PUBLICACIONES INSTITUCIONALES

Un elefante en el jardín: aportaciones de la Ingeniería Agronómica para paliar el hambre en el siglo XXI

EDUARDO SOBRINO VESPERINAS

SERIE LECCIONES INAUGURALES / 18

Un elefante en el jardín: aportaciones de la Ingeniería Agronómica para paliar el hambre en el siglo XXI

Un elefante en el jardín: aportaciones de la Ingeniería Agronómica para paliar el hambre en el siglo XXI

LECCIÓN INAUGURAL
DEL CURSO ACADÉMICO 2015-2016

pronunciada por el
Dr. don EDUARDO SOBRINO VESPERINAS
Catedrático del Área de Producción Vegetal

11 de septiembre, 2015

Servicio de Publicaciones
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA, 2015

Colección:
PUBLICACIONES INSTITUCIONALES

Serie:
LECCIONES INAUGURALES/18

Edita:
Servicio de Publicaciones
Universidad de La Laguna
Campus Central
38200 La Laguna. Santa Cruz de Tenerife
Teléfono: +34 922 319 198

Diseño Editorial:
Jaime H. Vera.
Javier Torres. Cristóbal Ruiz.

1.ª edición: 2015
Prohibida la reproducción total o parcial
de esta obra sin permiso del editor

Preimpresión:
Servicio de Publicaciones

Excmo. Sr. Presidente del Gobierno de la Comunidad Autónoma de Canarias

Excmo. Sr. Rector Magnífico de la Universidad de La Laguna Excelentísimas e Ilustrísimas Autoridades

Miembros de la Comunidad Universitaria

Señoras y Señores

PREÁMBULO

Es para mí un gran honor poder impartir la Lección Inaugural del curso 2015/16, que se inicia en el día de hoy con este solemne acto.

Les hablo en representación de la Sección de Ingeniería Agraria de la recientemente creada Escuela Politécnica Superior de Ingeniería que nos agrupa con las Secciones de Náutica, Civil y Marítima.

En nuestra Sección se imparten dos titulaciones, un grado y un máster:

Grado en Ingeniería Agrícola y del Medio Rural.
Máster en Ingeniería Agronómica.

Después de haber aceptado la invitación de nuestro Rector, me planteé la elección de un tema interesante relacionado con nuestra Área de Conocimiento, la Producción Vegetal, y que resultase de actualidad. El tema trata de plantear la discusión sobre el hambre en la Tierra y sus posibles alternativas para minorarlo y me pareció a la vez importante y sumamente sugestivo.

OBJETIVO: dar a conocer nuestros estudios y profesión a través de dos temas entrelazados, la crisis poblacional y la eliminación del hambre.

Ambos, temas de tremenda actualidad. Su conexión plantea un nudo gordiano: cómo puede ocurrir esto en los albores del siglo XXI, cuando todo parece posible pero no lo es.

> Los hombres de ciencia no solamente deberán acercarse a las ciencias que se refieren al hombre, sino que —y esto es lo más difícil— deberán persuadir al mundo para que conozca lo que han descubierto. Si no tienen éxito en esta difícil empresa, el hombre se autodestruirá porque tiene una visión incompleta de las cosas.
>
> Bertrand RUSSELL

> Las plantas cultivadas han sido el legado que nuestros antepasados, desde el Neolítico hasta épocas más próximas, han dado a la humanidad actual.
>
> A. KRAPOVICKAS

I. LA DOMESTICACIÓN Y ORÍGENES DE LA AGRICULTURA

Para poder comprender y analizar la existencia de las especies alimentarias cultivadas y su producción para la obtención de alimentos por parte de los humanos, es preciso realizar un largo viaje hacia atrás en el tiempo, hasta alcanzar la época del Neolítico, cuando el hombre comenzó a realizar la domesticación de las especies vegetales y animales. Su increíble éxito ha marcado la historia de la humanidad. Aunque hace relativamente poco su inicio se situaba en los 7.000-8.000 años a. C., los hallazgos arqueológicos realizados en los últimos tiempos han hecho retroceder esta fecha para situarla en el entorno de los 10.000 a. C. en los yacimientos arqueológicos del Cercano Oriente.

La transición entre las actividades de los grupos de cazadores-recolectores y las correspondientes a la actividad agrícola se generó en un largo proceso de evolución dirigida, donde el hombre probablemente seleccionó los nuevos tipos de plantas, pero no fue el inductor de los cambios. Las modificaciones iniciales debieron de generarse como un proceso gradual, que modificó los tipos de sociedades existentes y consecuentemente sus valores, hábitos y costumbres. Una vez domesticada una especie, es decir, modificada, dejando a un lado su larga evolución natural para adaptarse a las necesidades humanas, entra en una forma de dependencia de criterios antrópicos. El objetivo estaba centrado en conseguir la abundancia de la cosecha, la seguridad de obtenerla y conseguir las mejores características alimentarias. Los nuevos tipos cultivados

incorporaban características que facilitaban su cultivo por los humanos en campos acotados. En muchas ocasiones los cambios fueron de tal envergadura que llegaron a impedir que se perpetuase en condiciones naturales, en el caso de que tuvieran que competir de nuevo libremente, y hacía indispensable su multiplicación protegida.

Tan diferentes llegaron a ser las especies domesticadas que en el siglo XIX no se conocía ni la procedencia ni el origen de las plantas domesticadas. Una vez concluido con éxito el proceso de domesticación, la humanidad se olvidó de su origen. Fue precisamente Darwin el que retomó el tema y enlazó ambos mundos, ideas que plasmó en su libro *El origen de las plantas cultivadas*, que fue uno de sus temas favoritos. La arqueología se encargó de confirmar sus predicciones.

Las plantas cultivadas son la herencia fundamental que recibimos de los humanos primitivos, y constituyen una parte transcendente de la historia de la humanidad (Krapovickas, 2010), han acompañado a lo largo de milenios su tránsito por la Tierra. Y han permitido su amplio desarrollo poblacional, que en estos momentos acaba de alcanzar los 7.000 millones de habitantes, dinámica de crecimiento que puede provocar importantes desajustes entre los recursos naturales renovables y no renovables y las necesidades humanas.

También el desarrollo de la civilización nació con la agricultura, que permitió a los humanos una alimentación más segura y estable, y propició la existencia de excedentes alimentarios, fáciles de conservar como los granos de cereales y leguminosas, pasando al establecimiento sedentario. En esta nueva situación frente a la incertidumbre existente en el periodo recolector-cazador, potenció la diversificación de funciones, en una sociedad más plural, y también con mayores desigualdades. La sociedad se diversificó y especializó, aparecieron los líderes políticos, los guerreros, los sacerdotes y los agricultores. También propició la cultura. Este tipo de sociedad tuvo un gran éxito y nosotros somos sus herederos.

No fue nunca un proceso puntual ni en el tiempo ni en el espacio. La rapidez con que se llevó a cabo fue desde lenta hasta relativamente rápida en función de la naturaleza de las modificaciones y del tipo de control genético que subyacía. Desde la generación de pequeños cambios morfogenéticos hasta las modificaciones que casi hacen irreconocible el origen. Casos concretos son los trigos modernos (*Triticum aestivum* y *Triticum durum*), el maíz (*Zea mays*) o la extrema variabilidad morfológica de los distintos tipos cultivados de coles y coliflores (*Brassica oleracea*).

Las plantas cultivadas han sido el legado de nuestros antepasados, desde el Neolítico hasta épocas más próximas, y han dado paso a la humanidad actual.

Pero ¿por qué sucedió la cadena de eventos que llevaron a desencadenar este proceso de domesticación de determinadas especies vegetales y animales? Las causas no se conocen bien y la pregumta queda abierta a un cierto proceso especulativo. Pudo basarse en el incremento de la capacidad intelectual de los homínidos, de la propia necesidad de conseguir alimentos para una población en aumento o de un cambio climático, que produjo el final de la última glaciación.

¿Hubo entonces una crisis? Hay que destacar que el éxito cazador de finales del Paleolítico Superior pudo generar la rarificación o incluso la extinción de los grandes mamíferos europeos. Están documentadas diversas cacerías masivas como la de caballos, llevadas a cabo en Francia, mediante uso de trampas y emboscadas. Los propios mamuts, los rinocerontes lanudos, los caballos o los uros pudieron ser víctimas de este éxito cazador. Existen datos de trampas para mamut en zonas pantanosas donde los grandes animales eran conducidos por diversos métodos hasta humedales, donde, inmovilizados por el terrenos cenagosos, era posible su caza para la horda de cazadores con un menor riesgo.

