporcionar medidas generales y no sesgadas de la pericia de dichos modelos. Aunque los colectivos dedicados a la predicción meteorológica han adoptado y usado métricas de pericia normalizadas desde hace algún tiempo, estas solo se han fomentado recientemente en el seno de la comunidad de la modelización del clima. Ejemplos notables de esto último son el Grupo de trabajo sobre la oscilación Madden-Julian (p. ej. Waliser y otros, 2009) y el Grupo de métricas climáticas, patrocinados conjuntamente por los Grupos de trabajo sobre la elaboración de modelos combinados (WGCM) y sobre experimentación numérica (WGNE) con objeto de definir un conjunto de métricas multivariante y multiproceso para modelos climáticos (p. ej. Gleckler y otros, 2008). Un objetivo primario para la aplicación de tales métricas son los CMIP.

El nuevo foco en las necesidades del clima regional

Los recursos, capacidades e infraestructuras que se han reunido para servir a la comunidad de modelización global la acercan a las metas de mejorar la fidelidad de los modelos climáticos y de las proyecciones resultantes de los mismos. Gracias a estas últimas los usuarios dispondrán de mejores evaluaciones sobre los impactos, las vulnerabilidades y los riesgos climáticos en los principales sectores económicos mundiales. Sin embargo, en respuesta a una petición urgente, formulada por los países participantes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), de poner a disposición de las instancias decisorias información climática por regiones, desde la escala estacional a la decenal, se han llevado a cabo importantes esfuerzos en forma de programas de coordinación de la investigación a nivel internacional como en el caso del PMIC.

Esto se pone de manifiesto al incorporar las predicciones y proyecciones climáticas regionales y decenales al diseño experimental del CMIP5 y a la estructura CORDEX. El CORDEX proporciona un marco común que permite entender experimentos de regionalización sistemáticos a partir de las proyecciones del CMIP5 a escala decenal o

secular. Este marco coordinado contribuye en gran medida al difícil reto, y proceso de múltiples etapas, de realizar proyecciones climáticas bien preparadas y traducir la información resultante a un formato comprensible para los usuarios e instancias decisorias finales.

Los avances a la hora de facilitar el desarrollo, el almacenamiento y el acceso de datos de los modelos numéricos no han eliminado los formidables recursos computacionales necesarios para evaluar y analizar dichos datos, los cuales normalmente también implican recursos igualmente idóneos para las observaciones y sus bases de datos. Dado que se requiere una resolución espacial mucho mayor, las tareas de almacenamiento y difusión de las salidas de los modelos regionales son tan exigentes como las de los modelos globales, y eso a pesar del ahorro que supone una cobertura de área limitada. La ESGF ha identificado este problema como un importante reto por afrontar en sus futuras actividades. Aunque sus incipientes recursos se están aplicando al problema regional, existen todavía lagunas importantes para proporcionar a los usuarios finales información sobre proyección/cambio climático basada en modelos:

- disponer de observaciones y de salidas de modelos suficientemente próximas en forma/formato y accesibilidad para facilitar un medio viable de obtener capacidades robustas de evaluación de modelos a partir de las que resulten proyecciones/evaluaciones del clima futuro creíbles, y de las cuales se espera que surjan mejoras en los modelos numéricos;
- al igual que para los modelos globales, hay necesidad de un conjunto robusto de métricas para la evaluación de modelos estándar;
- reconociendo que el problema regional está fuertemente unido a temas de asesoramiento a la decisión y a cuestiones a nivel local, estos recursos deben estar disponibles en los ámbitos locales y no ser solo accesibles a los institutos, las universidades y los laboratorios de alto nivel; esta es una cuestión importante pues muchas de las naciones y comunidades que no tienen la capacidad institucional de producir o manejar grandes masas de datos se encuentran entre las más susceptibles a la variabilidad del clima y al cambio climático (IPCC, 2007).

El esfuerzo por desarrollar el RCMES (véase el apartado de Agradecimientos) proviene del conocimiento combinado y especializado en la ciencia del clima, la modelización regional, la teledetección, y diversas áreas de la tecnología de la información, que incluyen el almacenamiento, el procesamiento, la distribución y la visualización de conjuntos de datos masivos. El objetivo general del RCMES es proporcionar un sistema de información climática, con base científica, que esté bien cimentado en los recursos y en las herramientas tecnológicas más vanguardistas y que sea utilizable por una variada comunidad regional en estaciones de trabajo asequibles, con capacidad de comparar salidas de modelos climáticos con conjuntos de datos de observación de alta calidad, usando herramientas computacionales existentes o desarrolladas por el usuario por medio de interfaces de fácil utilización. Esto paliará las principales dificultades de los usuarios regionales en la investigación climática y sus aplicaciones aligerando las necesidades de costosos equipos informáticos y de

expertos en computación que administren tales equipos. Estas dificultades son:

