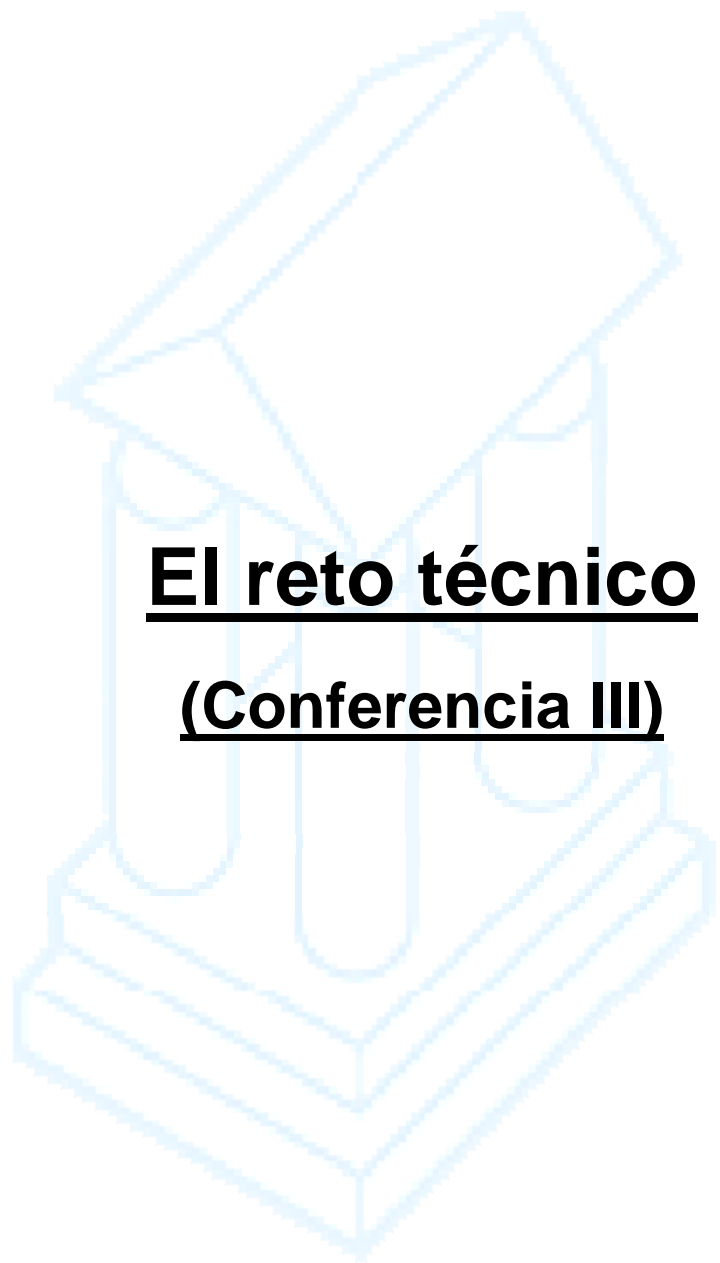




***ALIMENTAR A LA  
HUMANIDAD EN 2050:  
ESPAÑA Y EUROPA EN  
EL CONTEXTO  
GLOBAL***

**Director: Francisco García Olmedo**



# **El reto técnico**

**(Conferencia III)**

### **Factores de producción limitados**

El reto de aumentar la disponibilidad de alimentos en un 70 por ciento para el año 2050 no es, ni mucho menos, exclusivamente técnico, aunque no hay duda de que para responder a él no basta con aplicar el actual estado del arte sino que habrá que realizar una serie de avances técnicos cuyo buen fin es, por ahora, incierto. La dificultad radica en las limitaciones que ya han surgido y seguirán surgiendo en las disponibilidades de factores esenciales para la producción agrícola, como son el suelo laborable, el agua, la energía y los nutrientes, así como el continuo cambio de las reglas del juego que lleva consigo el cambio climático.

Las mencionadas limitaciones han de situarse en el marco actual de la dominación humana de los ecosistemas de la Tierra (Tabla 3-1).