Hay que señalar que los *Australopithecus* y los primeros representantes del género *Homo* nos parecen por su alimentación y costumbres más próximos a bandas de cautelosos animales carroñeros que a atléticos cazadores. Además, hay que considerar que coexistieron con animales realmente temibles, como el tigre dientes de sable (*Smilodon*) o el oso de las cavernas, de cerca de tres metros de altura. Esta época pudo resultar peligrosa y extremadamente larga y dejar una impronta negativa en el comportamiento de las poblaciones prehumanas y humanas, el cual ha llegado, en mayor o menor grado, hasta el actual y único representante del género, el *Homo sapiens*, y ha podido generar tipos de conducta que son de difícil comprensión.

Solamente el descubrimiento del uso del fuego, la talla de piedras, posteriormente, la mejora de los utensilios de defensa y ataque —la utilización de lanzas de madera endurecida, el uso de lanzaderas y de arcos— consiguieron alterar el desequilibrio frente a los peligrosos carnívoros, favoreciendo ahora a los humanos. Desde nuestra perspectiva actual, parece sorprendente que con esos utensilios bastante sencillos y el uso del fuego pudieron llegar a ser tan letales, llegando a producir diversa extinciones, de acuerdo con las evidencias arqueológicas.

II. LOS CEREALES COMO MODELO SIGNIFICATIVO DEL CAMBIO

Los cereales han tenido, y continúan teniéndolo, un papel central como cultivos para asegurar la alimentación humana. En el ámbito circunmediterráneo, así como en otras zonas de Europa y de Asia no tropicales, se basaban en el cultivo de trigo y cebada, ya que estas especies poseían notables ventajas por su elevada productividad y también porque el valor alimenticio del grano era considerable.

El trigo, una de las especies fundadoras

El trigo, junto a la cebada, constituyó el elemento principal del almacenaje de grano en el Neolítico del Viejo Mundo. Y han sido considerados «cultivos fundadores» para esta zona del planeta. El trigo poseía algunas características idóneas para llegar a ser la base de la alimentación. Una de ellas es su comportamiento en la polinización. Se trata de una especie autógama, es decir, que se poliniza a sí misma, mientras que la mayoría de las plantas son alógamas y utilizan por tanto la fecundación cruzada. Pero ¿por qué resulta ventajosa la autogamia para esas primeras plantas que fueron eficazmente domesticadas? Una de las ventajas fundamentales, en especies vegetales inicialmente domesticadas, de las plantas autógamas sobre las alógamas es que la autofecundación aísla el tipo domesticado de su progenitor silvestre. Puede ser cultivada en las mismas áreas que los tipos relacionados silvestres sin que exista problema para que pierda su identidad genética. Una segunda ventaja es que forman automáticamente líneas puras homocigóticas, similares a las modernas cultivares obtenidos a través de la mejora genética.

Hay que señalar como aspecto de enorme importancia que tanto el trigo como las otras especies domesticadas tempranamente no se autofecundan completamente, sino que lo hacen en forma predominante, de manera que en una pequeña porción de la descendencia se produce la fecundación cruzada, de forma residual, que permite una rápida evolución con genes de otras procedencias, lo que le facilita producir nuevos tipos. Es decir, se producen largos ciclos de autofecundación que ocurren después del raro suceso de cruzamiento, que permite la fijación de muchas de las líneas recombinantes. Los tipos más atractivos pudieron así ser seleccionados por el primitivo mejorador.

Otra dificultad que tuvieron que superar es la tendencia a la diseminación de las semillas que se dispersaban cayendo alrededor de la planta madre, ya que la supervivencia de las plantas silvestres depende de la eficacia de la diseminación. De manera contraria, los individuos en los que no se desarticula la espiga tienen más posibilidades de pasar a la siguiente generación, tras ser recolectados por los incipientes agricultores.

Hoy en día el trigo continúa en el primer puesto en cuanto a la producción de grano se refiere y su contribución a las calorías alimentarias consumidas supera el 20% del total. Los granos de trigo contienen fundamentalmente almidón, cuyo contenido oscila entre el 60 y 80%; además, contiene un nivel relativamente alto de proteínas (8-14%). El gluten que se encuentra en el endospermo de la semilla le confiere unas cualidades únicas para la panadería, debido a su viscosidad, y a su capacidad de subirse con la levadura.

Otra de las razones que han favorecido su vigor y variabilidad es que las especies de trigo moderno comprenden una serie poliploide (Riley, 1965). Las formas cultivadas primitivas tenían un número cromosómico diploide (2n= 14) y contienen el genoma AA. Otros tipos de trigo son tetraploides (2n= 48) y poseen dos genomas, AABB o AAGG. Finalmente, existe un nivel hexaploide con tres diferentes genomas AABBDD, clasificación establecida mediante criterios citogenéticos.

Las especies de trigo cultivado obtenidas a lo largo de la historia humana son las siguientes:

– *Triticum monococcum* L., trigo einkor, genoma AA, con granos cubiertos por las glumas (vestidos), fue un cultivo importante en el pasado y hoy día se conserva como una forma relíctica.
– *Triticum turgidum* L., trigo emmer, trigo duro, genoma AABB. Desde el inicio de la agricultura ha tenido una gran importancia, y sigue cultivándose profusamente en la actualidad para su utilización en forma de pasta alimentaria, como fideos, macarrones, etc.
– *Triticum timopheevi* Zhuk, genoma AAGG, posee formas silvestres y cultivadas, en ambos casos con semilla vestida. Se localiza en pequeñas áreas de Georgia.
– *Triticum aestivum* L., trigo panadero, genoma AABBDD, se conoce únicamente en forma cultivada, por aportación del genoma DD procedente de *Aegilops tauschii* al *Triticum turgidum*. En la ctualidad es el trigo más cultivado y resulta poseer una elevada variabilidad.

Normalmente es de grano desnudo por eliminación de las glumas, aunque como excepción la subespecie *spelta* posee el grano vestido.

III. ¡LOS LÍMITES PARA LA POBLACIÓN Y EL CRECIMIENTO EXISTEN!

Los territorios vírgenes prácticamente han desaparecido, casi no existe un lugar de la Tierra que no haya sido hollado por el pie humano. La explotación del planeta ha superado las peores expectativas. Hay que tener en cuenta que no solo es necesaria la alimentación de toda esta inmensa población, sino que además el hiperconsumismo de bienes y servicios está generando un cúmulo de necesidades de imposible satisfacción.

Cuando se comparan las necesidades alimentarias (con una dieta base de 2.000 Kcal/persona) y las no alimentarias, encontramos que estas últimas superan con mucho a las primeras, especialmente en los países industrializados; de tal manera que en ciertos países pueden superarlas en más de 100 veces. Visto así, desde el punto de vista de consumo de energía, encontramos que la dificultad fundamental no sería aprovisionar de alimento a toda la población, sino cubrir sus necesidades de energía. Esta situación queda explicitada cuando examinamos una imagen aérea nocturna del planeta Tierra, con innumerables zonas que se asemejan a verdaderas luminarias, lo que presenta un coste energético espectacular.

Uno de los estudios pioneros y clave sobre el conocimiento la influencia de los humanos en el medio ambiente y su proyección a futuro fue realizado por investigadores del Instituto de Tecnología de Massachussets, que fue publicado bajo el nombre de «Los límites del crecimiento», (Meadows & *al.*, 1972), por encargo del Club de Roma, estudiando el incremento de la población, de forma conjunta con cinco factores relevantes, y utilizando análisis de dinámica sistemática y técnicas de simulación con programas informáticos. Tuvo un tremendo impacto, pero no terminó de convencer a todo el mundo, muchas personas fueron completamente escépticas, y en esa época se consideró casi apocalíptico. A la sazón, me encontraba terminando mi carrera de ingeniero agrónomo en la UPM de Madrid y me dejó atónito, por la precisión de sus cálculos, la elegante disección de un problema tan complejo y la tremenda dificultad de las previsiones que realizaban en el largo plazo. Lamentablemente, el tiempo se ha encargado de darles la razón, al menos en los diversos aspectos fundamentales considerados, en la esencia.

Posteriormente, en 1992 (Meadows & *al.*, 1992), publicaron la edición revisada, titulada «Mas allá de los límites del crecimiento» («Beyond the Limits»), ajustando las predicciones a los acontecimientos aparecidos durantes esos veinte años, utilizando un nuevo modelo informático World3. Las conclusiones se mantenían, si bien aparecía una nueva, especialmente negativa: la humanidad había traspasado ya la capacidad de carga de la Tierra y se adentraba en un territorio insostenible. Aumento de la temperatura terrestre, el agujero en la capa de ozono y la destrucción indiscriminada de las grandes selvas. El tono utilizado no era todavía catastrofista y sugerían llevar al planeta de nuevo a una zona sostenible.

