

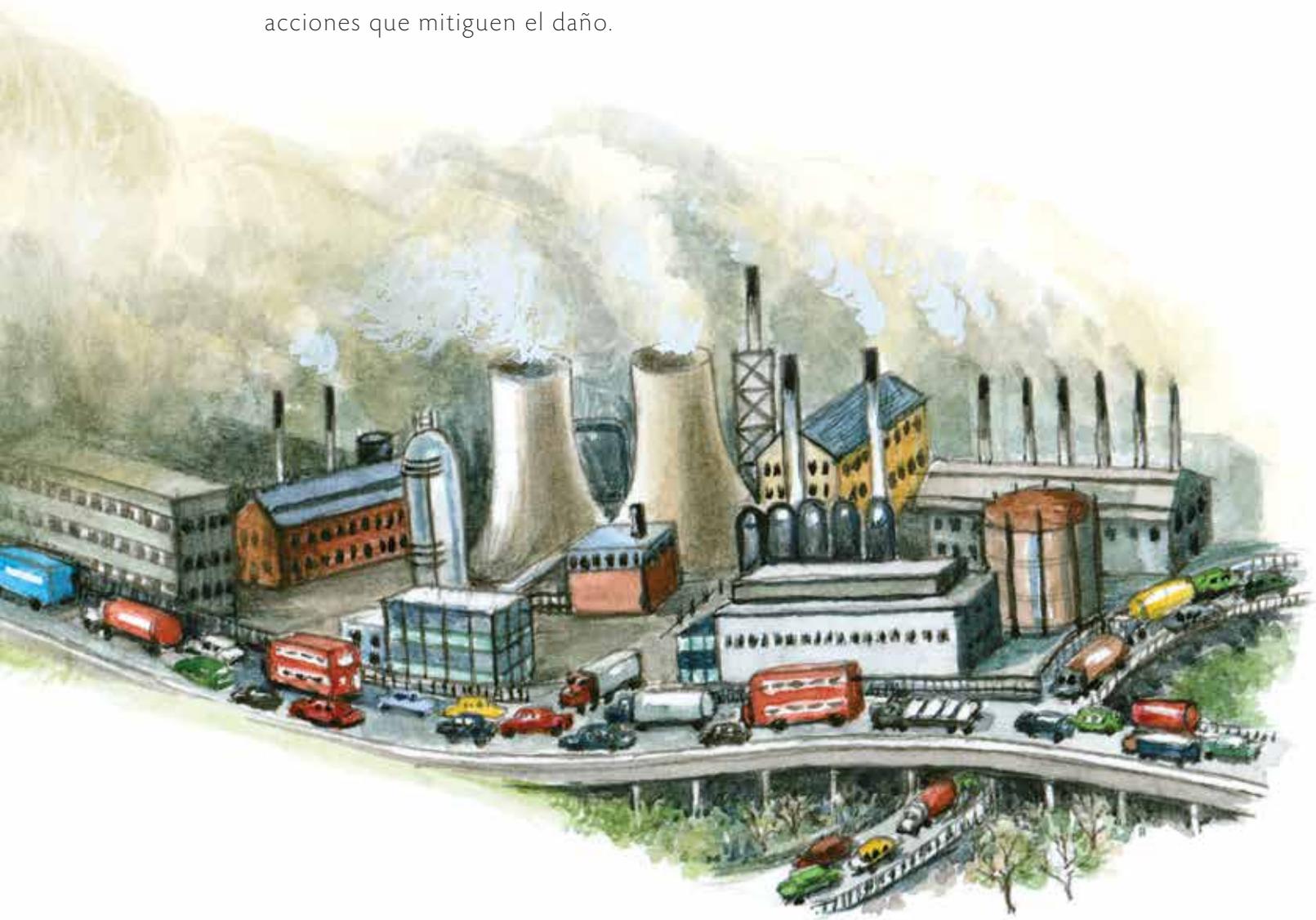
Juan Carlos Raya Pérez, Juan Gabriel Ramírez Pimentel,
César L. Aguirre Mancilla y Jorge Covarrubias Prieto



