



Foto 1: *Artemisia annua* produce más artemesinina, un compuesto utilizado para controlar el parásito de la malaria, conforme aumenta el CO₂.

Evaluación de los niveles crecientes de dióxido de carbono en la biología de las malas hierbas: 'El bueno, el feo y el malo'

Lewis H. Ziska

PhD, USDA-ARS,
Adaptive Cropping
Systems Laboratory.
l.ziska@ars.usda.gov

Se prevé que hacia 2018 la concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO₂) supere las 410 ppm, un aumento de alrededor del 30% frente a la primera medición realizada a finales de la década de 1950 en Mauna Loa, Hawaii (~315 ppm). Las previsiones futuras para finales de siglo señalan como valor probable de CO₂ una cifra de entre 600 a 1000 ppm (Pauchari y Reisinger, 2007).

El CO₂ se absorbe en la porción infrarroja del espectro, por lo que el aumento de su concentración desempeñará un papel significativo en el calentamiento de la superficie. En el medio ambiente físico, el cambio de unas temperaturas superficiales y estacionales a episodios de precipitaciones y clima extremo afectará, a su vez, a la biología de las plantas. La naturaleza de este papel, tanto en términos de cambios en la demografía de las plantas como de competencia, entre otros factores, sigue siendo objeto de investigaciones actuales.

El CO₂ en aumento tiene además otro papel en la biología de las plantas, y es un papel fundamental: la fuente de carbono de la fotosíntesis. Los niveles actuales de CO₂ se encuentran por debajo de los óptimos para cerca del 95% de todas las especies de plantas, las que tienen la vía fotosintética C3. En consecuencia, las plantas deberían responder positivamente al aumento de CO₂. Acerca del impacto del aumento del CO₂ en la fotosíntesis y en el crecimiento potencial de las plantas se afirma en ocasiones que “el CO₂ es alimento para las plantas”; algunos investigadores lo consideran un beneficio universal (Robinson y Robinson, 1997).

El papel del aumento de CO₂ en la biología de las malas hierbas

Esta creencia extendida, “El CO₂ es alimento para las plantas”, se asienta firmemente en la fisiología de las plantas; no obstante, los resultados del aumento de CO₂ no pueden valorarse globalmente como positivos. El aumento de CO₂ no distingue entre plantas ‘buenas’ y ‘malas’. Los conceptos de ‘bueno’ y ‘malo’ se definen aquí de acuerdo con las necesidades humanas. Por ejemplo, una planta es ‘mala’ si causa daño económico o ambiental a los sistemas de manejo de plantas, como la agricultura o la silvicultura; sin embargo, la noción de ‘malo’ es subjetiva, y difiere de un cultivo a otro. La consideración de ‘malo’ puede variar además de ‘una molestia menor’ a ‘un problema mayor’, según valoraciones subjetivas. Teniendo en cuenta estas categorías, ¿qué efecto podría tener el aumento de CO₂ en la biología de las malas hierbas en el contexto de lo ‘bueno’, lo ‘malo’ o lo ‘feo’?

La ‘buena’

Artemisia annua, también conocida como ajeno dulce, ajeno chino, artemisa dulce o artemisa anual (chino: 黄花蒿; pinyin: huánghuahao), es una mala hierba común que crece al borde de las carreteras en la parte central del Atlántico de los Estados Unidos; es considerada generalmente una mala hierba ‘molesta’, parti-

/ El aumento del CO₂, por sí mismo, va a transformar fundamentalmente la manera en que entendemos la biología de las malas hierbas /

cularmente porque contribuye al aumento de alergias otoñales causadas por el polen (Foto 1).

No obstante, esta misma planta es conocida también por sus diferentes propiedades medicinales. Entre ellas, destaca su capacidad única para controlar el parásito de la malaria (Elfawal y col., 2015). La artemesinina es un fármaco derivado de *Artemisia annua* que, cuando se modifica a artesunato o arteméter y se combina con otros fármacos antipalúdicos, principalmente con mefloquina, puede utilizarse para controlar eficazmente el parásito de la malaria *Plasmodium falciparum*. Por tanto, si el aumento del CO₂ puede alterar el crecimiento y la biología de las plantas, ¿es posible que también afecte a la producción o a la concentración de este compuesto en *A. annua*?