Finalmente han publicado un tercer libro *Los límites del crecimiento treinta años después* (Meadows & *al.*, 2004) considerando que la extralimitación ecológica con el subsiguiente declive del bienestar social ocurrirá si la humanidad no es consecuente con la realidad.

En realidad los límites del crecimiento se consideraron como un tema de futuro pero ahora están aquí, los estamos viendo y viviendo. La pregunta es, ¿seguiremos nuestro camino, impasibles, o trataremos de ajustarnos a la realidad? No hay posibilidad de grandes milagros; solo queda aferrarnos a los criterios de sostenibilidad en todas las acciones, quizás no lo remediarán completamente, pero nos darán más tiempo, esperando que las aportaciones de la tecnología, a veces inquietantes, puedan generar un camino viable.

La huella ecológica

En la Cumbre de la Tierra de Río, en 1992, los gobiernos de todo el planeta se reunieron y trataron de impulsar con energía la conservación a escala global, y asumieron el Criterio de Desarrollo Sostenible que había sido definido cinco años antes en el informe Brutland de las Naciones Unidas (1987), quedando su definición de la siguiente forma: *satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer la posibilidad de las generaciones futuras a satisfacer las suyas.*

La grandes ciudades son áreas claves en la generación de graves problemas ambientales, la mayor parte de la humanidad habita en zonas urbanas, su crecimiento es imparable: el ritmo de consumo, que absorbe una gran cantidad recursos naturales, la necesidad de energía que precisa el transporte, la iluminación, la calefacción, refrigeración, o la sanidad, y la cantidad de residuos producidos (sólidos, líquidos y gaseosos), que

provocan la contaminación de los ríos y la atmósfera y del aire, además de la construcción y gestión de grandes basureros impermeabilizados que luego deberán ser sellados. Todo esto hace que su situación esté muy lejos del equilibrio necesario para no poner en riesgo los recursos del futuro, chocando así frontalmente con la sostenibilidad. La repercusión de las sociedades urbanas sobre el medio ambiente se expande por todo su alrededor. El control de las situaciones que dañan la sostenibilidad hace necesario el diseño y la utilización de indicadores ambientales. La «huella ecológica» es un indicador ambiental que permite conocer el nivel de carga que una ciudad determina en el entorno natural para extraer los inputs para su consumo y los productos de desecho que genera.

IV. DOS PROBLEMAS AÑADIDOS: LAS ALTERACIONES POR EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS ESPECIES ALÓCTONAS

Las alteraciones por el cambio climático

¿Tiene claro toda la población en qué consiste el actual cambio climático, los problemas que genera y los que previsiblemente van a producirse? En muchos casos parece que se minimiza su posible efecto global, cuando ya no es una amenaza futura, sino totalmente del presente. El incremento de la temperatura del planeta es una tendencia clara y continua, y una de las más fácilmente medibles. Incluso en el presente año 2015, la situación está llegando a ser alarmante. En la Península Ibérica se han registrado temperaturas en este año de un nivel térmico que se aproxima a zonas tradicionalmente más cálidas del planeta, superando máximos absolutos de temperatura en diversas localidades. Incluso ha habido un número importante de fallecimientos, en poblaciones tradicionalmente adaptadas a soportar el calor extremo y con hábitos que normalmente consiguen evitarlo. De forma general las temperaturas se han incrementado en la última década, alcanzando récords cada vez más marcados.

El cambio climático se define como la modificación de las condiciones ambientales de la atmósfera del planeta como consecuencia de factores modificadores. Estos pueden ser consecuencia de la actividad biológica, incluida la humana o también de factores de tipo físico. Existe ya un consenso entre los científicos en cuanto a que en el actual episodio de cambio climático los —factores entrópicos— tienen un papel preponderante.

El cambio más fácilmente observable y medible es la temperatura del aire. Se toma por convenio internacional a 150 cm del suelo a través de las estaciones meteorológicas tipificadas para conseguir la uniformidad de las condiciones de medida.

En las últimas tres décadas ha sido constatado un incremento en la temperatura atmosférica de forma consistente, que se ha interpretado como motivado por causas antrópicas, consecuencia del incremento del contenido en dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, que devuelven la radiación infrarroja hacia la Tierra. Esta tendencia ha sido observada de forma continua desde la época preindustrial hasta el momento actual mediante mediciones sistemáticas. La causa de denominarse «efecto invernadero» es por su similitud con lo que sucede en los invernaderos, que cuando incide la radiación solar aumentan notablemente la temperatura en comparación con la atmósfera exterior, porque la radiación solar atraviesa sin dificultad la cubierta del invernadero, pero al ser reflejada por objetos sólidos desde el interior del invernadero hacia el exterior la radiación infrarroja no puede atravesar la cubierta de vidrio o de polietileno. Durante algún tiempo ha existido una cierta controversia en cuanto a la causa del cambio climático, pero los datos recopilados por los exhaustivos informes que periódicamente emite el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) han demostrado su origen antrópico. La edición de 2001 tuvo una gran repercusión, que se ha repetido en los sucesivos informes de esta organización. Recientemente los científicos disidentes con la explicación antrópica han reconocido que la explicación más razonable correspondería a las causas derivadas de la actividad antropogénica. El incremento continuo de la actividad industrial a nivel planetario, la utilización de motores para el transporte (coches, camiones, aviones, barcos) y otra acciones han generado ingentes cantidades de gases con efecto invernadero, superando la capacidad homeostática del planeta, no siendo capaces los sistemas naturales como los océanos de retener las cantidades de dióxido de carbono vertidas a la atmósfera. También de importancia resulta el metano producido por la ganadería y por los arrozales.

Las consecuencias del cambio climático pueden llegar a provocar grandes alteraciones en el planeta y ser extremadamente negativas para la humanidad, a continuación se mencionan algunas de ellas que consideramos especialmente relevantes, que pueden modificar desde la distribución de las especies silvestres y cultivadas hasta la disponibilidad

de recursos de agua dulce o la salud humana, con fuertes implicaciones de muy diversos tipos:

Consecuencias esperadas por el cambio climático

1. La fusión de los hielos puede generar un incremento del nivel del mar que inundaría amplias zonas costeras en diferentes continentes.

2. Incremento en la temperatura oceánica, con las consiguientes migraciones de las especies de peces procedentes de zonas tradicionalmente más calientes, que en un medio sin barreras pueden trasladarse con facilidad y rapidez.

3. Cambios de las zonas de desove de las especies de interés piscícola por modificación de la temperatura del agua.

4. La modificación de la temperatura de los océanos podría cambiar las corrientes marinas, p. e. la Corriente del Niño, o reducir la Corriente del Golfo, que envía agua caliente tropical a zonas europeas en el Atlántico Norte, fundamental, entre otros aspectos, para atenuar las frías temperaturas de zonas norte de Europa.

5. Alteraciones en la fauna del Ártico por deshielo de la banquisa, de hecho, los osos blancos están teniendo ya graves problemas al reducirse su extensión, que dificulta su propia supervivencia y la de los oseznos. Y se han descrito problemas para esta especie y el inicio de su migración hacia el sur a zonas de hábitats humanizados para conseguir alimento incluso en contenedores de basura. También hay referencias a cambios en sus hábitos depredatorios, atacando incluso a especies de ballenas de pequeño tamaño.

6. El fuerte deshielo estival en las montañas está mermando el volumen de hielo en muchos glaciares de Europa, en concreto en algunos emblemáticos en los Alpes o en los Pirineos, donde han desaparecido recientemente diversos restos glaciares quedando fundamentalmente nueve, como los de Aneto-Maladeta y Monte Perdido, aunque muy reducidos. Ni siquiera los altos glaciares de la cordillera del Himalaya están a salvo del cambio. El deshielo parcial de los glaciares tiene mucha importancia en la continuidad del abastecimiento hídrico, ya que la estabilidad del caudal es mucho mayor en los ríos de régimen nival,que en los que solo dependen del agua de lluvia. Esto podría provocar una catástrofe en la agricultura de regadío y en el abastecimiento de agua dulce a los núcleos urbanos, con descenso en el plan producción de

alimentos en muchas regiones del planeta, algunas muy densamente pobladas como el sur de Asia.