- tratar las heterogeneidades en el formato de los datos y en los metadatos, sobre todo de los procedentes de la observación, pero también los de la modelización;
- identificar y facilitar la disponibilidad de observaciones climáticas de calidad y vanguardistas, incluyendo las de satélites, que son a menudo percibidas como de tratamiento más difícil;
- superar las diferencias espaciales y temporales entre conjuntos de datos por medio de reconocidos métodos de transformación y de cambio en la rejilla de modelización;
- acelerar el acceso a los datos, especialmente en proyectos con múltiples usuarios;
- eliminar la necesidad de recursos computacionales masivos para el almacenamiento y el análisis de los datos de observación y modelización.

Estos recursos aliviarán en gran medida los esfuerzos de las comunidades regionales de todo el globo, que tienen gran necesidad de información sobre el cambio climático regional para ayudar en la planificación y puesta en práctica de estrategias optimizadas en sus respectivas regiones.

El Sistema de evaluación de modelos climáticos regionales

El RCMES es una plataforma que simplifica el proceso de usar simultáneamente conjuntos de datos procedentes de la observación y/o de la modelización para apoyar la evaluación a nivel regional del cambio climático, de la variabilidad del clima y de sus impactos. El RCMES proporciona acceso remoto a conjuntos de datos disponibles de satélite, de reanálisis y a los registrados in situ almacenados con formatos similares en un único repositorio, a la vez que ofrece métricas estadísticas básicas, recursos de visualización y manipulación de datos, para hacer su intercomparación más fácil y agradable a los científicos y al resto de usuarios. Por medio de estas capacidades, el RCMES acelera el proceso de evaluación de la modelización a los científicos del clima, permitiéndoles ahorrar tiempo en la localización, la transferencia, la conversión y la manipulación de datos y, por tanto, proporcionándoles más tiempo para la evaluación y el análisis. Basándose en su avanzada arquitectura de software (véase el cuadro de la página 32), el RCMES reduce los recursos de computación institucionales necesarios para la evaluación y el análisis de la modelización climática, facilita la participación de una comunidad más amplia en la investigación climática y en la valoración de impactos, e incrementa el uso de estas capacidades especialmente por parte de científicos y usuarios de naciones y regiones en desarrollo.

Actualmente, el RCMES se está utilizando para llevar a cabo evaluaciones de modelos asociadas con el programa CORDEX del PMIC y con la Evaluación del clima nacional de Estados Unidos (NCA). El CORDEX-África y el CORDEX-América del Norte (alias NARCCAP, utilizado por la NCA de Estados Unidos) han supuesto los primeros usos tangibles del RCMES, con colaboraciones y usuarios creciendo ahora

El RCMES visto desde las IT

El RCMES consta de dos componentes, la Base de datos de evaluación de modelos climáticos regionales (RCMED) y el Juego de herramientas para la evaluación de modelos climáticos regionales (RCMET) como se ilustra en la Figura 1. Estos dos componentes pueden considerarse como el servidor de datos (RCMED), instalado en el centro de datos con el que los usuarios interaccionan remotamente, y el componente cliente (RCMET), instalado en el sistema local de los usuarios y que opcionalmente puede ser adaptado por ellos.

La RCMED es una gran base de datos formada por conjuntos de datos de observación, escalables y que residen en el JPL. Utiliza software de computación en nube, que favorece el almacenamiento eficiente de datos y acelera el acceso a los mismos. Los datos en la RCMED se han extraído y transformado desde los formatos originales a un formato común. Los usuarios pueden consultar los datos en la RCMED por medio de una capa de servicios en red basada en URL desde su propio sistema. La consulta proporciona datos a sus sistemas que son almacenados en un formato comprimido para un uso posterior en caso de que se realice una consulta similar. Buena parte de la arquitectura ha sido diseñada para favorecer a los usuarios que disponen de velocidades de Internet limitadas. La tabla adjunta proporciona un extracto de los conjuntos de datos almacenados actualmente en la RCMED.

El RCMET es una colección de funciones escritas en el lenguaje de programación Python. Estas funciones

proveen a los usuarios de entradas/salidas, conversiones, análisis y servicios que incluyen: la carga desde otras fuentes de datos definidos por el usuario, el cambio de rejilla en los conjuntos de datos para una homogeneidad espacial y temporal, la descomposición espacial y temporal de los conjuntos de datos, así como el análisis y la visualización de los mismos. En el RCMET están encapsuladas las métricas estadísticas básicas más comunes para el análisis como son la media, el sesgo, la desviación típica y las correlaciones. También está disponible la visualización de tales métricas.

