

# ADAPTARSE AL CLIMA DEL FUTURO

## ASPECTOS CLAVES PARA LA SIMULACIÓN CLIMÁTICA

*Jaime Ribalaygua Batalla: Ingeniero de Montes, Máster en Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales y Máster en Meteorología Teórica y Aplicada. Presidente y director técnico de la Fundación para la Investigación. 22 años de experiencia en la investigación del cambio climático, en la simulación del clima futuro a escala local y en la evaluación de los impactos de dicho clima futuro sobre diferentes sectores (agricultura / seguridad alimentaria, biodiversidad forestal, hidrología...).*

La Fundación para la Investigación del Clima (FIC) ha trabajado desde hace más de 20 años en la investigación y aplicación de una simulación robusta del clima para la adaptación. La FIC ha desarrollado una metodología innovadora de regionalización o downscaling que ha demostrado obtener excelentes resultados a la hora de generar escenarios locales de cambio climático.

Basado en esta experiencia, en este artículo se analizan los requisitos necesarios para el primero de los aspectos claves que se requieren en todo proceso de adaptación: la generación robusta de escenarios de cambio climático. Los requisitos son los siguientes:

## INTRODUCCIÓN

Las simulaciones del clima futuro son esenciales en cualquier estrategia de adaptación, ya que permiten una mejor planificación mediante la anticipación a los impactos futuros. Muchos proyectos de desarrollo e instituciones que trabajan en “adaptación al cambio climático” definen sus acciones sin antes contar con los aportes que la ciencia del clima puede dar para conocer “a qué clima es preciso adaptarse”. Desde nuestro punto de vista, difícilmente podemos hablar de adaptación si no partimos de un mejor conocimiento sobre el clima del futuro, y para ello es necesario contar con todos los elementos que la ciencia del clima pueda aportar.

Cualquier iniciativa o política centrada en la adaptación al cambio climático debería seguir tres etapas:

- La descripción de las posibles condiciones del clima futuro.
- La evaluación de cómo va a influir ese clima futuro en los medios de vida de las poblaciones.
- Las recomendaciones para minimizar los impactos negativos identificados (y sacar provecho de los positivos), incluyendo medidas eficaces de adaptación al clima futuro.

### 1. Utilizar de los modelos climáticos (MC) más recientes

Es muy importante usar los MC más recientes para asegurar las simulaciones del clima futuro más robustas posibles. Los modelos climáticos están continuamente siendo renovados y mejorados, y lo normal es que aparezca una nueva versión cada 4-6 años, que es utilizada para el correspondiente Informe de Evaluación del IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, por sus siglas en inglés). Los MCs disponibles más recientes son los del CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5), y sus resultados se utilizan para el Quinto Informe del IPCC. Una de las nuevas características que introduce CMIP5 es que la mayoría de los MCs utilizados son de nueva generación, denominados Earth System Models (ESM). Otra nueva característica importante es la forma en la que se toma en consideración el forzamiento radiativo futuro (que depende de la evolución de la sociedad): los escenarios de emisión de Gases de Efecto Invernadero tradicionalmente utilizados (A2, B1, A1B...) han sido sustituidos por lo que se denomina Rutas Representativas de Concentración (RCP por sus siglas en inglés), que introducen diferencias relevantes. Los estudios que utilizan escenarios obtenidos con los modelos previos es probable que se consideren obsoletos en un futuro cercano.

*Para más información sobre downscaling ver apartado tercero de este documento*

## 2. Contar con proyecciones futuras con resolución a escala temporal diaria

Disponer de simulaciones con resolución diaria (no mensual) es imprescindible para caracterizar muchos aspectos esenciales del clima: la precipitación acumulada en un mes es importantísima, pero también lo es saber cómo esa precipitación se distribuye dentro del mes (unos pocos días seguidos con lluvias torrenciales tiene efectos muy diferentes a muchos días con precipitaciones suaves, aunque la precipitación acumulada en el mes sea la misma); también son importantes otros índices que se usan habitualmente (máxima precipitación acumulada en 5 días; percentil 90 o 95 de precipitación diaria, número de días seguidos sin lluvia...).

Con la temperatura sucede lo mismo, el efecto de varios días seguidos con temperaturas extremas, por ejemplo sobre la salud o la agricultura, es mucho más grave que si esas temperaturas extremas se producen intercaladas con días más suaves.

La resolución diaria también es necesaria para que las simulaciones puedan alimentar muchos modelos de evaluación de impactos. Por ejemplo, muchos modelos hidrológicos requieren datos diarios, para poder tener en cuenta el muy diferente efecto de si las lluvias del mes se concentran en pocos días seguidos o se distribuyen en pocos días sueltos o en muchos días de lluvia suave. Porque según la cantidad de agua en el suelo (que depende de las lluvias en días anteriores), la precipitación de un día puede ser absorbida por el suelo (si está seco), o convertirse directamente en escorrentía superficial (si está saturado), y obviamente el efecto hidrológico es diferente.