7. Alteraciones del régimen hidrológico en el sur de Europa, zona que ya se puede considerar actualmente como sensible.

8. Incremento de la temperatura del agua de los ríos, con la consecuencia asociada de reducción del oxígeno disuelto, lo que limitaría la supervivencia de determinados peces sensibles. P. e. la trucha común en zonas de media montaña en la Península Ibérica.

9. Incremento de la evaporación de los océanos, con un incremento de la precipitación global, que podría repartirse de forma desigual, por modificación generalizada de la distribución de precipitaciones, con episodios de temporales e inundaciones mientras en otras zonas se producirían fuertes sequías.

10. Reducción de la superficie de las tierras cultivables o reducción en la productividad de las mismas, por modificación en la distribución de las precipitaciones, y también por erosión y salinización consecuencia de una sobreutilización sin el adecuado control.

11. Modificaciones en las zonas de adaptación de especies de cultivo, lo que podría alterar desde su rendimiento hasta su adaptación a las áreas tradicionales de producción.

12. Cambios en los ecosistemas de alta montaña y en la distribución y presencia de su flora endémica y característica.

13. Pérdida de biodiversidad y reducción poblacional de especies silvestres por cambios ambientales bruscos, que modificarían las condiciones de habitabilidad.

14. Modificaciones en la fenología de las especies vegetales y alteraciones en los periodos reproductivos de los animales.

15. Pérdidas de productividad por olas de calor en los cultivos agrícolas.

16. Incremento de la introducción de especies exóticas de los distintos reinos biológicos, parte de las cuales se convertirían en invasoras, compitiendo con las especies autóctonas.

17. Aumento en la introducción de plagas de cultivos y de enfermedades para el ganado y los animales domésticos.

18. Diseminación de enfermedades (p. e. el dengue) que afectan a los humanos, desde áreas cálidas a zonas de clima templado, por transmisión directa o a través de vectores de transmisión como diversas especies de mosquitos.

Todo ello, asociado al incremento poblacional que mencionamos en otros apartados, puede derivar en catástrofes generalizadas.

Aunque la modificación del clima por parte de los humanos nos resulte sorprendente, no es la primera vez que los seres vivos han influido en la composición de la atmósfera, incluso provocando un impacto mucho mayor. Según los datos existentes, en tiempos primigenios la atmósfera de la Tierra era de tipo reductor sin presencia de oxígeno en ella. Sin embargo la aparición de cianofíceas (algas verdes-azuladas) generaron mediante las reacciones fotosintéticas la emisión de oxígeno, cambiando el tipo de vida en el planeta. La atmósfera empezó a acumular oxígeno fomentando el cambio de organismos anaerobios a aerobios, que respiran oxígeno y obtienen su energía mediante procesos oxidativos, en detrimento de los anaerobios. Este proceso culminó en el dominio de la biosfera por los seres que respiran oxígeno y que actualmente conocemos (algas, plantas terrestres y animales), quedando los microrganismos anaerobios relegados a situaciones y ecosistemas muy concretos (p. e. en chimeneas oceánicas o algunas bacterias que producen enfermedades como el botulismo). Ante un cambio de este calado la vida continuó, se adaptó a las nuevas circunstancias e incluso sacó partido de ellas. Quizás para los organismos anaerobios fue más difícil y no todos pudieron continuar.

El ser humano podría haberse convertido así en uno de los agentes climáticos. Incluso el hombre primitivo pudo haber participado en ello de forma inicial, con el uso indiscriminado del fuego para la caza de grandes mamíferos, la creación de pastos y la destrucción de bosques con distintas finalidades. La alta necesidades de energía y las externalidades negativas en las emisiones de gases en la sociedad moderna son el origen del presente cambio climático. También tiene mucho que ver con la sobreutilización de la energía para actividades banales.

Las alteraciones por especies alóctonas

En las últimas tres décadas se ha producido un cambio importante, relativamente repentino, que afecta a la biodiversidad, que se ha significado por el importante incremento de la incorporación de flora alóctona, a través de acciones antrópicas de distinto tipo, tanto voluntarias como involuntarias. Las causas hay que buscarlas en varios sucesos que se han producido como consecuencia de la globalización. La eliminación de

barreras ha generado mayores movimientos de población, del comercio, y consecuentemente la construcción tanto de infraestructuras de transporte como de edificios y creación de jardines y zonas deportivas. Sin duda el cambio climático está también implicado, introduciéndose especies desde zonas tradicionalmente más cálidas a menos, de forma que el incremento de temperatura está propiciando también la naturalización desde otras regiones biogeográficas.

Tradicionalmente la difusión de flora exótica por acciones humanas en el conjunto del planeta tenía una base importante con la agricultura, y el trasiego de diferentes cultivos y semillas entre zona alejadas. Precisamente la definición de especie alóctona, frente a autóctona, hace referencia a una introducción realizada desde zonas geográficas lejanas, separadas por accidentes geográficos insalvables, océanos, grandes cadenas montañosas, etc., que impedían la migración natural y que solo como consecuencia de acciones antrópicas han conseguido superar.

La primera causa de la difusión actual de especies alóctonas a escala planetaria ha cambiado, siendo la jardinería la que se constituye en la primera vía de difusión. El turismo y el incremento del nivel de vida han supuesto un incremento de la construcción de jardines y zonas ajardinadas. La elección de especies muy llamativas con valores ornamentales, de tipo tropical y subtropical, y en las que se buscaba la estética pero en las que valora también capacidad para una buena adaptación al nuevo entorno constituyó un coctel peligroso. De hecho, las zonas turísticas poseen elevado porcentaje de naturalización de especies alóctonas. Resultaría más ventajoso utilizar la flora autóctona con buenas cualidades jardineras para este uso, y aunque ya existen algunas introducciones exitosas, e incluso viveros que trabajan en esta línea, todavía queda mucho por hacer para aprovechar la diversidad de la flora endémica canaria.

Precisamente los mayores porcentajes de alóctonas fue reportada en una zona turística, el área de Cambrils (Tarragona), zona de elevada termicidad, que alcanzó un 20% de flora alóctona, el valor más alto para la España peninsular (Sanz-Elorza & Sobrino Vesperinas. 2002). En Canarias Kunkel (1993) cita una presencia de exóticas del 27,6%. En los años siguientes estas cifras se ha incrementado. En concreto, Salas & *al.*, (2000) consideran que el porcentaje de plantas introducidas en Canarias alcanza el 41% de su flora, al que podría añadirse hasta un 8% adicional, que corresponde a las que se consideran como dudosas. De forma general las islas oceánicas en áreas tropicales y afines alcanzan

un número elevado de plantas introducidas, como es el caso de Nueva Zelanda y Hawai. El problema se agrava cuando se considera el caso de ciertas especies exóticas invasoras especialmente agresivas, como el caso del rabo de gato (*Pennisetum setaceum*) gramínea procedente de África nororiental, con gran capacidad de expansión en nuevos territorios, de manera que en unos cincuenta años se ha extendido por numerosos ecosistemas canarios en formaciones altas de gramíneas, que llegan a sustituir a la vegetación autóctona en diferentes condiciones.

Una de las principales vías de entrada de especies naturalizadas lo constituye la jardinería, que importa especies ornamentales de zonas lejanas, eligiéndolas por su atractivo estético y ornamental, pero también por su capacidad adaptativa al nuevo entorno. No debe resultar extraña la facilidad de naturalización que estas especies muestran desde el inicio de su cultivo. La naturalización ocurre en ambientes urbanos, en los propios jardines o en su entorno, utilizando espacios ruderales próximos. Su naturalización y posible expansión está generalmente ligada a ambientes antropizados. Sin embargo, mediante un estudio de las plantas alóctonas dentro del Parque Rural de Anaga, hemos encontrado que la mayor parte de las especies coinciden con la flora adventicia que hemos citado en los jardines urbanos de Tenerife. Se muestra así la conexión existente entra ecosistemas naturales/seminaturales y los antropizados. Tiene gran importancia el establecimiento de esta fuerte conexión porque permitirá el diseño de nuevos sistemas de prevención para reducir la introducción de alóctonas en espacios de alto valor ecológico. Además, hace innecesaria la discusión entre las diferentes definiciones de especie invasora, ya que existe un continuo de la invasión, al que no se le había dado la verdadera importancia: Richardson & *al.*, (2000) consideran una definición en la que se incluyen todos los tipos de hábitats, naturales, seminaturales y antrópicos, mientras que la IUCN (2000) solo considera invasoras a aquellas especies naturalizadas que se extienden en hábitats naturales o seminaturales, generando un cambio en el ecosistema.