Los usuarios pueden personalizar el RCMES para sus fines con respecto al flujo de trabajo, definiendo subrutinas para incrementar la funcionalidad y determinando diversas opciones de visualización. El componente RCMET también es capaz de atender a una variada comunidad con formación informática por medio de una interfaz gráfica de usuario web por la que las funciones de Python están disponibles vía servicios Bottle (un entorno en red de Python) o son accesibles usando la línea de comandos o por mecanismos de creación de escritura.

El equipo del RCMES está trabajando con el JPL y la NASA para hacer del RCMET (y del RCMES) un software de código abierto; por ello se anima a los usuarios a crear sus funciones personalizadas y compartirlas con la comunidad, tomando el software de código abierto de la NASA como guía.

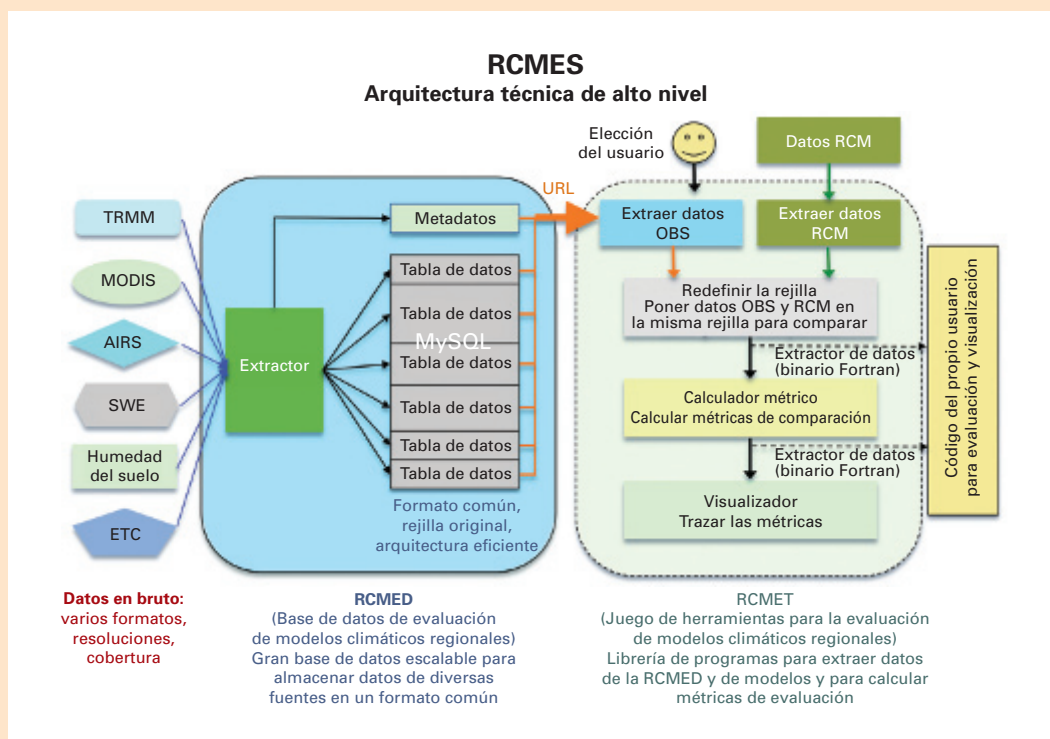


Figura 1 – Esquema del RCMES

Conjuntos de datos disponibles en la RCMED

Nombre del conjunto de datos	Abreviatura	Variabes	Descripciones
Precipitación diaria de los NCEP/CPC	URD	Precipitación	Análisis reticulado de los datos diarios de las estaciones con 0,25 grados de resolución para los estados contiguos de Estados Unidos y el norte de México. Datos diarios y mensuales.
Producto estándar diario AIRS L3 (AIRS/AMSU), versión 5	AIRS	Temperatura del aire en superficie; temperatura atmosférica; altura geopotencial	Datos de satélite recuperados de la sonda avanzada en el infrarrojo (AIRS IR) y de la sonda perfeccionada de microondas (AMSU), sin la sonda de humedad para Brasil (HSB). Datos diarios y mensuales.
Misión de medición de lluvias tropicales, versión 6	TRMM	Precipitación	Datos de precipitación provenientes de satélite y de medidas en superficie. Datos diarios y mensuales.
Reanálisis ERA-Interim	ERA	Temperatura; temperatura del punto de rocío; altura geopotencial	Producto de reanálisis mundial del Centro europeo de predicción meteorológica a medio plazo (CEPMMP). Datos diarios y mensuales.
Espectrorradiómetro de formación de imágenes de resolución moderada	MODIS	Nubosidad	Datos recuperados de satélite. Datos diarios y mensuales.
Unidad de investigación climática TS3.0	CRU	Precipitación; temperaturas del aire en superficie máxima, mínima y media diaria	Análisis reticulado de observaciones de estaciones en superficie con 0,5 grados de resolución horizontal en la superficie terrestre del planeta. Datos diarios y mensuales.
Unidad de investigación climática TS3.1	CRU_TS_3.1	Precipitación; temperaturas del aire en superficie máxima, mínima y media diaria; nubosidad	Versión actualizada de los datos de la CRU 3.0. Datos diarios y mensuales.