Consecuencias del cambio climático en la **agricultura**



Los datos de diversas fuentes apoyan la idea de que el cambio climático ya es un hecho. La temperatura media mundial ha aumentado y la estratificación del mar se ha intensificado. En la agricultura se ha comprobado que las plantas como el mijo han acortado su ciclo de vida para producir semilla en un tiempo más corto, con menos agua y temperaturas ambientales mayores. Países como China se preparan para hacer frente a este cambio, seleccionando plantas resistentes al calor y la sequía. Se han identificado incluso los genes que les permiten a las plantas estas adaptaciones. En algunas zonas de África la sequía impide la cosecha de grano, lo que obliga a los habitantes a comer plantas silvestres. En Sinaloa, México, los agricultores han adelantado sus fechas de siembra de maíz en invierno para evitar que el llenado de grano coincida con las altas temperaturas. Otras zonas también están resintiendo las consecuencias del cambio climático, como la aguacatera de Michoacán, que ahora tiene una mayor incidencia de granizo. Todo esto nos llama a la reflexión y a tomar acciones que mitiguen el daño.





Introducción

El cambio climático global es un fenómeno que ha suscitado interés tanto entre los científicos como en el público en general. La lista de fenómenos o sucesos asociados a este cambio es muy larga, si bien hay quienes piensan que el mismo no es necesariamente lo único que explica esos fenómenos. Sin embargo, se ha documentado la migración del centro de alta presión de las Azores, que se desplazó 1.12° latitud N y la zona de convergencia intertropical se movió a cerca de 800 km de su localización original (Taylor *et al.*, 2012). Esta zona, situada entre el hemisferio norte y el sur, rodea al globo, un poco al norte del Ecuador; es de gran turbulencia, baja presión atmosférica, con ascenso de vientos húmedos y alta nubosidad. Se movió hacia el sur durante la llamada Pequeña Edad de Hielo, que inició en el siglo XIII y terminó a mediados del XIX, caracterizada por la formación y el avance de glaciares e inviernos muy fríos.

Cabe señalar que por el cambio climático, para México se han pronosticado sequías más severas (Magaña *et al.*, 2000). En la zona aguacatera de Michoacán se reporta un incremento de 0.4 °C en la temperatura media y un cambio en el patrón de lluvias; ese incremento podría propiciar mayor cantidad de lluvia pero también de granizo (Tapia Vargas *et al.*, 2012).

De igual manera, una búsqueda minuciosa en el área de la ecología sin duda arrojaría una pléthora de artículos científicos relacionados con el cambio climático. De 1996 a 2010 la temperatura de la superficie marina subió 1°C y se intensificó la estratificación del mar; esto es, hay una mayor diferencia de temperatura en estratos con agua fría o caliente, con un menor ascenso de nutrientes desde el fondo marino (Taylor *et al.*, 2012). También disminuyó la cantidad de clorofila y la productividad primaria neta (Taylor *et al.*, 2012). Tres tipos de organismos dieron paso a taxones más pequeños, y colapsaron la pesca de sardinas: las diatomeas, algas microscópicas que elaboran complicados “estuches” a base de silicio; los dinoflagelados, organismos microscópicos que son parte del plancton marino y suelen ser responsables de las mareas rojas; y los cocolitofóridos, fitoplancton muy importante para la productividad marina.

Respecto a los agroecosistemas, se ha documentado poco su capacidad para responder a las variaciones ambientales; por ejemplo, la adopción de nuevas variedades o la adaptación de las ya existentes al cambio ambiental. De hecho, la actividad agrícola es responsable de la emisión de grandes cantidades de gases de efecto invernadero. El metano y el óxido nitroso (CH₄ y N₂O) son gases con 21 y 310 veces el potencial del



dióxido de carbono (CO₂) para calentar la atmósfera, respectivamente. Además, el óxido nitroso es el principal responsable de la destrucción de la capa de ozono en este siglo. Desde la era preindustrial la concentración de metano en la atmósfera se ha incrementado de 714 a 1770 ppb (partes por billón) y la del óxido nitroso de 270 a 314 ppb. El uso de fertilizantes nitrogenados ha aumentado 800% desde 1960, lo que ha agudizado los problemas de contaminación (Philippot y Hallin, 2011; Vigoroux *et al.*, 2011).