Las especies invasoras son un grave problema para la conservación de la biodiversidad, siendo las especies endémicas las que pueden resultar especialmente perjudicadas, por competencia directa y también por modificación de los ecosistemas a los que pertenecen, que se ven transformados por la invasión.

V. NUEVAS ESPECIES DE CULTIVO O MAYORES POSIBILIDADES DE APROVISIONAMIENTO

El número de especies de angiospermas (especies con flores) reconocidas actualmente asciende a unas 250.000, pero se sospecha que su número es claramente mayor, con especies que están pendientes de reconocimiento botánico, de ellas solamente un número estimativo de 3.000 son las que han sido objeto de cultivo en algún momento. Tan solo 30 especies son las que representan un papel clave en la alimentación humana. Además de resultar sorprendente su bajo número, evidencia una situación de debilidad estratégica. Si tan solo dos o tres de estas especies tuvieran problemas de importancia durante su cultivo, por la aparición de nuevas enfermedades o plagas, podría producirse un grave problema para la alimentación: parece que es un tema urgente la diversificación de los cultivos implicados en nuestra base alimentaria.

Adicionalmente las especies cultivadas poseen normalmente una estrecha base genética a causa de la selección efectuada en el proceso de domesticación, lo que puede hacerlas más sensibles a agentes adversos. En contrapartida, la mayor parte de las plantas silvestres poseen una alta diversidad, lo que posibilita ampliar el número de especies cultivadas, con utilidades potenciales muy diversas.

Se considera estratégico mantener y diversificar la base de las plantas cultivadas de amplio uso, pero también la profundización en los trabajos de investigación para la llegar a la completa utilidad de muchas especies que están incipientemente domesticadas, y en las que sería necesario invertir nuevos recursos financieros. Por otro lado, existe un potencial gigantesco en la búsqueda de especies útiles para la alimentación humana y la obtención de materias primas fundamentales y algunas de ellas verdaderamente novedosas. Aunque parte de ellas no muestran con claridad la aplicación de técnicas de mejora genética podrían modificarse con un desarrollo experimental adecuado y generar un nuevo tipo de cultivo.

Un ámbito de nuevas especies potencialmente cultivables se encuentran en las áreas tropicales, ya que su flora reúne dos características de importancia: una elevada variabilidad interespecífica y el hecho de que todavía hoy no es completamente conocida, ocultando muchas sorpresas.

Otra línea de acción se encuentra en la profundización de sectores concretos de alto potencial, como ocurre con el caso de las nuevas especies para la producción de aceite. Se trata de conseguir altos valores alimenticios en especies que no habían completado la domesticación al menos desde

el punto de vista de composición química, en otros casos se buscan tipos de aceite no usuales, raros, generados en rutas metabólicas muy especificas, pero que pueden tener un alto valor industrial; o en el mundo de los cosméticos, como es el caso de la jojoba, especie capaz de producir un tipo de aceite de gran estabilidad, basado en un monoalcohol. En el *Northern Regional Research* de Peoria (USDA) después de analizar el tipo de aceite de 8.000 plantas encontraron una amplia variabilidad del aceite contenido en sus semillas, que variaba ampliamente en su composición de ácidos grasos, especialmente entre las diferentes especies aunque también existe variabilidad intraespecífica (Princen, 1984). El análisis químico puede ser actualmente rápidamente determinado pero se consume mucho más tiempo en la evaluación agronómica de la capacidad de adaptación ambiental de los nuevos cultivos. Son necesarias modificaciones precisas para adaptar plantas silvestres a una producción satisfactoria global. El desarrollo agronómico simplemente aceptable de nuevos recursos comprende, una floración homogénea, la indehiscencia de la frutos, al hábito de crecimiento, la resistencia a insectos y enfermedades y también la eliminación de los productos tóxicos en las semillas. A continuación se examinará un caso de una especie que se encuentra terminando el proceso completo de domesticación.

La domesticación de una nueva especie de cultivo, *Brassica carinata (Cruciferae)*

Se trata de una especie originaria de Etiopía, conocida como «mostaza de Abisinia», cultivada de forma incipiente por agricultores locales que la utilizaban como especie multiuso: producción de aceite de consumo, para lámparas, como forraje verde para herbívoros y cocinada para alimentación humana; además, la semilla se emplea como condimento alimentario en carnes y otros alimentos como consecuencia de los glucosinolatos que contiene, que le confieren un sabor picante. Los glucosinolatos son sustancias con azufre y nitrógeno y constituyen una familia química, diseñada dentro del proceso evolutivo como defensa química de las plantas frente a orugas y herbívoros. Básicamente solo una de ellas, la oruga de la mariposa blanca de la col, puede ingerirla sin riesgo, ya que es capaz de detoxificarla. Los glucosinolatos no son tóxicos en sí mismos, sino que la toxicidad se produce de los compuestos que se generan en la ruptura enzimática de este tipo de moléculas por la enzima mirosinasa. Ambos compuestos se encuentran en el citosol pero

en compartimentos separados; cuando una oruga o un herbívoro rasgan las células, al devorar las hojas, ambos compuestos se ponen en contacto generando productos tóxicos para la oruga o alejando al herbívoro.

La mostaza de Abisinia es una especie aloploide formada por hibridación entre *Brassica oleracea* y *Brassica nigra* con diferentes números cromosómicos. La producción del híbrido interespecífico tuvo que realizarse de forma casual, produciendo plantas estériles, por lo que para restaurar su fertilidad fue necesario que los cromosomas se duplicaran de forma que consiguió la fertilizad al formarse una meiosis estable. El aloploide que se generó es una planta muy robusta y productiva, con tolerancia a sequía, con frutas prácticamente indehiscente, con elevada productividad, pero con un elevado contenido de ácido erúcico, en torno al 50%, y un contenido elevado de glucosinolatos. En los mamíferos y aves los glucosinolatos han sido considerados tradicionalmente como factores antinutricionales y se consideran negativos sobre todo si su contenido sobrepasa un determinado nivel. En colza (*Brassica napus*), que es una especie muy afín, se ha fijado en 20 microgramos/gr de harina desengrasada el contenido máximo aceptable para los cultivares o variedades comerciales. Sin embargo, recientemente el contenido de glucosinolatos se está investigando por sus propiedades quimiopreventivas de varios tipos de cáncer.

La continuación del proceso de domesticación ha conseguido eliminar el ácido erúcico o cis-13-docosenoico (22:1), un ácido graso de cadena larga modifica por alteración de la biosíntesis de ácidos grasos, de forma que mientras este ácido graso se elimina el ácido oleico se incrementa notablemente. Se habría creado así el tipo de *B.carinata* cero erúcico. Por otro lado, se ha tratado de reducir los glucosivalatos, ya que son sustancias ligadas al metabolismo de las crucíferas y no resultaría viable su eliminación y probablemente tampoco sería conveniente.

Como resultado obtenido en este proceso de domesticación, se ha logrado reducir el contenido de glucosinolatos de forma notable en algunas líneas concretas, pero todavía continúa siendo elevado para su utilización en alimentación animal (fabricación de piensos compuestos). En el estado actual la especie puede cultivarse, con la mencionada limitación, que podría reducirse por simple mezcla con otras fuentes de harinas proteicas o de otro tipo.

Para concluir, la disponibilidad de un mayor número de especies reduce la dependencia alimentaria humana a unos pocos cultivos, aminora el riesgo de una catástrofe alimentaria, amplía las fechas de

recolección y, diversifica los productos disponibles y permite aprovechar la multiplicad de condiciones agroecológicas existentes al admitir una mejor adaptabilidad.

VI. INGENIERÍA GENÉTICA: CULTIVOS TRANSGÉNICOS

La ingeniería genética se caracteriza porque trabaja con un conjunto de metodologías que permiten combinar genes de diferentes orígenes, su amplificación y transferencia entre diferentes sistemas. En tan solo tres o cuatro décadas este conjunto de manipulaciones ha permitido generar un cambio transcendente para la historia de la humanidad. La ingeniería genética ha logrado romper las barreras existentes entre las especies, no solo entre aquellas filogenéticamente próximas, sino también entre las lejanas. Ha sido capaz de insertar genes de bacterias en plantas superiores, saltando el aislamiento incluso entre reinos biológicos. Ha sido una demostración práctica de lo que en el fondo era una teoría, la universalidad real del código genético. Un gen bacteriano puede llegar a expresarse incluso en el genoma de una planta superior y alcanzar plena funcionalidad, como en el caso del gen de *Bacilus thurigiensis*, una bacteria capaz de producir una sustancia toxica que puede controlar orugas en condiciones naturales. Se ha conseguido obtener gran número de plantas transgénicas en las principales especies agrícolas, mostrando que la ingeniería genética permite actualmente introducir genes concretos en el genoma individual. Quedan por comprobar los posibles problemas ambientales que puedan generar, por lo que la aplicación del principio de precaución en cuanto a su utilización generalizada, parece que debe tenerse en cuenta.