**Tabla 3-1.** Magnitud aproximada de los impactos humanos sobre la Tierra\*

<b>Alteración de los ecosistemas terrestres</b>	<b>Fracción alterada</b>
Transformación del territorio por el ser humano	42 % de la superficie
Consumo humano de la biomasa vegetal (incl. bosques)	40 % del total
Invasión de hábitats por plantas foráneas	20% de las especies
Extinción de pájaros en los dos últimos milenios	22 % de las especies
Pesquerías explotadas al máximo, en exceso, o extintas	60 % de la marinas
Emisiones de CO <sub>2</sub> de origen antropogénico	20 % del total emitido
Fijación artificial de nitrógeno	58% de fijación biológica
Agua dulce renovable apropiada por el ser humano	> 54 %

\*Basado en Vitousek et al. *Science* 277, 294 (1997)

Nuestro conocimiento del hábitat global y nuestra capacidad técnica para explotarlo no están en consonancia con nuestra habilidad para gestionarlo de una forma sostenible, ante el aumento incesante de la población y del consumo per cápita. La transformación del territorio supone ya el 40 por ciento del disponible y ha ocurrido como consecuencia de actividades de diversa intensidad y distintas consecuencias, pero de forma prominente por la necesidad de producir alimentos. Por encima del 10 por ciento del suelo ha sido destinado a la práctica agrícola y otro 6-8 por ciento ha sido convertido en pastizales. Consumimos ya el 40 por ciento de la producción vegetal (en suelo cultivado, pastos y bosques); somos responsables del 20 por ciento del CO<sub>2</sub> generado, y el nitrógeno fijado artificialmente es ya el 58 por ciento

del fijado de modo natural. Dentro de este panorama general, la especie humana se apropia de más del 54 por ciento del agua dulce renovable que es accesible. Detengámonos brevemente a considerar los distintos factores.

### **Suelo laborable**

Es sabido que, hace más de dos siglos, Robert Malthus supuso que mientras la población humana iba a crecer según una progresión geométrica, la producción de alimentos lo iba a hacer según una progresión aritmética. La realidad se ha encargado de desmentir a Malthus, al menos hasta muy recientemente, ya que, aunque la población creció más deprisa que lo predicho, la producción de alimentos aumentó a una tasa mayor que la del crecimiento de la población. Hasta mediado el siglo XX, fue el aumento de la superficie cultivada el que resolvió principalmente el problema, aunque también se produjeron variedades mejoradas genéticamente que aumentaron el rendimiento por hectárea. A partir de ese momento, el aumento de la producción de alimentos ha dependido casi exclusivamente del aumento del rendimiento por unidad de superficie, ya que para esas fechas se habían puesto en cultivo todas las tierras idóneas para tal fin, junto a millones de hectáreas que jamás debieron cultivarse. Desde hace medio siglo, el suelo es un factor de producción limitado: si entonces se disponía de media hectárea por persona para alimentarnos, en el 2050, de acuerdo con las predicciones, dispondremos de menos de un tercio de esa cifra. Por supuesto que todavía puede ponerse nuevo suelo en cultivo, sobre todo, con algunas enmiendas técnicas, en África y América del Sur, pero el suelo laborable se destruye a mayor velocidad de la que se crea, debido a la expansión de las ciudades y las infraestructuras, la erosión, la desertización o la salinización.

El suelo agrícola se ha convertido en un bien de carácter estratégico que hace bastante tiempo atrae las inversiones de los grandes especuladores financieros. Así por ejemplo, son numerosas las grandes fortunas que han comprado considerables extensiones en países tales como Namibia, Chile o Argentina, país este último en el que una docena de propietarios han acaparado más de una docena de millones de hectáreas que cubre más de la mitad de sus acuíferos. Más recientemente, países como China, Corea del Sur, Arabia Saudí, Emiratos, Qatar o incluso Sudáfrica, andan comprando o arrendando a largo plazo millones de hectáreas en otros países, sobre todo africanos. Así por ejemplo, la venta fallida de miles de hectáreas a Corea

del Sur hizo caer recientemente el gobierno de Madagascar. Este nuevo fenómeno ha tomado por sorpresa incluso a instituciones especializadas como la FAO, que han debido apresurarse a estudiar el fenómeno para poder tomar decisiones apropiadas a sus objetivos. La limitación del factor suelo hace gravitar sobre otros factores el cumplimiento del objetivo antes enunciado de aumentar un 70 por ciento la producción de alimentos para el año 2050.