Ejemplos desde la agricultura

En una investigación encaminada a dilucidar los efectos del cambio climático en los cultivos, se estudiaron diferencias fenológicas y morfológicas de mijo colectado en 1976 y en 2003. El mijo de uno y otro año se sembró para comparar los resultados. Si bien no se detectaron cambios apreciables en las principales variedades cultivadas ni en su diversidad genética, sí se observó una deriva significativa en características adaptativas (Vigoroux *et al.*, 2011). Comparadas con las de 1976, las muestras colectadas en 2003 presentaron un ciclo de vida más corto y reducción en el tamaño de la planta y la panoja. La frecuencia del alelo del locus *PHYC* (un alelo es un gen que determina una característica) aumentó entre 1976 y 2003; este gen interviene en la floración temprana. La sequía recurrente que se ha presentado en el Sahel (zona de transición entre el desierto del Sahara y la sabana sudanesa) ha llevado a una selección, hasta cierto punto inconsciente, de plantas que florecen precozmente. Más que el remplazo de variedades, ha habido una selección de las ya presentes que permite a los agricultores obtener cosechas bajo las nuevas condiciones climáticas (Vigoroux *et al.*, 2011). Al parecer, en el Sahel la difusión de variedades no es la principal estrategia en el corto plazo para enfrentar la variación climática. Por su parte, los chinos ya están experimentado con plantas y seleccionándolas para que se adapten y produzcan bajo estas condiciones. Entre otras características, seleccionan plantas que produzcan polen viable aun con altas temperaturas y escasa humedad (Larson, 2013). El polen es muy sensible a estas condiciones y es una de las razones por las que las plantas que sufren escasez de



agua producen poco o nada. En China, con una población muy numerosa, tratan de prevenir hambrunas futuras.

Cambio a nivel de genes

A nivel molecular, otros genes que se han identificado por estar asociados a la floración temprana incluyen *FRI* (abreviatura de "frígida") y *FLC* (locus C de floración), los cuales hacen que la planta produzca más con menos agua; *VIP3* (gen independiente de vernalización), que reduce el tamaño total de la planta; *TFL1* (flor terminal 1), que disminuye la producción de semilla; *TFL2* (flor terminal 2), que produce enanismo y menor sensibilidad al fotoperiodo; y *CRY1* y *CRY2*, (*CRIPTOCROMO1* y *CRIPTOCROMO2*), que provocan que el fruto sea más pequeño, con menor número de óvulos y, por lo tanto, menor fertilidad. Además está el gen *PHYA* (*FITOCROMO A*), que causa deficiencia en la germinación. Como se puede observar, al parecer estos genes permiten a las plantas una mejor adaptación al ambiente más seco, aunque también esto



tiene un costo en cuanto a la productividad. Se trata de plantas que logran producir, pero lo hacen en menor cantidad que plantas cuyo ciclo de vida es largo pero que requieren más agua (Roux *et al.*, 2006).

En Zimbabue, en los años recientes, se ha presentado un descenso en la producción de cereales como el sorgo y el maíz, debido a las sequías recurrentes; esto ha hecho que la gente recurra al consumo de plantas silvestres como *Amaranthus hybridus*, *Brachiaria brizantha* y *Panicum máximum* (Chitindingu *et al.*, 2007). Sin duda, la adaptación de estas especies a las condiciones de sequía les ha permitido germinar y producir semilla, algo que aprovechan los habitantes de la región. En la naturaleza es posible observar cómo mientras se pierden cultivos, otras plantas silvestres, malezas o arvenses, pueden prosperar y completar su ciclo de vida.