La mejora genética clásica es imprescindible para poder utilizar los transgénicos, ya que la base de los genotipos en todas las especies se ha obtenido por medio de esta tecnología tradicional y el genoma sobre el que se inserta el transgén ya existía.

VII. OTRA NOVEDAD TECNOLÓGICA BÁSICA: LA ROBÓTICA EN LA AGRICULTURA

La agricultura y la ganadería se han beneficiado, a lo largo de su larga historia y compleja evolución, de numerosas novedades tecnológicas que han resultado fundamentales en su éxito, alcanzando en cada mo-

mento la capacidad de alimentar a la humanidad. El manejo del agua y el control de las crecidas del río Nilo permitieron una copiosa producción de cereales y una agricultura bastante diversificada, que hizo posible con sus excedentes la creación y mantenimiento del poderoso imperio egipcio y de un proceso cultural de gran envergadura.

Otro ejemplo de influencia tecnológica en épocas mucho más recientes fue la síntesis industrial del amoniaco mediante el método de Haber-Bosch, que permitió su producción a gran escala y con ello la producción de abonos nitrogenados a precios competitivos y sin limitaciones. Se produjo primero el inicio de la revolución industrial, que a su vez indujo una revolución agrícola, imprescindible para el crecimiento poblacional que se produjo, de tal manera que llega a modificar la curva de crecimiento poblacional y generar un punto de inflexión, para pasar a un tipo exponencial, que se mantiene en el momento actual y corresponde a una población que se encuentra en crecimiento libre. No es posible tratar de la interacción entre ciencia y tecnología, que ha influido de forma decisiva en la forma en que la agricultura y la ganadería se desarrollan. La nutrición vegetal y animal, los métodos de almacenaje y conservación de alimentos, y un largo número. De esta forma nos centramos solo en uno de ellos, que probablemente nos va a sorprender en el próximo futuro: la robótica y sus múltiples aplicaciones en el ámbito agrario.

La robótica en la agricultura

Nos acercaremos a la robótica mediante dos definiciones del diccionario de la lengua española de la Real Academia, aunque resultando algo generalistas nos van a ayudar a acercarnos al este tema:

Robot. Según diccionario de la lengua española, sería el ingenio electrónico que puede ejecutar automáticamente operaciones o movimientos muy varios.

Robótica. Técnica que aplica la informática al diseño y empleo de aparatos, que en sustitución de personas realizan operaciones o trabajos por lo general en instalaciones industriales.

Una definición más detallada podría ser: máquinas capaces de realizar tareas complejas de forma autónoma, a través de elementos mecánicos, electrónicos y de comunicación, mediante una base computacional central. Se busca que sean capaces de construir un modelo del entorno y generar respuestas reactivas.

Los robots en consecuencia pueden sustituir a personas en determinadas operaciones, que pueden resultar tediosas por ser repetitivas, de manera que no constituyen ocupaciones especialmente interesantes para la población. Otro inconveniente del trabajo manual repetitivo es que la continua reiteración puede inducir a pérdidas momentáneas de atención, con el riesgo de incremento de accidentes laborales o bien que los productos fabricados o recolectados puedan perder los niveles de calidad estándar.

Los robots se utilizan en numerosos ámbitos de la actividad humana, aunque es en la industria y en las actividades de riesgo donde han alcanzado un mayor desarrollo, la agricultura posee un nivel de mecanización elevado pero de forma general la robótica no ha entrado en ella. Los niveles de mecanización pueden ser muy elevados y en muchos casos las máquinas controladas por humanos son realmente sofisticadas y eficaces. Como el caso de las cosechadoras de cereales, capaces de cosechar grandes parcelas, realizando en un solo proceso sofisticadas operaciones y proporcionando finalmente un grano completamente limpio, que descargan en remolques de apoyo.

Existen muchos tipos de agrupaciones para los robots existentes, señalaremos solo algunos tipos como los robots de servicios, y dentro de ellos los domésticos, que pueden construirse bajo una imagen humanoide. Los que se encuentran más generalizados son los robots industrializados, que no responden a la imagen de robot humanoide y frecuentemente están basados en brazos robóticos articulados. Su papel en los procesos es ya actualmente decisivo, p. e. las fabricación de automóviles, donde una persona prácticamente solo actúa de controlador en el conjunto del proceso. La precisión, rapidez, eficacia de trabajo y su fiabilidad superan cualquier criterio. El problema es ¿nos quedaremos los humanos sin trabajo? ¿Llegarán a controlarnos los robots inteligentes? El futuro es siempre un enigma y también en este caso.

Los robots de tipo agrícola podrían se divididos en dos tipos básicos, los manipuladores y los móviles. En muchas ocasiones en la agricultura los procesos se realizan al aire libre o en invernadero y se precisan robots móviles. En ambos casos es necesaria la movilidad de forma fundamental, y están diseñados como unidades autopropulsadas autónomas, su orientación en el espacio se consigue mediante sistemas de guiado basados en un GPS instalado, y el apoyo de la red norteamericana dotada de 30 satélites o la red Galileo con cuatro satélites en funcionamiento pero que deben alcanzar el número de 30 satélites operativos.

Se precisan, y de hecho están incorporando, mecanismos de corrección de la posición, ya que la resolución del sistema de posicionamiento debe ofrecer una elevada precisión.

Otra alternativa es la utilización de los sistemas de visión artificial, mediante sensores que permiten al robot autopropulsado autosituarse en espacios cerrados limitados, como los invernaderos, donde en ocasiones las condiciones de trabajo pueden ser penosas como consecuencia de altas temperaturas, precisamente por el «efecto invernadero». Los robots que actualmente se están creando para invernaderos no son excesivamente voluminosos, disponen de unos brazos articulados y se encuentran bastante desarrollados, siendo capaces de navegar por las calles del invernadero, elegir mediante reconocimiento por color los frutos maduros, que recolectan mediante la succión o el uso de una pinza mecánica que sujeta el fruto, instalada en un brazo articulado y posteriormente cortan el pedúnculo. Incluso se ha diseñado una cosechadora de tomate específicamente creada para la recolección del tomate cereza.

VIII. APUESTA POR LA AGRICULTURA Y GANADERÍA SOSTENIBLE Y DIVERSIFICADA FRENTE AL INCREMENTO EXPONENCIAL DE LA POBLACIÓN MUNDIAL

Conseguir la seguridad alimentaria para una población actual del planeta de 7.000 millones es ya un reto complejo, como se ha puesto en evidencia por diferentes estudios de tipo global, donde se aprecian fuertes interferencias humanas que han llevado a numerosos ecosistemas a su degradación y consecuentemente a la reducción de sus ciclos energéticos. De hecho, de acuerdo con los análisis globales, ya citados anteriormente, de Meadows & *al.* (2004), ya habríamos sobrepasado el nivel crítico. Sin embargo, quizás pudiera recuperarse la situación siempre que se introdujeran importantes medidas correctoras, ya que la superación del umbral de sostenibilidad es relativamente reciente y dentro del planeta hay diferentes zonas en cuanto a niveles degradativos se refiere.

Volver a instalar una actividad agraria que es la responsable de la producción de alimentos y numerosas materias primas una vez que el entorno natural se ha contaminado y degradado es una tarea realmente difícil, casi imposible.

Hemos realizado una síntesis de esfuerzos, y a continuación trataremos de otros que se están llevando a cabo o que se pretenden realizar.

Parece sin embargo necesario un cambio de estrategia que nos permita acometer el camino hacia la sostenibilidad, sin golpes de timón pero que permitan establecer nuestra continuidad en el pequeño planeta que habitamos.

La seguridad alimentaria es actualmente un concepto central dentro de los derechos humanos y es objeto de una especial atención en estos momentos, precisamente cuando se había considerado que la humanidad estaba entrando en una etapa en que iba a conseguir reducir la incidencia de este grave problema. Se aplican varios criterios para definir el término, pero el más usual es el utilizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación: «La seguridad alimentaria existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana» (Cumbre Mundial sobre la Alimentación, 1996).

Otro término que a veces es utilizado de una forma similar es el de soberanía alimentaria pero que en realidad se refiere a la capacidad que un colectivo tiene para elegir y definir su propia política agraria y alimentaria en el ámbito de la sostenibilidad.