### **Aqua de riego**

Las necesidades humanas de agua componen una demanda global cuya dimensión obliga a considerarla como un recurso natural que puede resultar limitante para el desarrollo económico. No es sencillo establecer cuál es el umbral de la pobreza respecto a la disponibilidad de agua dulce (limpia o contaminada), ya que si bien las necesidades fisiológicas para beber se establecen de forma objetiva, el mínimo necesario para mantener una adecuada calidad de vida es más elusivo. Algunos expertos han cifrado en 100 litros por persona y día las necesidades mínimas para bebida, cocina, higiene y otros fines domésticos. A esta cifra hay que añadir la del agua necesaria para la actividad agrícola, la producción industrial y la generación de energía, lo que supone varios centenares de litros adicionales. Una situación se considera como de escasez extrema si las disponibilidades totales de agua dulce no superan los 1.000 metros cúbicos por persona y año, mientras que la ausencia de estrés hídrico se sitúa por encima del límite de 1.700 metros cúbicos por persona y año. De forma aproximada, el 15 por ciento del agua se destina a fines domésticos, otro 15 por ciento a usos industriales y la mayor parte, el 70 por ciento a la producción agrícola. En España, país cuya pluviosidad es limitada, se dedica a regadíos una proporción del agua bastante superior a la media europea. Además, éste es uno de los países con mayor número de embalses para la producción hidroeléctrica, un uso que es compatible con el agrícola.

En contraste con la proporción de la población mundial que pasa hambre, que viene disminuyendo, aunque no de forma satisfactoria, la de los que padecen escasez extrema de agua va en aumento, del 3 por ciento en 2000 al 7 por ciento que se predice para 2025, al igual que la de los que padecen estrés hídrico, del 5 por ciento al 31 por ciento en el periodo señalado.

El agua dulce es el principal factor limitante de la producción agrícola. A diferencia de otros recursos naturales, el agua no tiene sustitutos para la mayor parte de sus usos y su transporte es costoso e impracticable más allá de unos cientos de kilómetros. El agua dulce representa menos del 3 por ciento del volumen total de agua que hay en el planeta y, además, dos tercios de ella se encuentran atrapados en forma de hielo en polos y glaciares, mientras que el tercio restante se distribuye entre seres vivos, atmósfera, ríos, lagos, zonas pantanosas, acuíferos subterráneos y poros del suelo. No toda el agua dulce es renovable, ya que existen vastos depósitos de agua fósil subterránea, acumulada en tiempos pretéritos sin que se explote o se renueve. Éste es el caso del depósito existente en el subsuelo de la desértica Libia, a partir del cual se está procediendo a crear un río artificial que se secará cuando éste se agote.

Lo que llueve sobre tierra es del orden de 110 *mkmc* (mil kilómetros cúbicos), de los que 70 *mkmc* vuelven a la atmósfera en forma de vapor y 40 *mkmc* fluyen hacia el mar, ya sea en corrientes superficiales –ríos y escorrentías– o subterráneas, completándose así el ciclo hidrológico. Se estima que un 26 por ciento de los 70 *mkmc* de agua dulce que vuelven a la atmósfera desde tierra, corresponden a la evapo-transpiración de la masa vegetal de los cultivos, pastos y bosques que nos apropiamos.

De los 40 *mkmc* que fluyen hacia el mar, sólo 12,5 *mkmc* nos serían accesibles geográfica y temporalmente, ya que el resto corresponde a flujos remotos y a inundaciones no captables. Una sola especie en toda la biosfera, la nuestra, se apropia de más de la mitad del agua dulce accesible, entre los usos substractivos (35 por ciento), que son la mayoría, y la utilización en flujo (19 por ciento), que incluye, entre otros, los usos recreativos y los relacionados con el transporte. Para el 2025, algunos expertos estiman que la apropiación humana podría representar el 75 por ciento del agua accesible, lo que no evitaría que entre 3.000 y 4.000 millones de personas estuvieran bajo un régimen de escasez extrema o de estrés hídrico. Ante esta situación de demanda prioritaria de agua, difícilmente se podrá dedicar una mayor proporción a la producción agrícola, respecto a la cual sólo cabe una mejor gestión y aprovechamiento de la fracción que ya se dedica a este fin. Es cierto que todavía hay localidades en las que es posible la implantación del riego, pero el