En muchas otras aplicaciones en las que hemos participado también se requiere este dato diario: impactos del CC en viticultura (unos pocos días de estrés hídrico en estados fenológicos clave del cultivo puede arruinarlo), en los trabajos en Nicaragua (que la canícula -periodo menos lluvioso en julio/agosto, que separa los cultivos de primera y postrera- dure 10 días o 30 tiene un impacto muy distinto en el cultivo de granos básicos), etc. Incluso en algunos estudios de impacto que usan el dato mensual, como los de fitoclimatología, también requieren algún dato que sólo puede obtenerse con la serie diaria (temperatura mínima -o máxima- diaria absoluta del mes: valores suficientemente extremos en un solo día -por ejemplo, una fuerte helada- pueden impedir la supervivencia de una especie).

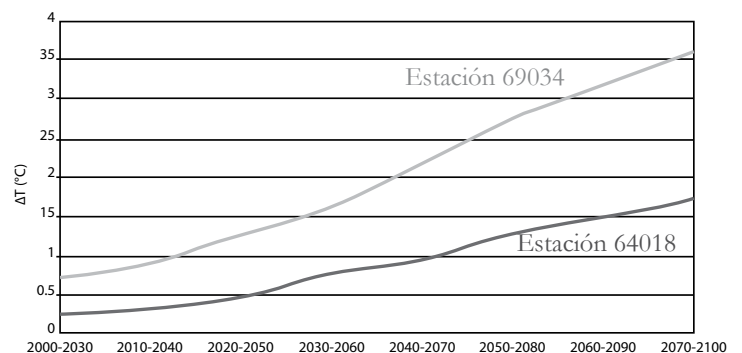
## 3. Disponer de proyecciones futuras con resolución local

Por un lado, se requiere información local sobre el clima futuro para muchas actividades de adaptación; por ejemplo, para determinar la variedad de café que se ha de cultivar en un lugar en particular.

Por otro lado, las causas del cambio climático son globales (emisiones de gases de efecto invernadero por todo el planeta), pero las consecuencias serán locales: el clima futuro traerá cambios con respecto al clima actual que serán muy diferentes en localidades muy cercanas entre sí, dependiendo de las influencias topográficas. Esta hipótesis se ha confirmado en las simulaciones que se han realizado, tanto en España como en Centroamérica: una vez generados los escenarios se han visto enormes diferencias en los cambios simulados para puntos muy próximos (por ejemplo, en España salían puntos con calentamientos de 1°-2°C en verano a mitad de siglo XXI, y otros a 15-20 km con calentamientos simulados de 4-5°C).

A pesar de ser las herramientas más poderosas disponibles hoy día para la simulación del clima futuro, los modelos climáticos no pueden representar los detalles del clima local. Para resolver este problema se han desarrollado las técnicas de downscaling. Estas técnicas obtienen los efectos en superficie a escala local (precipitación, temperatura) requeridos para la evaluación de impacto a partir de la información valiosa que proporcionan los MC (las configuraciones atmosféricas de baja resolución).

A modo de ejemplo en la gráfica n°1, se puede observar y comparar como la tendencia de aumento de temperatura en Juigalpa (estación meteorológica n°69034, al este del lago Nicaragua) es, para un cierto Modelo Climático y escenario de emisiones, de 0,8°C para mediados de siglo y en Chinandega (estación n° 64018, al norte del país) es de 2,2°C para el mismo Modelo, escenario de emisiones y periodo. Estas diferencias son importantes lo que evidencia la necesidad de downscaling.



En definitiva, dado que para muchas acciones de adaptación se necesitan datos en el punto de interés, y dado que el mismo clima futuro puede suponer cambios muy diferentes en puntos muy próximos, se hace necesario disponer de escenarios de clima futuro a escala local.

Algunas herramientas de downscaling proporcionan información con detalle local, pero puede tratarse de una interpolación simple o una redistribución de los datos proporcionados por los MC. Se requiere usar métodos de downscaling más sofisticados para conseguir simulaciones locales fiables que tengan en cuenta aspectos locales que influyen en el clima como la topografía.

Por lo tanto, se requieren metodologías de downscaling que trabajen a escala diaria (para tener en cuenta cambios en las frecuencias de las diferentes configuraciones atmosféricas), y que consideren cómo afecta la situación concreta de ese día a cada uno de los puntos del territorio.

Las técnicas estadísticas de downscaling consisten en establecer relaciones entre campos atmosféricos de gran escala (predictores) y variables de superficie de alta resolución como temperatura y precipitación (predictandos). Los escenarios se construyen aplicando esas relaciones a los resultados (simulaciones de los predictores para el futuro) que proporcionan los MCs.