En España recientemente se ha constituido (RD19/2014 del 17 de enero) el Instituto Nacional del Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición como consecuencia de la fusión de dos organismos con similares competencias.

El hambre puede ser *aguda* o *estacional* por escasez, pero ocurre también por otras causas como sequía o episodios bélicos. Otro término fundamental es *la hambruna*, que se presenta cuando la gente llega a morir a causa del hambre, es por tanto el suceso extremo.

Por otro lado el *hambre crónica* se define como aquel la que se presenta de forma continua, a lo largo de la vida, o en situaciones de larga duración, llegando a una situación de subnutrición. Puede ocurrir que la cantidad de energía que se ingiere sea suficiente pero se presenta un déficit de proteínas, lo que se conoce como *hambre proteica*.

El primer paso para conseguir la seguridad alimentaria se basa en situarla dentro de la oferta existente de alimentos, a través de la producción, los niveles de existencias y las capacidades comerciales y financieras. En consecuencia, hay implicados aspectos muy variados donde es precisa una red de transporte importante, terrestre, marítimo y aéreo. Pensemos en las especies con mayor importancia. P. e. la producción de

trigo en Argentina es consumida en buena parte en países muy lejanos, siendo necesario su transporte vía marítima, en grandes barcos y una importante infraestructura portuaria. Previamente ha sido recolectada con potentes cosechadoras de cereales, trasladada a almacenes primarios y finalmente termina el proceso de acopio de la cosecha en enormes silos portuarios. En destino debe realizarse un proceso similar, a la inversa, donde es desembarcado el grano y trasladado mediante camiones a silos locales y de allí distribuido. Todo el proceso debe estar realizado en condiciones de aseguramiento.

Están implicados los precios, los mercados de futuro de materias primas, la oferta y la demanda, para finalmente llegar a un precio que se mueve a través de organizaciones de comercio especializadas, como la Bolsa de Chicago.

La existencia de cualquier problema que reduzca la cosecha total puede generar una inmediata alza en los precios como ya ha ocurrido recientemente hace unos pocos años (2008) con el trigo, por caídas de la productividad consecuencia de la sequía. Cualquier inconveniente movilizaría al alza los preciso de los granos, lo mismo que el desvio de la producción hacia otros objetivos, como el uso de granos oleaginosos y de cereales para la obtención de biodiésel o alcohol etílico para su utilización como combustible.

El abastecimiento global se realiza con diferentes épocas de recolección. Los cereales, que en el fondo soportan una parte sustancial de la alimentación mundial de los humanos y también del ganado, son un caso concreto. En la zona occidental del hemisferio norte los cereales (trigo, cebada, avena, centeno) se recolectan en el inicio del verano, y el maíz, la soja y el girasol, al final del mismo. Aproximadamente con un desfase de unos cuatro meses se realiza la recolección y el almacenaje en los dos casos.

La seguridad alimentaria se basa en la producción de la superficie agraria en el conjunto del planeta, considerando la contraposición de estaciones entre los dos hemisferios. Aunque existen importantes reservas alimentarias, en el caso de una cosecha baja frente a las medias usuales, se produciría el incremento de precios y se generarían problemas de desabastecimiento. Si las cosechas de un hemisferio quedaran destruidas, la cosecha entrante del hemisferio opuesto no sería suficiente para cubrir todas las necesidades de la población del planeta.

Esto obliga a mantener un *stock* de seguridad que aunque no cubriría la situación permitiría reducir la gravedad del problema. Sin

embargo, este *stock* tiene un importante coste. Trueba & MacMillan (2011) consideran que podría estar reduciéndose el nivel de cosecha de seguridad almacenada en los últimos tiempos.

La Revolución Verde tuvo como base la mejora genética vegetal y fue una de las acciones que permitieron reducir el hambre en el mundo ya en el siglo xx. El investigador que lideró el movimiento fue el Dr. Ernest Borlaug, que lideraba el Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT), con sede en Méjico, que recibió el Premio Nobel de la Paz por su contribución a la mejora de la alimentación en zonas importantes del planeta obteniendo cultivares de trigo semienanos, de alta calidad harinera y una resistencia elevada al encamado, lo que permitió obtener máximos rendimientos aplicando elevadas dosis de abonado. Muchos países consiguieron el equilibrio alimentario en ese momento, gracias a estos cultivares, como el propio Méjico o la India..

Uno de los problemas que se presentan, se refiere a que una vez solucionada la limitación alimentaría en muchos casos, la población continúa incrementándose en la forma previa, incluso a mayores tasas que anteriormente. De esta forma, la nueva ventaja obtenida desaparece, y el problema puede incluso llegar a incrementarse. Es preciso considerar que la adecuación permanente entre los insumos alimenticios y la población tiene que ser objeto de permanente aproximación al equilibrio.

La energía alimentaria debería manejarse según la ocasión en unidades de energía, que debería ser utilizada como mediada universal, aunque en ocasiones fuera preciso hacerlo en unidades de peso. Estrictamente debería utilizarse como unidad el julio, que corresponde al sistema internacional de medidas, pero sin embargo la antigua unidad caloría está profundamente arraigada en el ámbito alimentario.

El uso de la energía como unidad final en todos los ámbitos nos permitiría utilizar para comparar la eficacia entre procesos, y que conociéramos la falta de sostenibilidad en actuaciones productivas concretas, tratando de evitar que se utilice mas energía que los productos resultantes. A finales del siglo xx la disponibilidad media en el conjunto de países desarrollados fue de 3.380 kcal/día frente a 2.681 de los países en desarrollo, La supervivencia se consigue con una cantidad inferior que se denomina energía del metabolismo basal, que se sitúa entre 1.720 y 1.960 kcal/día. Adicionalmente es necesario añadir un 20% más para mantener una pequeña actividad física.

Algunas cifras de interés sobre población y alimentación

Tomando como referente la Segunda Guerra Mundial (1945), la población del planeta ha crecido de 2.500 millones de habitantes a 7.000 millones. La producción de cereales en 2009 fue de 2.300 millones de toneladas y la producción de carne y huevos sobre 325 millones de toneladas. Sin embargo, uno de cada siete habitantes sufre de hambre crónica (Trueba & MacMillan, 2011).

La mayoría de las personas hambrientas viven en Asia, 578 millones, frente a las que se encuentran en África, que alcanzan los 239 millones. Sorprende que tan solo en India haya más personas que sufren hambre que en el conjunto de África. En todos los países existen situaciones de hambre, pero el 65% se encuentran en siete países (Programa Mundial de Alimentos, PMA). El número de personas que sufren hambre está situado en torno a 800 millones (1969-2007) pero el incremento de los precios en los productos alimentarios subió hasta el 25% de forma repentina.

La cantidad de personas crónicamente hambrientas está relacionada con los precios internacionales de los alimentos. La capacidad de gasto y su distribución parece estar muy influida por los niveles de renta. Mientras los niveles bajos gastan la mayoría de sus ingresos en la alimentación, los de ingresos medios se sitúan en el entorno del 15%. Recientemente los precios de los alimentos en 2008/2009 han subido hasta alcanzar valores récord como consecuencia de la crisis financiera, y también por problemas causados por las fuertes sequías.

La parte que se dedica a la agricultura supone el 13% de la superficie emergida, y de ella aproximadamente el 80% corresponde a agricultura de secano y tan solo el 20% de regadío. Sin embargo el 40% de la producción total corresponde a esta última. Para producir los alimentos precisos para mantener a una persona durante un solo día es preciso utilizar 3.000 litros de agua. Tan solo el 1% del agua corresponde al agua dulce, lo que obviamente la convierte en un bien terriblemente escaso. El 75% de la extraída es utilizada para el regadío en España y a nivel global se sitúa en una cifra similar del 70% (Trueba & McMillan, 2011).

Existe disponibilidad de nuevas tierras que podrían dedicarse a la agricultura, principalmente en África subsahariana y en Sudamérica. El problema es que actualmente están ocupadas por bosques y sabanas, pero desconocemos el impacto sobre el planeta y su estabilidad atmosférica, sobre la erosión, el ciclo del agua y en concreto sobre la biodiversidad, ya que no conocemos qué puede suponer la eliminación de las últimas zonas

de vegetación natural y, que podría tener efectos catastróficos. No parece una idea que encaje en absoluto con los intentos de sostenibilidad global.

Existen movimientos en el sentido de adquisición de tierras y/o de derechos sobre agua dulce por parte de empresas en África e Iberoamérica.