proceso de degradación de los regadíos, por salinización o por contaminación de acuíferos, supera con creces al proceso creativo. De hecho, el agua dedicada a la agricultura puede verse disminuida en el futuro por la competencia de las demandas para otros fines, especialmente por la de los requerimientos de flujos mínimos para el mantenimiento de los ecosistemas y el medio ambiente, un agua que no ha venido entrando en los cálculos hasta ahora. La desalinización del agua de mar es un proceso que, a pesar de la mejora progresiva de su eficiencia y de su abaratamiento, sigue siendo prohibitivamente costoso tanto en términos económicos como energéticos, por lo que no puede proponerse como solución para las demandas agrícolas. Por otra parte, el cambio climático está modificando la geografía de la lluvia y la sequía, lo que alterará las fracciones dedicadas a los distintos usos en cada región, y por otra parte, inducirá un aumento de las temperaturas que incrementará la evapotranspiración.

### **Energía**

La agricultura moderna depende en gran medida de la energía fósil. El progreso de la actividad agrícola a lo largo del siglo XX ha llevado asociado un incremento notable de la energía consumida tanto de modo directo, en la realización de las distintas operaciones, como indirectamente, en la producción de los insumos necesarios para dicha actividad, tales como los fertilizantes, los productos fitosanitarios o la maquinaria. Este incremento de la energía consumida ha sido uno de los factores responsables del notable aumento de la producción de alimentos que ha tenido lugar, especialmente desde los años sesenta. Como ejemplo ilustrativo puede utilizarse el caso del maíz en Estados Unidos: en 1910, el consumo directo de combustible por tonelada de grano era desdeñable frente a los 20 litros que se consumían en 1980, lo mismo que el consumo indirecto imputable a los fertilizantes (5 kg/Tm), los fitosanitarios (0,5 kg/Tm) o la maquinaria. En contraste, la mano de obra necesaria bajó de más de 60 horas/Tm a menos de 2 horas/Tm. El rendimiento de maíz por hectárea se multiplicó por 3 entre 1940 y 1980. La relación entre el insumo de energía y el rendimiento no es lineal, de modo que un menor consumo de energía no sólo disminuye el rendimiento sino que aumenta el consumo de energía por tonelada de alimento producido. La disminución de la mano de obra necesaria ha contribuido a mejorar la eficiencia de la producción de alimentos y ha liberado al ser humano del duro trabajo en el surco, hasta el punto que una sola persona pueda

manejar hasta 300 hectáreas de maíz de un modo altamente mecanizado y tecnificado. Sin embargo, el precio creciente de la energía, las previsibles limitaciones en el uso de los combustibles fósiles y la necesidad de limitar las emisiones de anhídrido carbónico, hacen de la mejora de la eficiencia energética de la producción agrícola y el aumento de su dependencia de energías renovables una prioridad imperiosa. La producción de fertilizantes nitrogenados consume cantidades ingentes de gas, junto a algo de carbón, y representa más de la mitad del consumo agrícola de energía.

### **Nutrientes**

Las plantas contienen los elementos nitrógeno, fósforo y potasio en unas proporciones fijas que están determinadas genéticamente, de tal modo que si falta alguno de ellos como nutriente (en forma de nitrato, amonio, urea, fosfato, potasa, etc) el crecimiento queda detenido y, en condiciones de escasez, el más escaso de los tres se convertirá en limitante del crecimiento. Es sencillo calcular las cantidades de estos elementos contenidas en la totalidad de la producción anual de alimentos y obvio que deberemos devolver al suelo aquello que hemos extraído, en la debida forma y momento, si queremos cosechar año tras año. El volumen de lo producido ha alcanzado tal dimensión que dicha devolución plantea problemas en la actualidad y, sobretodo, los planteará en el futuro. Estos problemas son específicos para cada uno de los elementos y nos referiremos a ellos de forma sucesiva.

El nitrógeno puede aportarse al suelo como componente del abono orgánico (materia vegetal, estiércol, compost) o en forma inorgánica (fertilizantes nitrogenados), pero las plantas sólo pueden absorberlo en forma inorgánica, por lo que el abono orgánico deberá degradarse (mineralizarse), para liberar en forma inorgánica el nitrógeno que contiene y poder ser útil a la planta. Puede decirse que la planta necesita nitrógeno inorgánico (nitrato, amonio...) y lo absorbe sin importarle su procedencia, sea esta la fabricación por síntesis química a partir del nitrógeno atmosférico, la lenta mineralización de la materia orgánica o el contenido en el agua de lluvia.