A fin de estudiar este posible efecto, un grupo de científicos de China, Australia y Estados Unidos han colaborado en el análisis de muestras históricas de *A. annua* recogidas en 236 lugares (principalmente herbarios) ubicados en toda China (Zhu y col., 2015). Las muestras examinadas datan de 1905 a 2009, para simular los cambios recientes en el CO₂ atmosférico (esto es, de unos 305 a 390 ppm de CO₂, lo que significa un aumento de aproximadamente un 30%). Dados los años de recogida de las muestras, la artemesinina no ha podido ser medida directamente, pero existen trabajos anteriores que señalan la fuerte relación alométrica entre el aumento del porcentaje de CO₂ y el carbono con respecto al nitrógeno (C:N). A lo largo del siglo XX se observa un patrón coherente

entre el aumento de CO₂ atmosférico y el aumento en la concentración de artemesinina en *A. annua* (Zhu y col., 2015). Esta es la primera evidencia de que los aumentos históricos —y probablemente también los previstos— de CO₂ atmosférico pueden estar asociados con aumentos globales en la concentración de la artemesinina generada por esta mala hierba que crece al borde de la carretera. Esto significa que podríamos disponer de una gran cantidad de droga proveniente de una misma área cultivada, lo que supondría una contribución positiva a la lucha contra la malaria.

La ‘mala’

Existe, en la ciencia de las malas hierbas, un estudio clásico realizado en los años cincuenta, que aún cuenta con resonancia en la actualidad (Vengris y col., 1955). Si los cultivos y las malas hierbas compiten por los fertilizantes, ¿sería posible hacer desaparecer o eliminar esta competencia añadiendo fertilizantes por encima de los niveles óptimos? (la lógica subyacente es que con tal cantidad de fertilizante se reduciría la competencia entre las malas hierbas y los cultivos). Para sorpresa de todos —excepto quizás del agricultor—, se ha observado que el aumento de fertilizante causa una disminución importante del rendimiento de los cultivos —maíz (que llega a cero); la biomasa de malas hierbas aumenta significativamente.

En la actualidad, si bien es necesario realizar más investigaciones, hay consenso en que el aumento de CO₂ (como el fertilizante, un recurso que necesitan las plantas) provoca un incremento de malas hierbas, frente al de los cultivos, que puede tener posibles impactos negativos en los rendimientos de los cultivos (Ziska, 2011). Inicialmente se pensó que la respuesta de las malas hierbas y de los cultivos al aumento del CO₂ podría favorecer a los cultivos. Esta suposición se basó en las diferencias en la asignación de las vías fotosintéticas C3 y C4 entre cultivos y malas hierbas (a saber, la vía fotosintética C3, en su mayoría el caso de los cultivos, no posee tasas de fotosíntesis óptimas con los niveles de CO₂ actuales, mientras que la vía fotosinté-

