

Figura 1. El fuerte impacto de los seres humanos en el medio ambiente ha conducido a la definición de la actualidad como parte de una era geológica denominada Antropoceno, que se alcanza tras una fase (Paleoantropoceno) que se inició hace un millón de años con la aparición de los primeros homínidos hasta hace aproximadamente medio siglo donde los experimentos nucleares dejaron una huella inequívoca, profunda y global de la actividad humana en el Planeta. Nótese que la escala de tiempo es logarítmica lo cual da idea de la aceleración del impacto humano sobre el planeta. Adaptado de Foley y col., 2013. The Palaeoanthropocene – The beginnings of anthropogenic environmental change. *Anthropocene* 3: 83-88.

**Fernando Valladares**  
MNCN-CSIC, Madrid

## Cambio global, la importancia de las interacciones entre factores y procesos

La propia humanidad está empujando al planeta a unas condiciones en las cuales una de las formas de vida que no serán posibles es la humana. Desde la aparición de los primeros homínidos hasta la actualidad, la injerencia del ser humano en los procesos naturales ha crecido de manera exponencial. Este hecho ha dado lugar a la era del Antropoceno, dominada por el cambio global, que incluye al cambio climático y a las numerosas alteraciones humanas del medio ambiente. Para comprender los impactos del cambio global es preciso analizar las interacciones entre todos los procesos y factores que se ven afectados directa e indirectamente por las actividades humanas. La incidencia humana sobre el ciclo hidrológico global resulta de la combinación de cambios en el consumo directo del agua, la alteración de la escorrentía superficial y de la modificación del clima del planeta. Un caso paradigmático de cambio ambiental multifactorial en el que el ser humano compromete su sostenibilidad es el de los polinizadores y la agricultura, en especial el declive de la abeja doméstica, responsable de más de un tercio de los alimentos de la humanidad.

## Recursos hídricos globales afectados por cambio climático y por intervención humana directa

Periodo de referencia (1970-2000)

Escenario de incremento de 2 grados de temperatura global media

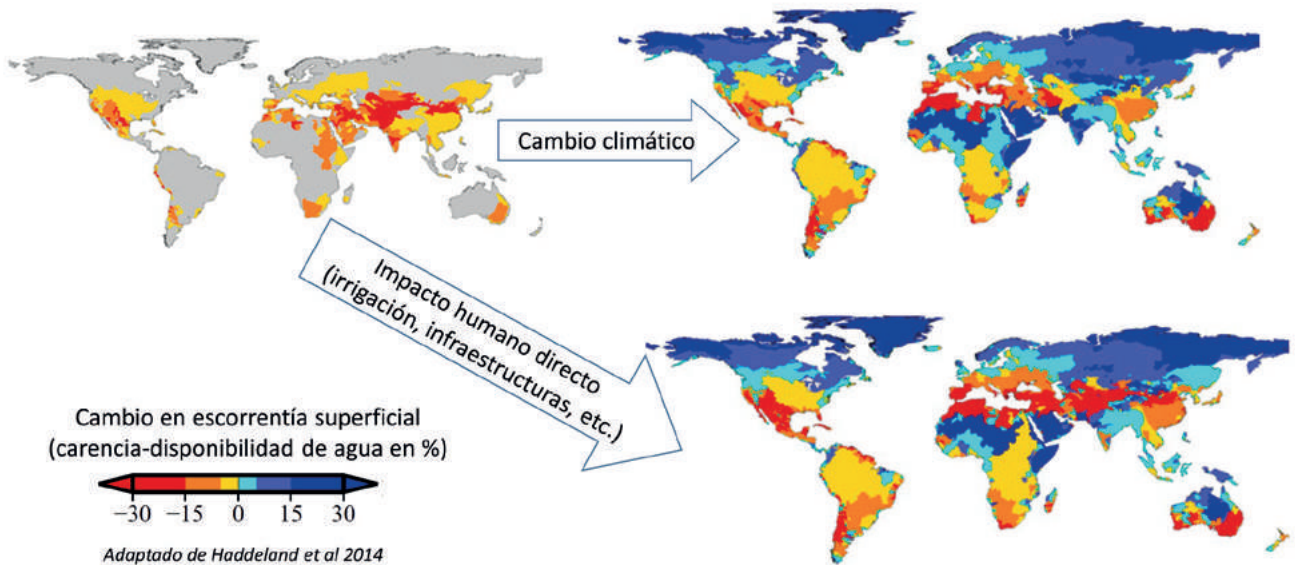


Figura 2. Recursos hídricos globales afectados por el cambio climático y por la intervención humana directa (irrigación, consumo, presas e infraestructuras) en un escenario de dos grados de incremento de temperatura media global a partir del periodo de referencia 1970-2000. La disponibilidad hídrica durante el periodo de referencia revela zonas de aridez (marcadas en colores amarillos y naranjas) que se acentúan en este escenario y se combinan con zonas donde las riadas e inundaciones aumentarán en gran manera la escorrentía superficial. Se puede ver que los escenarios donde tan solo se contemplan los cambios de disponibilidad debidos al cambio climático generan mapas globales muy parecidos y de similar magnitud que los que contemplan los cambios debido a intervención humana directa. El cambio global en este caso resultaría de la combinación de ambos escenarios lo cual implicaría cambios en los recursos hídricos de más de un 50% sobre el periodo de referencia. Adaptado de Haddeland y col., 2014. Global water resources affected by human interventions and climate change. PNAS 111: 3251-3256