Equivalente en agua de la nieve en Sierra Nevada	SWE	Equivalente en agua de la nieve	Mezcla de datos recuperados de satélite y de observaciones en superficie en la cordillera de Sierra Nevada (California, Estados Unidos). Datos mensuales.
Análisis MERRA DAS3d sobre niveles isobáricos	MAI6NPANA	Presión media a nivel del mar (MSLP), presión en superficie	Reanálisis global de la NASA-GMAO. Datos mensuales.
Radiación CERES	CERES	Irradiancias de ondas corta y larga para todo el cielo, en cielo despejado, TOA (en el tope de la atmósfera), y en superficie	Producto de radiación recuperado del satélite. Datos mensuales.

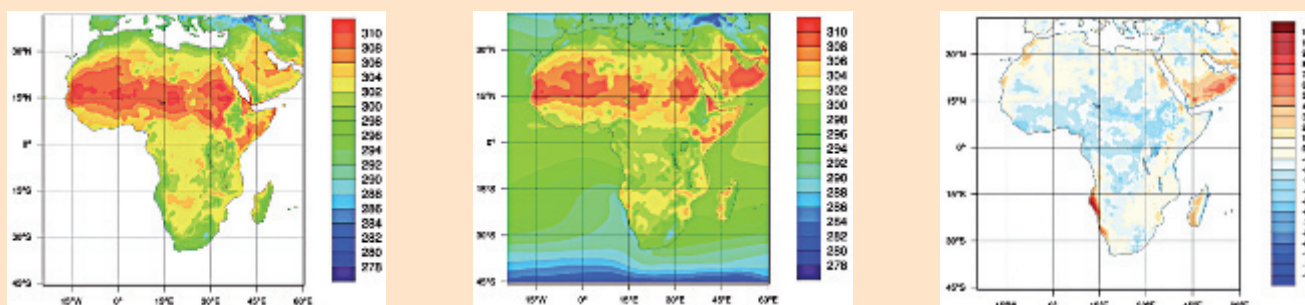


Figura 2 – Ejemplo de análisis de sesgo utilizando el RCMES para evaluar la media anual de la temperatura máxima diaria desde 1989 hasta 2006. Los datos de observación son los del análisis de estaciones de superficie de la CRU (izquierda) y los datos de modelización provienen de la simulación del clima histórico usando la segunda versión del Modelo climático regional (RACMO2) del Instituto Real de Meteorología de los Países Bajos (KNMI) sometido a los datos de forzamiento a gran escala obtenidos del reanálisis ERA-Interim (derecha).

rápidamente para el CORDEX-Asia del Sur, el CORDEX-Asia Oriental y el CORDEX-Ártico.

Centrándose en los científicos del clima y de lo social

Los objetivos del RCMES incluyen el compromiso de proporcionar una herramienta que pueda ser aplicada sin enfoques predefinidos. Hasta ahora las comunidades de usuarios han usado el RCMES de dos formas muy diferentes. En primer lugar como una herramienta de gestión de datos y de evaluación de modelos numéricos, por ejemplo en proyectos regionales que incluyen el CORDEX, tales como el CORDEX-África y el NARCCAP, la componente norteamericana del CORDEX. El equipo del RCMES está participando también en tres regiones más del CORDEX que incluyen el Ártico, Asia del Sur y Asia Oriental. Hasta la fecha esto ha incluido la asistencia a seminarios organizativos y el desarrollo de colaboraciones y de mejoras en el RCMES que aumentan más aún su utilidad para la región del CORDEX en cuestión. Los usuarios regionales del RCMES opinan que las ventajas clave de la utilización del RCMES son la accesibilidad a diversos conjuntos de datos de observación, la facilidad para introducir sus propios datos, la disponibilidad de funciones incorporadas para el cambio de rejilla de datos (locales o remotos), y la sencillez en general de su uso.