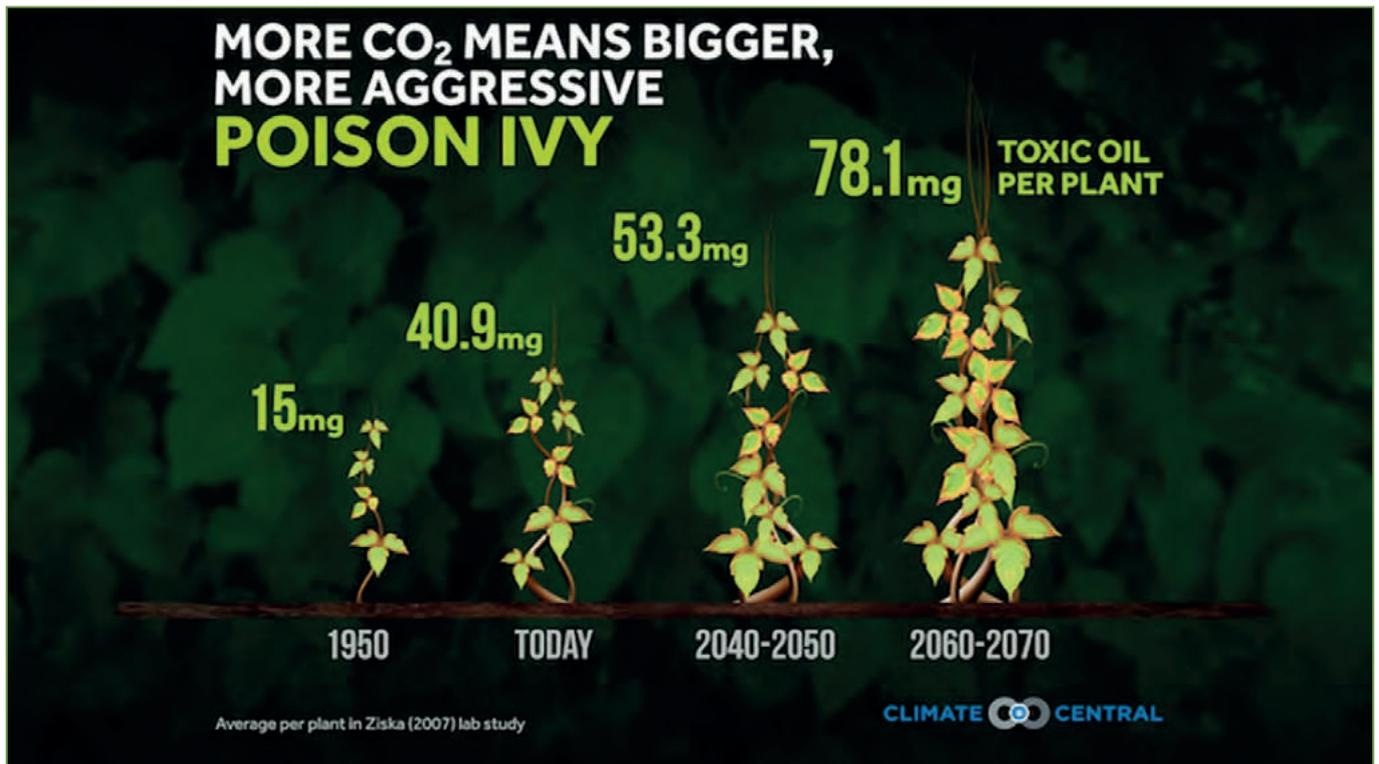


Gráfico 1: El aumento de CO₂ ha generado una forma de urushiol más alergénica en la hiedra venenosa (*Toxicodendron radicans*).

tica C4, en su mayoría el caso de las malas hierbas, debería tener una respuesta menor al aumento de CO₂).

Sin embargo, la categorización de cultivos y malas hierbas como C3 y C4 no describe adecuadamente las condiciones agronómicas *in situ*. Un cultivo compite aproximadamente con un promedio de ocho especies de malas hierbas (Bridges, 1992). A menudo, estas malas hierbas son simplemente parientes silvestres del cultivo (por ejemplo, arroz y arroz rojo; sorgo y caña de azúcar, avena y avena silvestre, entre otros). Como tales, tienen la misma vía fotosintética y, en muchos casos, la mala hierba es la que se beneficia del CO₂ adicional, con el consiguiente impacto en la producción de los cultivos. Además, existe un conjunto de datos interesantes, aunque limitado, que indican que en el caso de las malas hierbas con vía fotosintética C4, otros cambios ambientales que podrían provocar niveles más altos de CO₂ no dan como resultado, *de facto*, un aumento de ventajas competitivas de ningún tipo para los cultivos C3 en su interacción con las malas hier-

bas C4. Por ejemplo, a temperaturas más altas e índices más altos de CO₂, o a niveles más altos de CO₂ y mayor sequía, las malas hierbas C4 todavía pueden obtener beneficios (Alberto y col., 1996; Valerio y col., 2011). En general, se aprecia que, a medida que aumenta el CO₂ atmosférico, las malas hierbas tienden a aumentar, frente a la respuesta de los cultivos, lo que tiene consecuencias significativas, que aún no se conocen bien, en el impacto de las malas hierbas y su manejo futuro.

La 'fea'

Es obvia la preocupación que causan los impactos económicos de las malas hierbas en la agricultura; sin embargo, la designación de 'mala hierba' se aplica con frecuencia a una planta por el efecto negativo que tiene en la salud humana. Un ejemplo de estas malas hierbas es la hiedra venenosa, *Toxicodendron radicans*, que se encuentra en cuatro continentes y que produce una resina, el urushiol, que puede producir dermatitis por contacto. La mayoría de las personas, cerca del

85%, son sensibles al urushiol y las reacciones a este aceite pueden ser dolorosas¹.

¿Podría el aumento de los niveles de CO₂ tener un efecto en el crecimiento de la hiedra venenosa y, quizás lo más importante, en la cantidad o la calidad química del urushiol? Tanto los estudios de campo como los de cámara indican que la fotosíntesis, el crecimiento y la biomasa de la población de la hiedra venenosa son sensibles incluso a pequeños aumentos de CO₂ atmosférico (100 ppm) por encima de los puntos de referencia de mediados del siglo XX (Mohan y col., 1996; Ziska y col., 2007). Con respecto al urushiol, el CO₂ previsto *per se* no ha aumentado su concentración; sin embargo, debido a que el CO₂ ha provocado un incremento de la biomasa foliar, la cantidad de urushiol producido por planta sí que ha aumentado (Ziska y col., 2007). Además, se han observado cambios en la química del urushiol, y las plantas con más CO₂ han generado una forma de urushiol más alergénica (Mohan y col., 2006). El impacto de estos cambios, en un sentido más

¹ <http://www.poison-ivy.org/rash>

global o más general, como sucede con el impacto del CO₂ en otras malas hierbas con efectos negativos en la salud humana (p. ej., el polen), podría considerarse dentro del contexto de las consecuencias 'feas' del CO₂ con respecto a la biología de las malas hierbas (Gráfico 1).