## 4. Manejar las incertidumbres

La cuantificación de las incertidumbres inherentes a cualquier simulación climática es una de las áreas en las que la comunidad científica está centrando más esfuerzos. Para evaluar estas incertidumbres, en el proceso de obtención de proyecciones futuras se deben utilizar tantos MCs y RCPs como sea posible.

La cuantificación de la incertidumbre debe hacerse también a escala local: las simulaciones del clima futuro referentes a diferentes localizaciones pueden tener incertidumbres distintas, debido a las influencias topográficas. Cuanto más similares sean las proyecciones obtenidas de diferentes MC y RCP para una localización concreta, menos incertidumbres en la simulación del clima habrá para esa localización.

Para trabajar adecuadamente con las incertidumbres, en vez de gestionarlas desde el inicio para construir un único "futuro" (por ejemplo, calculando una media ponderada de todas las proyecciones futuras), se recomienda seleccionar múltiples "futuros" y trabajar con todos ellos para evaluar los impactos. Para jerarquizar los futuros se pueden usar criterios más o menos sencillos (como el calentamiento o la variación en la precipitación que suponen), o algunos más elaborados: por ejemplo, se puede calcular un índice de sequía, que combine precipitación y temperatura, y ordenarlos por ese índice; o por el "Índice de Idoneidad Fitoclimática", que se utiliza para evaluar en qué medida una especie vive idóneamente en un clima.

De esta manera se pueden analizar los resultados de los modelos para un escenario "favorable", medio y "desfavorable", con probabilidades de alcanzarse o superarse del 75, 50 y 25% respectivamente. El número de futuros a utilizar (3, 5...) depende de lo costoso que sea aplicar e interpretar los resultados de los modelos de los usuarios (lo ideal, si fuera posible, sería aplicarlos a todos los "futuros" disponibles, y obtener el abanico de posibilidades de los resultados del modelo de usuario, por ejemplo el abanico de posibles disponibilidades de recursos hídricos).

## 5. Realizar completos estudios de verificación y validación

También relacionado con las incertidumbres, consideramos necesario realizar completos y robustos análisis de verificación de las metodologías de downscaling utilizadas, y de validación de los MC a regionalizar. Deben conocerse las ventajas e inconvenientes de cada metodología y cada MC, para las diferentes variables y zonas del territorio. Cuanto menor sea el error con el que una metodología y MC simulan el clima presente en un punto, menores serán las incertidumbres de sus simulaciones para el futuro.

Por ello, antes de generar escenarios, realizamos una completa verificación de la metodología en la zona de trabajo.

El objetivo es comprobar que la herramienta funciona bien (aunque ya se ha comprobado en muchos proyectos), pero también conocer con precisión los errores que se comenten en cada punto para cada variable, porque esa información va a ser útil en la cuantificación de las incertidumbres de las simulaciones futuras, y también en la corrección de los errores sistemáticos (esta técnica se utiliza para eliminar de las proyecciones futuras los errores sistemáticos que presenten los MC o/y las herramientas de downscaling, calculados comparando lo que simulan para el periodo de control con lo observado).

La verificación se realiza haciendo downscaling de un reanálisis ("observaciones" de los estados atmosféricos, los predictores), y comparando lo que se obtiene con las observaciones de los predictandos (precipitación, temperatura máxima y mínima...). Recomendamos análisis muy profundos:

- A todas las escalas temporales (climática -30 años-, decadal, anual, mensual, y diaria). Si la herramienta funciona a escala diaria, significa que se están captando los vínculos físicos entre predictores y predictandos, vínculos físicos que no cambiarán aún en un contexto de cambio climático (las relaciones meramente empíricas sí pueden cambiar), y por tanto, significa que se está reduciendo teóricamente el principal problema del downscaling estadístico, si las relaciones predictores / predictando establecidas en el pasado van a ser estacionarias (se van a mantener en el futuro)
- Atendiendo no sólo valores medios sino también los extremos (percentiles 90 o 95 de precipitación y temperaturas diarias, número de días seguidos sin lluvia...)
- Haciendo análisis de "robustez": se aplica la herramienta entrenándola en los años más fríos (o lluviosos) del periodo de referencia (1960-2010, por ejemplo), para simular los años más cálidos (o secos), y viceversa. De este modo se puede saber si la herramienta es capaz de conseguir lo que pretendemos, simular el futuro, seguramente más cálido, a partir del presente, más frío.

Tras esta verificación, se tiene una idea clara de la capacidad predictiva de la metodología en cada punto del territorio, para cada variable, y de los diferentes aspectos (escalas temporales, valores medios, extremos, “robustez”, etc.). Toda esta información, como se ha dicho, es útil a la hora de utilizar los escenarios que se generen (cuantificación de incertidumbres, corrección de errores sistemáticos, etc.)

