



## EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA AGRICULTURA: ADAPTACIÓN E INCERTIDUMBRES

**M. Inés Mínguez, Margarita Ruiz-Ramos\* y Daniel del Valle\*.**

Grupo de Investigación de Sistemas Agrarios.

Universidad Politécnica de Madrid y Universidad de Castilla-La Mancha

---

La adaptación al cambio climático de la agricultura debe abordarse dentro del contexto establecido por la FAO (Conferencia Junio 2008) en cuanto a la necesidad de duplicar la producción de alimentos para el año 2050, producir biocombustibles y otros productos, así como generar servicios ambientales. El incremento de la producción de alimentos se basará en el incremento de la productividad y de la superficie cultivada, y una mayor productividad suele ir ligada a mayores insumos en los campos cultivados. A esta presión productiva sobre los agro-sistemas se suma la necesidad de adaptación al cambio climático.

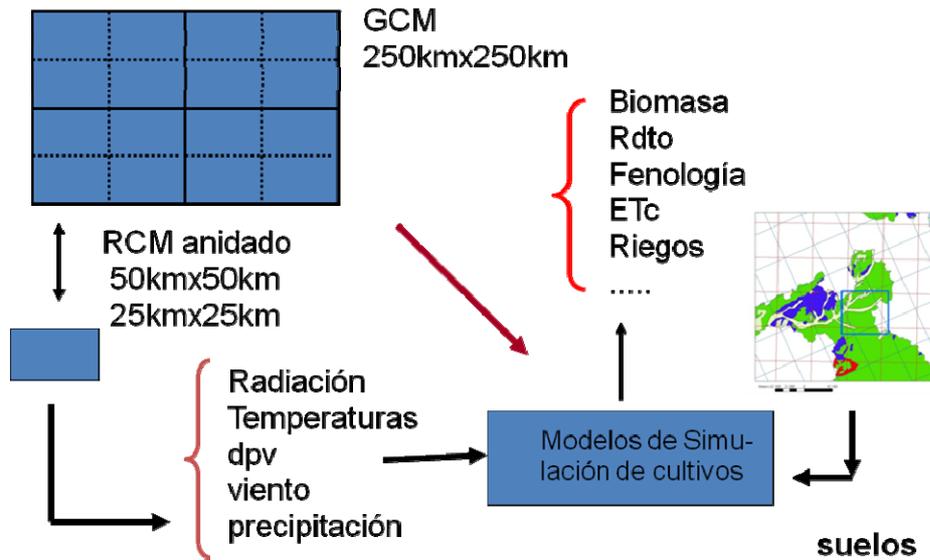
Los patrones climáticos previstos asociados al cambio climático tendrán un impacto importante en todos los componentes de los sistemas agrícolas europeos, desde la expansión de las áreas de muchos cultivos (por ejemplo maíz, Olesen et al. 2007) en Europa del norte hasta cambios en la distribución de la precipitación y sequías más frecuentes en el sur. En la Península Ibérica, el Grupo de Sistemas Agrarios aborda estos estudios dentro de proyectos de investigación regionales, nacionales y europeos, siendo conscientes del papel crucial que tendrán que jugar los agricultores no sólo como suministradores de alimentos sino como generadores de servicios ambiental en un clima con elevada probabilidad de cambio.

### Evaluación de impactos y adaptaciones

La metodología que estamos aplicando para evaluar los impactos del Cambio climático y así poder plantear adaptaciones, cuantificar las incertidumbres asociadas a estas metodologías y a estas evaluaciones es, a grandes rasgos, la siguiente: los outputs de los modelos de clima se utilizan de diferentes maneras como inputs de los modelos de simulación de cultivos o de impacto, para analizar impactos, y estrategias de adaptación o mitigación (Figura 1).

Los modelos globales de clima (GCM) actuales que generan los escenarios de cambio climático bajo diferentes hipótesis de emisiones del IPCC, tienen en la actualidad resoluciones demasiado bajas para simular correctamente el clima de la Península Ibérica, de ahí que se necesiten técnicas de "downscaling" para incrementar su resolución. Debido al pequeño tamaño de la Península, su orografía compleja, y los numerosos tipos de vegetación, se necesita una mayor resolución para establecer impactos y adaptaciones de sus sistemas de cultivos y sistemas agrícolas. Los GCMs no pueden representar las heterogeneidades de la superficie de la Península a escalas menores de 150 km, de ahí que nosotros utilicemos los outputs de Modelos Regionales de Clima (RCM) que una vez "anidados" en las grandes celdas de los GCMs simulan el clima para celdas de 50 km x 50 km o de 25 km x 25 km.