Además ciertas plantas, como las leguminosas, pueden fijar el nitrógeno atmosférico en simbiosis con ciertas bacterias, notablemente especies bacterianas del género



*Rhizobium*. En la fijación simbiótica de nitrógeno se consume una considerable cantidad de energía fotosintética, lo que va en claro detrimento de la producción de grano y, en definitiva, de las calorías alimentarias generadas por hectárea. En contra de una creencia muy generalizada, la conversión de la planta de trigo en fijadora de nitrógeno, algo técnicamente casi inimaginable, le haría perder su principal gracia, que es la de ser uno de los principales sustentos de la humanidad, ya que tendría que dedicar gran parte de la energía luminosa captada a la fijación de nitrógeno, en lugar de hacerlo en la producción de biomasa. La idea de incluir las leguminosas en la rotación de cosechas como modo de enriquecer el suelo en nitrógeno está justamente implantada desde antiguo en la buena práctica agrícola, pero no es una respuesta eficaz a la demanda global de nitrógeno. Sin la síntesis química de fertilizantes nitrogenados, no sería posible alimentar a la humanidad, ni en la actualidad ni en el futuro, pero la cantidad que se necesita fabricar es tal que plantea y planteará importantes problemas en lo que se refiere al gasto energético y a las emisiones de gases con efecto invernadero. Además, el suelo apenas es capaz de retener el nitrógeno aportado, salvo en forma de materia orgánica, por lo que el que no es absorbido por la planta, acaba eutrofizando las aguas de ríos y lagos, con graves consecuencias medio-ambientales. Los retos técnicos para paliar estos problemas son considerables.

Para aportar fósforo a los cultivos disponemos exclusivamente de fosfatos minerales cuyos yacimientos se distribuyen irregularmente por el planeta. Existen regiones, como China y el Norte de África, que son especialmente ricas en estos minerales, pero no cabe duda de que estamos ante un recurso natural finito cuyo plazo de agotamiento definitivo dependerá de la tasa de uso y de la magnitud de las reservas estimadas. La magnitud de estas reservas es incierta por el momento, ya que su estimación se basa en un inventario basado en las declaraciones de los países que las poseen, lo que le resta fiabilidad. Como con todo recurso finito, parte de la incertidumbre se debe al desconocimiento de cuales serán las dificultades crecientes para su extracción. Los más pesimistas alertaron de que el máximo de extracción se produciría ya en 1989, aunque esa predicción catastrofista no se confirmó. Las posturas de la FAO o de la industria de fertilizantes tienden a ser menos pesimistas, y una estimación más reciente y aquilatada sitúa el pico del fósforo hacia el 2030. Sin embargo, la calidad del fosfato roca que va quedando es cada vez menor y sus

costes de extracción y producción, cada vez mayores. La planta sólo aprovecha una fracción del fosfato que se aporta al suelo y la mayor parte del no aprovechado es retenido en el suelo al transformarse en fosfatos insolubles. Existe un cierto margen para mejorar el aprovechamiento eficiente del fosfato por la planta cultivada, mediante técnicas de solubilización y por la vía genética, mientras que son prioritarias las investigaciones para mejorar la gestión de este nutriente, incluida su recuperación de aguas residuales, tanto animales (purines) como humanas, y a partir de las aguas marinas.

Los suelos en general van liberando lentamente cierta fracción del potasio que las plantas necesitan para desarrollarse, el resto de esta necesidad debe cubrirse mediante la aportación de potasa, un mineral del que existen amplias reservas en distintos países del mundo, notablemente en Canadá, y respecto al cual no existe una preocupación tan acuciante como en el caso del fosfato.

Aparte de nitrógeno, fósforo, potasio, y otros macronutrientes (magnesio, azufre), las plantas necesitan en menores proporciones otros elementos minerales, de micronutrientes (por ejemplo, hierro), que en el futuro pueden convertirse en limitantes de la producción y cuyo acopio puede presentar problemas.