Una vez verificada con éxito la metodología, se afronta la validación de cada MC a regionalizar, haciendo downscaling de sus salidas de control (para el periodo 1960-2000, por ejemplo). Comparando las simulaciones así obtenidas con lo observado, se evalúa en qué medida ese MC está representando adecuadamente el clima presente. Los resultados de esta validación de cada MC (también para cada variable y cada punto del territorio), se utilizan en la cuantificación de incertidumbres y en la corrección del error sistemático de ese MC.

Consideramos del máximo interés afrontar proyectos que realicen estas verificaciones y validaciones de forma sistemática y profunda, para todas las herramientas de downscaling y MC que estén disponibles (como el proyecto europeo STARDEX o el español ESTCENA). Estos proyectos permiten identificar las ventajas y debilidades de las diferentes herramientas y MC, y buscar complementariedades entre ellas/os. A la vez proporcionan mucha información de utilidad para hacer un adecuado uso posterior de los escenarios. El objetivo final es elaborar “guías de uso”, que permitan a los diferentes usuarios potenciales de los escenarios, identificar qué escenarios utilizar (en función de sus necesidades concretas: variables, resolución espacial y temporal, zona del territorio...), y manejarlos de forma adecuada (conociendo sus limitaciones, la información útil que pueden aportar, manejando las incertidumbres, etc.).

## Conclusión

La técnica de downscaling “FICLIMA” desarrollada por FIC, que ha sido verificada satisfactoriamente en diversos proyectos nacionales e internacionales, satisface los requisitos explicados previamente: FICLIMA utiliza los modelos climáticos más recientes de CMIP5; trabaja a escala diaria y utiliza series diarias de temperaturas máximas y mínimas, precipitación y otras variables para cada proyección de MC/RCP; utiliza información local de observatorios y/o puntos de rejilla disponibles; se consideran y cuantifican las incertidumbres mediante el downscaling de tantas proyecciones como sea posible (varios MC con varios RCP cada uno), y se llevan a cabo procesos de verificación y validación para cada variable, observatorio o punto de rejilla y MC. FICLIMA ha sido utilizada para producir escenarios locales oficiales para el Programa Nacional de Adaptación al Cambio Climático de España, y se ha adaptado y aplicado satisfactoriamente en Centro y Sud América y en Asia Central. Se puede encontrar más información de esta metodología en [www.ficlisma.org/FICLIMA-statistical-downscalingmethodology.pdf](http://www.ficlisma.org/FICLIMA-statistical-downscalingmethodology.pdf)

### REFERENCIAS

- Brunet, M., Casado, M. J., De Castro, M., Galán, P., López, J.A., Martín, J.M., Pastor, A., Petisco, E., Ramos, P., Ribalaygua, J., Rodríguez, E., Sanz, I. and Torres, L., 2008: Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Agencia Estatal de Meteorología (AEMet) de España.
- Goodess CM, Anagnostopoulou C, Bárdossy A, Frei C, Harpham C, Haylock MR, Hundecha Y, Maheras P, Ribalaygua J, Schmidli, J., Schmith T, Tolika K, Tomozeiu R and Wilby RL, 2012: An intercomparison of statistical downscaling methods for Europe and European regions – assessing their performance with respect to extreme temperature and precipitation events. Climate Research Unit (University of East Anglia, UK) Research Publication n° 11. [http://www.cru.uea.ac.uk/cru/pubs/crup/CRU\\_RP11.pdf](http://www.cru.uea.ac.uk/cru/pubs/crup/CRU_RP11.pdf)
- Ribalaygua, J., Torres, L., Pórtoles, J., Monjo, R., Gaitán, E. and Pino, M.R., 2013: Description and validation of a two-step analog/regression downscaling method. Theoretical and Applied Climatology. Doi: 10.1007/s00704-013-0836-x. URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00704-013-0836-x>
- Ribalaygua, J., L. Torres, E. Gaitán, J. Quintana, J. Pórtoles, and R. Monjo, 2012: Future Climate Simulations over the Gulf of Fonseca (Central America) using CMIP5 models under Statistical Downscaling. EMS Annual Meeting Abstracts, Vol. 9, EMS2012-PREVIEW, 2012. 12th EMS / 9th ECAC. September 10-14, 2012; Łódź, Poland
- Van der Linden P, Mitchell JFB (eds.) 2009: ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, UK. 160pp. [http://ensembles-eu.metoffice.com/docs/Ensembles\\_final\\_report\\_Nov09.pdf](http://ensembles-eu.metoffice.com/docs/Ensembles_final_report_Nov09.pdf)