Figura 1. Esquema de la cadena de simulación: GCM-RCM-Modelo de simulación de cultivo a través de un sistema de información geográfica que incorpora la información del suelo. En cada polígono de suelo los modelos de simulación de cultivos o de impactos toman los outputs de clima de la celda correspondiente a este polígono, los datos del suelo y simulan los impactos o adaptaciones.



Adaptado de Guereña et al. Agronomy J. (2001); Mínguez et al. J. Physique (2004).

### Incertidumbres

A lo largo de toda la cadena de simulación, desde los escenarios climáticos continuando con los modelos de clima, modelos de cultivo/impacto y extrapolación de los resultados, se introducen incertidumbres: la cuantificación de las incertidumbres, y el mapa de las áreas de máximas y mínimas incertidumbres mejorará la interpretación de las proyecciones de impactos/adaptaciones (Ruiz-Ramos and Mínguez, en preparación)

Una única simulación climática, es decir el uso de un sólo modelo de clima, es insuficiente para generar información necesaria para la evaluación de impactos/adaptaciones debido a las incertidumbres asociadas, como no lo es el uso de un sólo modelo de cultivo/impacto. El paradigma actual es la predicción por conjuntos, o "ensembles" compuestos de múltiples proyecciones de distinto origen que se está desarrollando en el proyecto europeo ENSEMBLES 'Providing ensemble-based predictions of climate changes and their impacts' del 7PM.

En este contexto, y dentro del proyecto europeo PRUDENCE ("Prediction of Regional scenarios and uncertainties for defining European Climate change risks and effects") se utilizaron diez RCMs (un "ensemble" multi-modelo) que se conectaron a diversos modelos de cultivo/impacto (DSSAT, CropSyst, evapotranspiración, modelos fenológicos). Los RCMs proveyeron las simulaciones del clima base (1969-1990) y futuro (2070-2100). Los datos de suelo correspondían a localidades, con perfiles observados, así como a suelos tipo representativos de todas las zonas de cultivo (sistemas agrícolas). Los modelos de simulación de cultivos han sido calibrados y validados en estudios previos pero se debe seguir mejorando estas simulaciones.

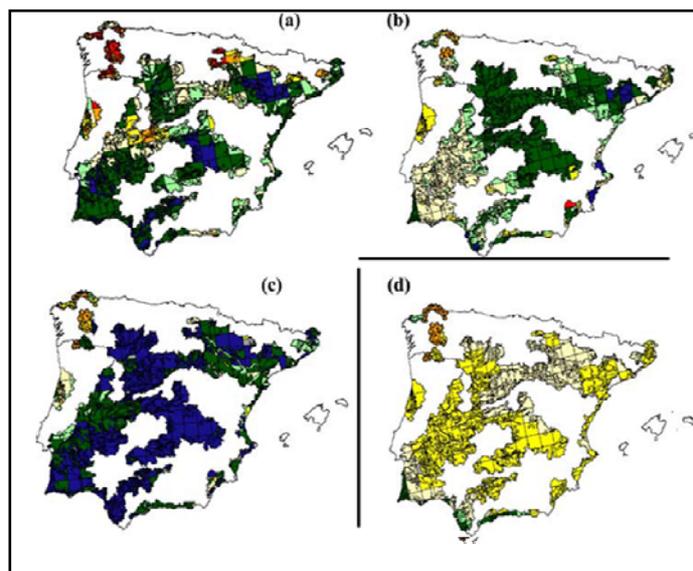
### Los cultivos como indicadores

Los indicadores de impacto son cultivos de invierno y de verano, con diferentes tipos fotosintéticos, cultivos herbáceos o leñosos, en secano o regadío, sin limitación de nitrógeno y sin plagas ni enfermedades en una primera aproximación.

El trigo de primavera o el trigo de invierno en siembra otoñal y en secano, o bien el maíz en regadío reflejan los impactos posibles en los diferentes escenarios de clima futuro, no sólo en cuanto al rendimiento y producción de biomasa, sino en relación al uso del agua. Los impactos se pueden representar como cambios relativos en los rendimientos, hablamos de “tendencias” de incremento o disminución en los rendimientos, en el uso del agua, etc.

En la Figura 2 se muestran rendimientos relativos en clima futuro/clima actual de trigo de primavera, sin necesidades de vernalización, en las diferentes regiones agrícolas (aunque no se cultive allí no hay que olvidar que se está utilizando como indicador). Los rendimientos en ciertas zonas pueden incrementarse (colores verdes o azules), en otras se mantienen (colores amarillentos). Estos resultados deben tomarse con cierta precaución ya que las simulaciones de precipitación en los GCMs y RCMs, son las que presentan mayor incertidumbre, junto con las de la velocidad del viento.