Consecuencias en México

En México se siembra maíz con un ciclo de entre 90 y 120 días en regiones donde la precipitación es de 300 a 600 mm. El rendimiento de estos cultivos es muy bajo, con pérdidas de superficie sembrada superiores a 30% (Luna Flores *et al.*, 2005). Los rendimientos en tres años distintos para el maíz sembrado en estas condiciones fueron de 1 439 kg/ha (año 1998), 1 126 kg/ha (1997) y 894 kg/ha (1999). Vale la pena recordar que con un buen aprovisionamiento de agua, al menos se pueden cosechar más de cinco toneladas por hectárea.

Las variedades tardías de maíz, que son las que mayor rendimiento dan cuando hay buena precipitación, necesitan de cinco a siete días más para alcanzar la floración. La oportunidad de un periodo más largo de crecimiento vegetativo permite la acumulación y la translocación de más recursos a las semillas o granos. En ambientes desfavorables algunas variedades precoces dan mejor rendimiento que las tardías, lo que habla de su adaptación a estos ambientes donde tradicionalmente son sembradas (Luna Flores *et al.*, 2005).

En Sinaloa los agricultores han adelantado la siembra del ciclo otoño-invierno con respecto a la fecha óptima que habían indicado estudios previos. En un ensayo para determinar el mejor momento para sembrar el maíz, el rendimiento más alto se obtuvo en la fecha de siembra del 15 de noviembre, 32 días antes de



lo recomendado para el ciclo 1990-1991. Este ensayo se llevó a cabo en el ciclo 2002-2003. Así, en forma empírica los agricultores adelantaron la fecha de siembra a fin de lograr una mejor cosecha (Ramírez Díaz *et al.*, 2010).

Si en el ciclo otoño-invierno se siembra demasiado pronto, las plantas sufren las temperaturas bajas del invierno en sus primeras etapas de desarrollo. Si la siembra es muy tardía, las plantas estarán expuestas a las altas temperaturas durante el periodo de llenado de grano, cuando se está formando la mazorca. Lo que ha ocurrido es que las altas temperaturas han provocado bajos rendimientos, ante lo cual los campesinos han adelantado las fechas de siembra. No obstante, en el año 2010 la siembra de maíz en Sinaloa se declaró siniestrada a causa de la sequía.

El cambio climático está provocando sequías en algunas regiones y lluvia excesiva en otras. Y el clima se vuelve hasta cierto punto errático. En 2010, en Michoacán se perdió el 100% de la producción de aguacate en más de 10 000 hectáreas debido al granizo. En el Distrito Federal caen anualmente, en promedio, 743 litros de agua por metro cuadrado, pero en 2010 en tan sólo dos días, el 3 y 4 de febrero, cayeron 36 millones de metros cúbicos, lo que hundió a la ciudad en el caos.

Pese a que algunos se resisten a creer que el cambio climático está en marcha, cada vez más evidencias indican que debemos prepararnos para hacer frente a las consecuencias de nuestro desarrollo. Y también a tratar de remediar esas consecuencias, en lo posible, con acciones que ayuden a contaminar menos o permitan capturar o eliminar los gases de efecto invernadero, principalmente CO₂.

Juan Carlos Raya Pérez es biólogo por la Universidad Nacional Autónoma de México. Posee el grado de Doctor en Ciencias en Biotecnología de Plantas por el Cinvestav-IPN. Es profesor e investigador del Tecnológico Nacional de México en el Instituto Tecnológico de Roque. Es miembro del cuerpo de profesores de la maestría en Ciencias en Producción y Tecnología de Semillas y del doctorado en Ciencias en Producción Agroalimentaria. Es miembro fundador de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria.
juancarlos.raya@gmail.com

Juan Gabriel Ramírez Pimentel es ingeniero bioquímico por el Instituto Tecnológico de Celaya. Posee el grado de Doctor en Ciencias en Biotecnología de Plantas por el Cinvestav-IPN. Es profesor e investigador del Tecnológico Nacional de México en el Instituto Tecnológico de Roque. Es miembro del cuerpo de profesores de la maestría en Ciencias en Producción y Tecnología de Semillas y del doctorado en Ciencias en Producción Agroalimentaria. Es miembro fundador de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria.
drjgrp2004@yahoo.com.mx