Nos encontramos en un momento delicado en la historia de la humanidad. Lo paradójico es que es la propia humanidad la que está empujando al planeta a unas condiciones en las cuales una de las formas de vida que no serán posibles es la humana. El primer impacto humano global en el planeta ocurrió hace unos 50.000 años con la extinción de la megafauna del Pleistoceno. Aunque el ser humano ha estado modificando localmente el medio natural durante decenas de miles de años, es con la 'revolución neolítica', que trajo agricultura, ganadería y asentamientos permanentes, cuando la huella humana se hace conspicua y realmente global.

Está bien comprendido por los científicos y bien asimilado por la sociedad que nuestra emisión de gases con efecto invernadero, especialmente el CO<sub>2</sub> que liberamos por la quema de combustibles fósiles, está detrás del calentamiento global y las alteraciones climáticas asociadas. Pero hace ya más de 8.000 años que comenzamos a alterar el CO<sub>2</sub> atmosférico y esa temprana huella global es de-

tectable y medible. Las migraciones humanas llevaban asociado ya en la prehistoria el transporte voluntario o involuntario de micro y macro-organismos y de sus formas de resistencia (semillas, esporas, huevos, propágulos en general). Cada gran movimiento migratorio y cada campaña militar de conquista de nuevos territorios que tuvo lugar en los tres últimos milenios estuvo asociado a la movilización no solo del trigo, la alfalfa, la palmera, la cabra o el cerdo sino también de las ratas, el virus de la gripe, las chinches, las llamadas 'malas hierbas', las cucarachas o la lepra. Como todo proceso relacionado con el cambio global, la evolución temporal de estas 'invasiones biológicas' ha sido exponencial. En la actualidad tenemos varios centenares de especies exóticas, desde cotorras argentinas hasta mosquitos tigre, acacias, mejillones cebra, cangrejos rojos, ailantos, hierbas de las pampas o tortugas de Florida, que se han establecido en miles de zonas del planeta por acción del hombre y que están afectando al buen funcionamiento de numerosos ecosistemas

y causando importantes pérdidas económicas e impactos en la salud humana.

Al periodo que transcurre entre las primeras huellas inequívocas de la actividad humana en el funcionamiento del planeta y la revolución industrial se denomina Paleoceno (Figura 1). Entre la revolución neolítica, que trajo la implantación de la agricultura hasta la revolución industrial, el planeta ha sufrido varios momentos de expansión humana que han estado vinculados a la domesticación de ciertas especies muy productivas o a ciertos desarrollos tecnológicos que han permitido un crecimiento demográfico más intenso de nuestra especie. La revolución agraria del siglo XVIII trajo consigo un aumento de la población humana, al igual que ocurrió con la revolución verde en pleno siglo XX. La clave en la revolución verde estuvo en la recién adquirida capacidad de fertilizar los campos de forma extensiva y global gracias a la fijación artificial del nitrógeno atmosférico mediante el proceso de Haber-Bosch.