Figura 2. Rendimiento relativo de Trigo de primavera en secano y siembra en otoño en escenarios A2/control con datos de clima de RCMs anidados en el GCM HadAM3H. a) REMO; b) RegCM; c) PROMES y d) RegCM en regadío (adaptado de Minguez et al., 2007, Climatic Change). Verde y azules incremento del rendimiento, amarillos se mantiene, marrones y rojos disminución)



En el caso del maíz en regadío (Cuadro 1, adaptado de Minguez et al., 2007, Climatic Change) la disminución en el rendimiento se debe al gran acortamiento del ciclo debido al incremento de las temperaturas en primavera y verano. En este caso las “adaptaciones autónomas” que pueden llevar a cabo los agricultores (fechas de siembra, cultivares de ciclo más largo, etc) pueden compensar esta disminución, si hay agua para riego. En algunas zonas se detecta también una posible disminución en las necesidades de riego.

Cuadro 1. Simulaciones de maíz en regadío. Comparación de los rendimientos (kg/ha) y lámina neta de riego (mm) entre clima actual o control, y clima A2, simulados con CERES-maiz conectado a los RCMs PROMES y HIRHAM (adaptado de Minguez et al., 2007, Climatic Change)



| Meseta Central   |              |       |        |     |        |     |
|------------------|--------------|-------|--------|-----|--------|-----|
| Fecha de siembra | RCM          |       | PROMES |     | HIRHAM |     |
|                  | Rdto o riego |       | Media  | C V | Media  | C V |
| actual           | kg/ha        | clima | 1158   | 1   | 1052   | 1   |
|                  | actual       |       | 9      | 5   | 7      | 5   |
|                  | mm           |       | 1074   | 9   | 846    | 1   |
|                  |              |       |        |     |        | 9   |
| 1.5 mes          | kg/ha        | clima | 8583   | 1   | 5958   | 1   |
|                  | A2           |       |        | 7   |        | 6   |
|                  | mm           |       | 739    | 8   | 653    | 9   |
|                  |              |       |        |     |        |     |
| antes            | kg/ha        | clima | 1083   | 1   | 8545   | 8   |
|                  | A2           |       | 2      | 3   |        |     |
|                  | mm           |       | 712    | 1   | 655    | 7   |
|                  |              |       |        | 0   |        |     |

### Trabajos en curso

Las investigaciones en curso se centran en las adaptaciones complejas, estudiando en qué condiciones varias adaptaciones sencillas pueden tener efecto acumulativo o sinérgico, en la cuantificación y minimización de las incertidumbres, realizando una cartografía y una jerarquización de la incertidumbre, y por último analizar cómo lo que denominamos escenarios de ruptura pueden generar cambios drásticos en los sistemas agrícolas (por ejemplo, desaparición, traslación en latitud o altitud).

Las adaptaciones más complejas, denominadas adaptaciones a largo plazo (cambios en los sistemas de cultivo y agrícolas) deben ser planificadas junto con las Administraciones y los responsables políticos, si bien siempre interaccionando con las Asociaciones de Agricultores. La generación de herramientas que ayuden a la toma de decisiones políticas es uno de los objetivos de nuestro trabajo.

### Referencias

- Guereña A, Ruiz-Ramos M, Díaz-Ambrona CH, Conde JR and Mínguez MI, 2001. Assessment of Climate Change and Agriculture in Spain Using Climate Models. *Agronomy Journal* 93, 237-249.
- Mínguez MI, Ruiz-Ramos M, Díaz-Ambrona CH and Quemada M, 2004. Productivity in agricultural systems under climate change scenarios. Evaluation and adaptation. *J. de Physique, IV France*, 121, 269-281.
- Mínguez MI, Ruiz-Ramos M, Díaz-Ambrona CH, Quemada M and Sau F, 2007. First-order impacts on winter and summer crops assessed with various high-resolution climate models in the Iberian Peninsula. *Clim. Change* 81, 343-355.
- Olesen, J.E., Carter, T.R., Díaz-Ambrona, C.H., Fronzek, S., Heidmann, T., Hickler, T., Holt, T., Mínguez, M.I., Morales, P., Palutikof, J.P., Quemada, M., Ruiz-Ramos, M., Rubæk, G.H., Sau, F., Smith, B. and Sykes, M.T. 2007. Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Clim. Change* 81, 123-143.



-Ruiz-Ramos M and Mínguez MI, (en preparación). Uncertainty analysis of first-order impacts of climate change in Spanish agriculture.