Finalmente

El aumento del CO₂, por sí mismo, va a transformar fundamentalmente la manera en que entendemos la biología de las malas hierbas. Esas transformaciones son difíciles de categorizar mediante un modelo de 'talla única'. Más bien, como se muestra aquí (Tabla 1), veremos una diversificación de las consecuencias del aumento del CO₂ en la biología de las malas hierbas y de sus efectos en el ser humano. Además, esta variación podría tener consecuencias significativas tanto en la salud humana como en la economía de la producción agrícola; no obstante, todavía no conocemos bien la naturaleza de este fenómeno.

Mala hierba	¿Aumento de CO ₂ ?	Consecuencias
«Buena»		
<i>Artemisia annua</i>	Mayor producción de artemisinina	Aumento potencial de la eficacia de la ACT
«Mala»		
<i>Chenopodium</i>	Mayor crecimiento y producción de semillas	Mayor capacidad competitiva con el cultivo
«Fea»		
Hiedra venenosa	Aumento de la toxicidad del urushiol	Aumento de la dermatitis por contacto

Tabla 1. Posibles consecuencias de los aumentos recientes o previstos de la concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO₂) con respecto a las malas hierbas «buenas», «malas» o «feas». Hay que tener en cuenta que se trata solo de ejemplos.

Bibliografía



- Pachauri, R.K. and Reisinger, A., 2007. IPCC fourth assessment report. *IPCC, Geneva*, p.2007.
- Robinson, A., and Robinson, Z. 1997. Science has spoken, global warming is a myth. *The Wall Street Journal*, December 4.
- Elfawal, M.S., Towler, M.J., Reich, N.G., Weathers, P.J., Rich, S.M. 2015. Dried whole-plant *Artemisia annua* slows evolution of malaria drug resistance and overcomes resistance to artemisinin. *PNAS*, 112: 821-826.
- Zhu, C., Zeng, Q., McMichael, A., Ebi, K.L., Ni, K., Khan, A.S., Zhu, J., Liu, G., Zhang, X., Cheng, L. and Ziska, L.H., 2015. Historical and experimental evidence for enhanced concentration of artemisinin, a global anti-malarial treatment, with recent and projected increases in atmospheric carbon dioxide. *Climatic Change*, 132: 295-306.
- Vengris, J., W.G. Colby, and M. Drake. 1955. Plant nutrient competition between weeds and corn. *Agron. J.* 47:213-216.
- Ziska, L.H. 2011. Global Climate Change and Carbon Dioxide: Assessing Weed Biology and Management. In: *Handbook of climate change and agro-ecosystems: Impacts, adaptation and mitigation*. (eds., Rosenzweig C, Hillel D), World Scientific Publishing, Hackensack, NJ, pages 191-208.
- Bridges, D.C. 1992. Crop losses due to weeds in the United States. *Weed Sci. Soc. Am.*, Champaign, IL.
- Alberto, A.M., Ziska, L.H., Cervancia, C.R. and Manalo, P.A., 1996. The influence of increasing carbon dioxide and temperature on competitive interactions between a C3 crop, rice (*Oryza sativa*) and a C4 weed (*Echinochloa glabrescens*). *Functional Plant Biology*, 23(6), pp.795-802.
- Valerio, M., Tomecek, M.B., Lovelli, S. and Ziska, L.H., 2011. Quantifying the effect of drought on carbon dioxide-induced changes in competition between a C3 crop (tomato) and a C4 weed (*Amaranthus retroflexus*). *Weed Research*, 51(6), pp.591-600.
- Mohan, J.E., Ziska, L.H., Schlesinger, W.H., Thomas, R.B., Sicher, R.C., George, K. and Clark, J.S., 2006. Biomass and toxicity responses of poison ivy (*Toxicodendron radicans*) to elevated atmospheric CO₂. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(24), pp.9086-9089.
- Ziska, L.H., Sicher, R.C., George, K. and Mohan, J.E., 2007. Rising atmospheric carbon dioxide and potential impacts on the growth and toxicity of poison ivy (*Toxicodendron radicans*). *Weed Science*, 55(4), pp.288-292.