En segundo lugar, el RCMES se ha utilizado como herramienta métrica y de visualización en proyectos científicos de evaluación ambiental. En este aspecto los usuarios del RCMES identifican como ventajas fundamentales la capacidad para acceder a múltiples conjuntos de datos de observación, la visualización de datos, las métricas básicas de evaluación de modelos y la facilidad de uso. Por medio del proyecto Alianza Clima y Desarrollo (CDKN), estamos explorando el uso e integración del RCMES en la Universidad de Ciudad del Cabo (Sudáfrica), y su Portal de información climática (CIP). El RCMES se ha dado a conocer también a grupos como el Liderazgo para el medio ambiente y el desarrollo (LEAD) en África, como un medio de ayuda al asesoramiento.

El camino a seguir

Los próximos pasos del RCMES implican la incorporación de: (1) conjuntos de datos de observación adicionales: los que resulten adecuados para la evaluación de modelos así como los relevantes para los nuevos sistemas de apoyo a la toma de decisiones; (2) métodos adicionales para la cuantificación estadística de la robustez de los resultados de los análisis; (3) funciones y opciones de visualización usadas comúnmente en aplicaciones informáticas climáticas y medioambientales de los sistemas de información geográfica; y (4) la promoción de su uso en mayor medida en otras actividades regionales que emerjan como parte del Marco Mundial para los Servicios Climáticos. También se están dando los pasos necesarios para facilitar la disponibilidad del RCMES a través de la ESGF.

El equipo del RCMES espera continuar y reforzar el compromiso adquirido con el CORDEX y, en la medida de lo posible, proveer recursos para el análisis del clima e incluso una plataforma de formación para el Marco Mundial para los Servicios Climáticos mediante la red de Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) de

la OMM. Gracias a una colaboración más amplia, y a los esfuerzos del equipo por hacer del RCMES una aplicación de código abierto, sus capacidades se verán aumentadas.

(Por favor visite <http://rcmes.jpl.nasa.gov> para obtener actualizaciones, colaboraciones y resultados de la aplicación. Agradecemos sus comentarios y sugerencias al respecto.)

Agradecimientos

Apoyo prestado por la División de ciencias de la Tierra de la NASA, NASA NCA (ID: 11-NCA11-0028), AIST (ID: AIST-QRS-12-0002) y el Programa de ciencias aplicadas vía la Ley de Reversión y Recuperación de Estados Unidos (ARRA), y por el programa ExArch de la Fundación nacional de ciencias (ID: 1125798), un componente de la iniciativa del G8. Valiosas contribuciones a la actividad del RCMES por medio de actividades de colaboración proceden del Experimento regional coordinado para la reducción de la escala climática (CORDEX) del PMIC, el Programa regional para la evaluación del cambio climático de América del Norte (NARCCAP), la Alianza Clima y Desarrollo (CDKN) y la Universidad de Ciudad del Cabo, y el PCMDI/DOE por medio del apoyo de la actividad obs4MIPs.

Referencias

- Covey, C. y otros, 2003: An Overview of Results from the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP). *Global and Planetary Change*, 37, 103-133.
- Gates, W. L. y otros, 1999: An Overview of the Results of the Atmospheric Model Intercomparison Project (AMIP I). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80, 29-55.
- Giorgi, F., C. Jones y G. R. Asrar, 2009: Cómo abordar las necesidades de información climática a nivel regional: el marco del CORDEX. *Boletín de la OMM*, 58 (3), 175-183.
- Gleckler, P. J., K. E. Taylor y C. Doutriaux, 2008: Performance metrics for climate models. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 113(D6), D06104.
- Hart, A., C. Goodale, C. Mattmann, P. Zimdars, D. Crichton, P. Lean, J. Kim y D. Waliser. A Cloud-Enabled Regional Climate Model Evaluation System. En: Proceedings of the ICSE 2011 Workshop on Software Engineering for Cloud Computing-SECLOUD, Honolulu, HI, May 22, 2011.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis, editado por S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller. *Cambridge University Press*, Cambridge, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte.
- Jones C., F. Giorgi y G. Asrar, 2011: *The Coordinated Regional Downscaling Experiment: CORDEX An international downscaling link to CMIP5*. CLIVAR Exchanges No. 56, Vol. 16, 34-40.
- Waliser, D. y otros, 2009: MJO Simulation Diagnostics. *Journal of Climate*, 22(11), 3006-3030.
- Williams, D. N. y otros, 2009: The Earth System Grid: Enabling Access to Multi-Model Climate Simulation Data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90, 195-205.