A partir de la revolución industrial el

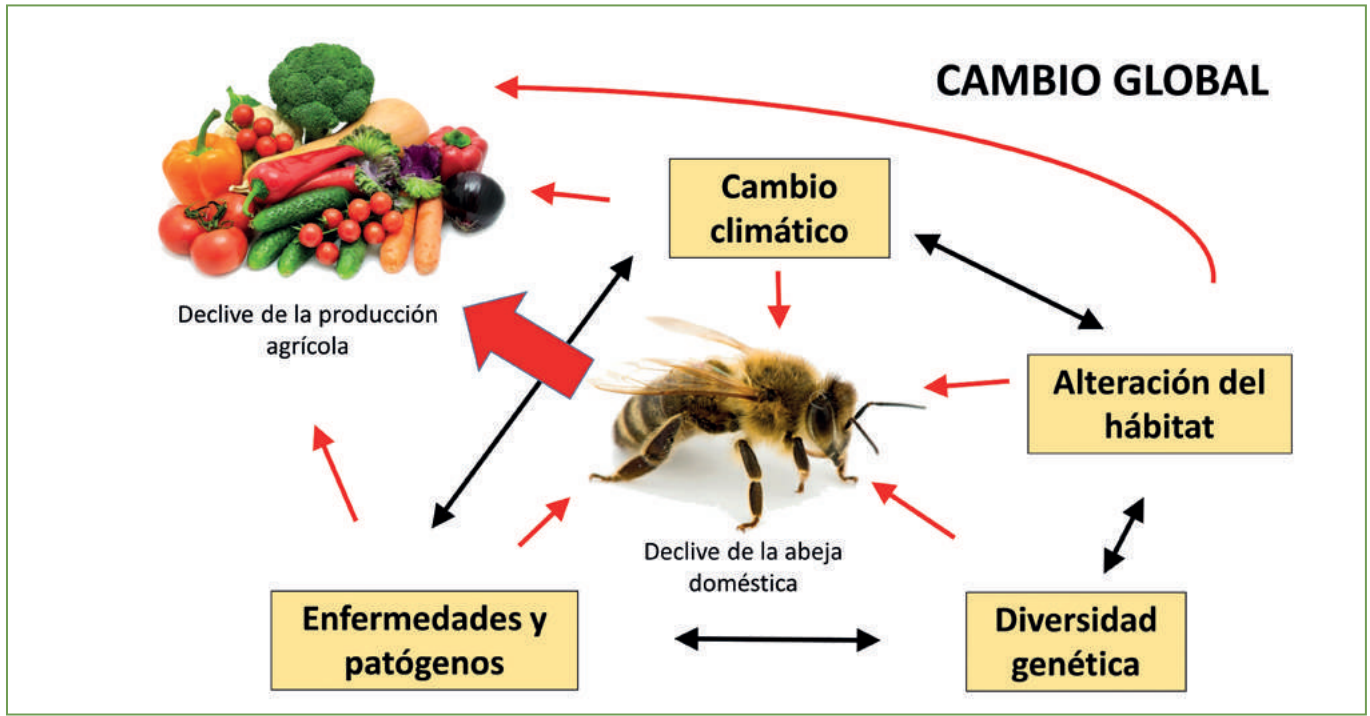


Figura 3. El declive de la abeja doméstica común como polinizador fundamental de dos tercios de los cultivos que alimentan a la humanidad está poniendo en riesgo la producción agrícola mundial. El declive de la abeja es el resultado de la interacción entre muchos factores ambientales que están siendo transformados por las actividades humanas, principalmente el cambio climático, la degradación del hábitat, la disminución de la diversidad genética y la introducción y expansión de especies exóticas, plagas y enfermedades. La producción agrícola, a su vez, se ve amenazada además de por la disminución de polinizadores por toda una serie de factores desde el propio cambio climático hasta la contaminación y las plagas.

impacto humano se dispara y crece de forma exponencial. Pero no será hasta los años 50 del siglo XX que se encuentran testigos irrefutables y globales de la huella humana y se acepta por el mundo académico el comienzo de una nueva era, el Antropoceno, caracterizada precisamente por esa influencia profunda del ser humano en el funcionamiento del planeta Tierra (Figura 1). A partir de este momento, el cambio climático impulsado por las actividades humanas (sobre todo la quema de combustibles fósiles) ha ido cobrando mayor protagonismo en las transformaciones planetarias convirtiéndose en un factor clave del cambio ambiental global. Hoy en día la incidencia humana sobre el ciclo hidrológico global es muy alta al combinarse su injerencia en el consumo directo del agua y su alteración de la escorrentía superficial mediante todo tipo de infraestructuras con su alteración del clima del planeta. Con esta doble acción se generan extensas zonas donde el cambio en la disponibilidad de agua llegará a ser de entre un 30% y un 50% menor respecto al periodo de referencia 1970-2000, cuando se alcancen dos

grados más de temperatura global media (Figura 2).

Un caso paradigmático de cambio ambiental multifactorial en el que el ser humano compromete su sostenibilidad, afectando a numerosas partes de ciclos complejos e interrelacionados, es el caso de los polinizadores y la agricultura. Se ha observado un declive global tanto de los polinizadores naturales o salvajes como de la abeja doméstica común. Este declive no es preocupante solamente por el impacto que tiene en sectores como el de la producción de miel, sino sobre todo por el hecho de que las abejas son responsables de un tercio de la comida que alimenta a la humanidad, polinizando el 71% de los cultivos que alimentan a un 90% de la población humana, según estimaciones de la FAO. Las abejas están acusando tanto el cambio climático como toda una serie de alteraciones ambientales que interaccionan entre ellas de formas no siempre bien comprendidas por la ciencia (Figura 3).

Extrayendo fósforo del suelo y nitrógeno del aire para hacer fertilizantes y aprovechando la energía basada

/ A partir de la revolución industrial, el impacto humano se dispara y crece de forma exponencial /

en el carbono que se almacenó durante cientos de millones de años, los seres humanos estamos aumentando la productividad y acelerando ciertas partes de los ciclos de la materia y energía muy por encima de los niveles naturales. El ser humano bate records planetarios con inusitada facilidad y rapidez. Quizá uno de los más sorprendentes es el de ser la única especie capaz de apropiarse de aproximadamente la cuarta parte de toda la producción biológica primaria neta de la Tierra.