### **Medio ambiente y cambio climático**

La práctica agrícola ha sido contraria al medio ambiente desde su implantación y, de hecho, tanto más contraria al medio ambiente cuanto más primitiva. No se van a resolver los problemas del futuro recurriendo, como postulan algunos, a las técnicas del pasado, técnicas que fueron responsables hasta de la desaparición de más de una cultura. Buena parte del debate actual sobre el impacto ambiental de la producción de alimentos está desenfocado por el errado empeño de referirlos impactos a la hectárea de suelo laborable, cuando en realidad debe referirse a la tonelada de alimento producida, como se hace, por ejemplo, con el acero al consignar la energía o el agua consumidas para producirla. El impacto ambiental causado por la producción de una tonelada de trigo es tanto menor cuanto más eficiente es el sistema productivo, cuanto mejor se aprovechen los insumos necesarios: si abonamos por debajo del nivel óptimo, seguramente necesitemos más abono por tonelada de grano, y una variedad moderna de trigo necesitará menos

suelo, menos energía y menos productos químicos para producir una tonelada de grano que una de hace 30 años. Una mayor eficiencia de la producción evitará tener que invadir suelo virgen para aumentar el tonelaje total producido. La agricultura moderna es más compatible con el medio ambiente que la tradicional, pero todavía queda mucho por andar para hacerla más limpia.

A las constricciones medioambientales que las veleidades del clima imponen en la actualidad a la producción de alimentos vienen a sumarse nuevas demandas derivadas del proceso de cambio climático en que estamos inmersos. Según los modelos de cambio climático, se espera un cierto incremento de las temperaturas entre el momento actual y el año 2050, incremento que puede cambiar la geografía agrícola actual, al tener como consecuencia una redistribución de las sequías y las lluvias, de la frecuencia e intensidad de los acontecimientos meteorológicos de dimensión catastrófica y, en fin de las regiones favorables y desfavorables para la agricultura. La elevación del nivel del mar amenaza con inundar suelos óptimos para el cultivo, y la aumentada fusión de los hielos, con cambiar drásticamente la hidrología de los regadíos actuales. En la ruleta del cambio habrá ganadores y perdedores, y unos y otros tendrán que adaptarse a las nuevas circunstancias, especialmente en lo que se refiere a la mejora genética para adaptar las variedades cultivadas al nuevo entorno.

### **La planta cultivada**

De la planta cultivada nos viene el alimento, lo que significa que en ella deben anudarse todos los avances técnicos dirigidos a aumentar la producción agrícola global. En la última conferencia nos referiremos a las distintas combinaciones o alternativas agrícolas en las que pueden organizarse dichos avances, aquí nos referiremos brevemente a la planta cultivada. Ya vimos que los incrementos de producción en la revolución verde se basaron en la mejora del índice de cosecha, el manejo de la resistencia a plagas y enfermedades o el acortamiento del ciclo vital. A la vuelta del siglo, los avances técnicos que caracterizaron a la citada revolución flaquearon en su capacidad de aumentar los rendimientos, por lo que en la actualidad es imperativo adoptar otras estrategias para mejorarlos.

Los rendimientos récord de las distintas cosechas son difíciles de superar, pero existe todavía un amplio margen para acercar los rendimientos medios a dichas marcas. Los rendimientos medios en la imperfecta realidad de las explotaciones actuales son más bajos que los que se obtienen en los campos experimentales, donde supuestamente se aplica el estado del arte, y éstos están a su vez muy por debajo de los récord, tanto por causas que sería posible solucionar o paliar mediante innovaciones, tales como la resistencia o tolerancia a los distintos estreses bióticos y abióticos, como causas frente a las cuales será difícil encontrar soluciones. La mera difusión generalizada del estado del arte acercaría significativamente los rendimientos medios a los experimentales, mientras que en el acercamiento de los rendimientos experimentales a los rendimientos récord deberán desempeñar un papel destacado tanto la mejora genética tradicional como las innovaciones aportadas por la genómica y ingeniería genética. Las plantas transgénicas constituyen una vía segura y eficaz para solucionar los problemas que se plantean entre la planta cultivada y su entorno. Las que se han ido introduciendo en los últimos 15 años, cuya seguridad está ampliamente contrastada, han alcanzado ya una extensión global de 140 millones de hectáreas, casi la mitad de éstas en países en desarrollo, de la mano de pequeños agricultores. Se trata de una nueva tecnología cuyo potencial para mejorar aspectos concretos de la planta cultivada están ya fuera de duda y únicamente en Europa están sujetas a un rechazo de raíz ideológica, no basado en la evidencia científica. Sería insensato vetar el uso de una herramienta tan eficaz que puede contribuir a responder a un reto tan formidable como alimentar a la humanidad en el futuro.