César L. Aguirre Mancilla es ingeniero bioquímico por el Instituto Tecnológico de Colima. Posee el grado de Doctor en Ciencias en Biotecnología de Plantas por el Cinvestav-IPN. Es profesor e investigador del Tecnológico Nacional de México en el Instituto Tecnológico de Roque. Es miembro del cuerpo de profesores de la maestría en Ciencias en Producción y Tecnología de Semillas y del doctorado en Ciencias en Producción Agroalimentaria. Es miembro fundador de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria.
cesar.aguirre.m@mail.com

Jorge Covarrubias Prieto es ingeniero agrónomo por la Universidad Autónoma Chapingo y tiene el doctorado en Fitomejoramiento por la Universidad Estatal de Iowa, Estados Unidos. Es profesor e investigador del Tecnológico Nacional de México en el Instituto Tecnológico de Roque. Es miembro del cuerpo de profesores de la maestría en Ciencias en Producción y Tecnología de Semillas y del doctorado en Ciencias en Producción Agroalimentaria. Es miembro fundador de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria.
jor_covarru-jrg@hotmail.com

Bibliografía

- Chitindingu, K., A. R. Ndhalala, C. Chapano, M. A. Benhura y M. Muchuweti (2007), "Phenolic compound contents, profiles and antioxidant activities of *Amaranthus hybridus* (pigweed), *Brachiaria brizantha* (upright brachiaria) and *Panicum maximum* (guinea grass)", *Journal of Food Biochemistry*, 31:206-216.
- Larson, C. (2013), "Losing arable land, China faces stark choice: adapt or go hungry", *Science*, 339:644-645.
- Luna Flores, M., J. R. Gutiérrez Sánchez, A. Peña Ramos, F. G. Echavarría Chairez y J. Martínez Gómez (2005), "Comportamiento de variedades precoces de maíz en la región semiárida y árida del centro norte de México", *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28:39-45.
- Magaña V., C. Conde, O. Sánchez y C. Gay (2000), "Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México", en V. Magaña (ed.) y C. Gay (comp), *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*, México, Semarnap/UNAM/USCSP, pp. 15-21.
- Philippot, L. y S. Hallin (2011), "Towards food, feed and energy crops mitigating climate change", *Trends in Plant Science*, 16:476-480.
- Ramírez Díaz, J. L., J. J. Wong Pérez, J. A. Ruiz Corral y M. Chuela Bonaparte (2010), "Cambio de fecha de siembra del maíz en Culiacán, Sinaloa, México", *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33:61-68.
- Roux, F., P. Touzet, J. Cuguen y V. Le Corre (2006), "How to be early flowering: an evolutionary perspective", *Trends in Plant Science*, 11:375-381.
- Tapia Vargas, M., M. E. Pedraza Santos, A. Larios Guzmán, I. Vidales Fernández, H. Guillén Andrade y V. L. Barradas Vázquez (2012), "Variabilidad espacial de la lluvia por efecto de un sistema antigranizo en la franja aguacatera de Michoacán", *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35:91-96.
- Taylor, G. T., F. E. Muller-Karger, R. C. Thunell, M. I. Scanton, Y. Astor, R. Varela, L. Troccoli-Ghinaglia, L. Lorenzoni, K. A. Fanning, S. Hameed y O. Doherty (2012), "Climate change and marine ecosystems", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109:19315-19320.
- Vigoroux, I., C. Mariac, S. de Mita, J. L. Pham, B. Gerard, I. Kapran, F. Sagnar, M. Deu, J. Chantreau, A. Ali, J. Ndjeunga, V. Luong, A. C. Thuillet, A. A. Saïdou y G. Bezancon (2011), "Selection for earlier flowering crop associated with climatic variations in the Sahel", *PLoS ONE* 6(5):e19563.