Otro problema añadido se encuentra en los bajos precios que obtienen los agricultores por sus productos, siendo difícil separar las causas generadoras, que pueden estar basadas en sistemas comerciales poco eficientes u otro tipo de razones, pero que es preciso resolver. Estos precios bajos no han incentivado la inversión ni la modernización y tampoco han mantenido la mano de obra agrícola, que se ha desplazado a las ciudades para trabajar en la industria o en los servicios.

Son cifras que en su conjunto son verdaderamente preocupantes y nos llevan, en definitiva, a buscar soluciones de inmediata puesta en marcha, que generen un cambio de planteamiento y reduzcan la presión humana sobre el medio ambiente. Se trata de una transición hacia sistemas de producción verdaderamente sostenibles, viraje que debe ser realizado rápidamente y de forma real; el tiempo para la indecisión ha concluido ante tres necesidades que se plantean: conservación del conjunto de recursos naturales, que toda la población pueda comer y que se produzca un control voluntario de la natalidad.

IX. LA NECESIDAD DE CAMBIO DE ESTRATEGIAS GLOBALES, NACIONALES Y PERSONALES

La cuestión fundamental es poner en funcionamiento metodología de producción de alimentos dentro de sistemas sostenibles. Existen organismos internacionales que deberían ser capaces de coordinar con los gobiernos de todo el planeta un plan destinado a la implantación de los sistemas sostenibles. Con acciones destinadas a las ciudades, a los ámbitos periurbanos y al medio rural y también al comercio internacional incluyendo costes, almacenaje y capacidad de transporte.

El desarrollo sostenible, aunque se ha convertido en un concepto habitual y parece recibir apoyos desde muy diversos lugares, en muchas ocasiones parece dar la sensación de que no termina de cristalizar.

Por otro lado, ha sido señalada por varios autores la contradicción existente en el término desarrollo sostenible, ya que no puede ser completamente sostenible pues en el fondo supone extraer energía de un sistema, y que simplemente a nivel semántico ambas palabras poseen un

significado contradictorio, siendo en realidad incompatibles, al considerar que *desarrollo* en realidad implica un crecimiento ilimitado, lo cual resulta incompatible con el concepto de sostenibilidad. De esta manera, Ehrenfeld (2005) considera que se desarrolla *un oxímoron*, término procedente del griego y que en latín significaría «contradictio in terminis», al utilizar conjuntamente dos términos de significado contrario.

Las estrategias a utilizar son muy heterogéneas y además deben implicar a diferentes agentes, lo que supone una dificultad añadida. De forma que la aplicación del desarrollo sostenible debe incluso basarse en la implicación de los diferentes niveles.

El primero es el personal, individuos o pequeños núcleos poblacionales, lo que puede ser clave en la dinamización del proceso, como se ha podido comprobar en diferentes casos. La actuación a nivel regional y nacional resulta ser más compleja, pero permite disponer de mayores medios para conseguir sus fines. Finalmente, la estrategia global o planetaria permitiría llevar adelante una actuación con recursos suficientes que puedan garantizar su éxito. En cierta forma debería ser un sistema sinérgico con diferentes niveles de complejidad, que permitiera la actuación y que los diferentes establecieran controles eficaces entre ellos.

Considerando todo este conjunto de información, de pros y contras, parece en principio complejo llegar a conclusiones claras concretas que permitan generar una cadena de propuestas y alternativas. Sin embargo, si buscamos en las ideas más sencillas, empiezan a aparecer algunos principios de solución. La base se encuentra en nuestra opinión en el criterio de sostenibilidad, tal y como propone el Informe Brutland, aun a sabiendas de que el desarrollo sostenible no puede existir; lo mejor que realmente puede suceder es adecuarlo a una sostenibilidad temporal razonable, basada en un criterio de equilibrios inestables, que permita mantenerla en el tiempo y tomar medidas adicionales en caso de que se produzcan desajustes de importancia. Apoyando esta interpretación también en el el concepto de *biomímesis*, adelantado por los influyentes ecólogos R. Margalef y H.T. Odum, se puede considerar que a la economía general debería seguir la economía de los ecosistemas por su extrema eficacia. Queda definido este término por Riechmann en base a Gil Friend (1996) en el trabajo «Ecomimesis: copying ecosystems for fun and profit» (http://www.natlogic.com/rsources/nbl/v05/n04.html): «Imitar la naturaleza a la hora de reconstruir los sistemas productivos humanos con el fin de hacerlos más compatibles con la biosfera».

X. MEDIDAS CONCRETAS Y BREVE ANÁLISIS

Dentro de las medidas, *la primera* y fundamental trataría de conseguir una población relativamente estable en el planeta. Los países deben controlar de forma voluntaria la tasa de natalidad a niveles consecuentes con este objetivo. De forma general, el crecimiento actual es elevado, con grandes incrementos poblacionales en Asia y África y bajos en Europa, EE. UU. y otros países industrializados. Hay que tener en cuenta que cualquier avance que se consiga, como en el caso de la Revolución Verde del Dr. Borlaug, las tasas elevadas de natalidad finalmente lo minimizan o incluso lo eliminan. Deben aplicarse las medidas de forma inmediata, ya que el tiempo para reaccionar se empieza a terminar. El problema fundamental se encuentra en los países en vías de desarrollo, que deberían limitar su tasa de natalidad. Sin embargo, no parece que sea considerado un tema prioritario. Por ejemplo, en el caso de India cada año la población está aumentando en 27 millones de habitantes (Trueba & MacMillan, 2011).

La segunda: la inmediatez de las actuaciones propuestas es imprescindible: aunque el término desarrollo sostenible tiene ya su propia historia, todavía no se ha puesto en práctica de forma global. Ciertamente la necesidad del cambio de paradigma en el uso de recursos está calando profundamente en la sociedad, especialmente en los más jóvenes, pero en estas circunstancias de degradación ambiental esto no sería suficiente.

La tercera se basa en el aprovechamiento más eficaz de la energía fijada por el proceso fotosintético de forma más eficaz, que en términos medios supone un 1% de la radiación solar. Bastaría para ello que utilicemos la energía de los alimentos de manera más racional y también más saludable. La forma de realizarlo resulta sumamente sencilla, bastaría reducir la ingesta por la población de proteína animal sustituyéndola parcialmente por otra vegetal. Y en los casos de utilizar alimentación animal se antepongan el uso de aquellos tipos de carne con menor coste energético (aves y cerdo).

La eliminación parcial de uno de los niveles de la cadena trófica, pasando así los humanos a ocupar el segundo nivel, como herbívoros, evitaría la pérdida de una cantidad sustancial de energía, ya que la eficacia de la transformación de los herbívoros de la energía fijada a partir del nivel de productores primarios (las plantas) es baja, del orden del 10 al 15%. Posteriormente los herbívoros son consumidos por los humanos (actuando como carnívoros) y todavía se reduce más la eficacia en la

nueva transformación. Es decir, con el procedimiento actual resultamos muy poco eficientes en el manejo de la energía alimentaria.

De esta manera, con un simple cambio en la dieta, la cantidad de energía alimentaria conseguida de forma suplementaria permitiría suficiente energía para poder alimentar al conjunto de la población humana de manera sobrada. Los productos vegetales pueden ser manejados para saborizarlos de forma atractiva, p. e. se han realizado experimentos con la proteína texturizada y saborizada de diversas leguminosas. Como en el caso de la proteína de guisante texturizada con forma de ganchitos y sabor a gambas. En el caso de utilizar especies animales se escogerían aquellas de menor coste energético en su producción, es el caso de las aves y el cerdo frente al ganado vacuno. Este último quedaría especializado en la producción de leche y productos derivados (yogures, quesos, etc.).

La cuarta es controlar todos los procesos en producción desde el punto de vista de análisis energético, de forma que se pueda conocer cuándo estamos gastando una mayor cantidad de energía que la finalmente producida en el proceso y tomar las decisiones que procedan. Cualquier producto o proceso puede ser evaluado, con la ventaja de poder comparar productos muy diferentes con la misma unidad de medida: el julio. Reducir el excesivo consumo de energía no necesaria podría ser uno de los puntos claves del control del conjunto de procesos y es el origen de muchos desequibrios.

La quinta sería la puesta en marcha de varios ambiciosos programas de biotecnología y mejora genética vegetal y animal, de financiación pública, en diferentes áreas representativas de las condiciones agroclimáticas características, en los que utilizando los nuevos logros de la genética molecular en conjunción con la mejora genética clásica se consiguiera producir una Nueva Revolución Verde. La utilización de los marcadores moleculares de genética molecular, así como la obtención de transgénicos mediante la utilización de la ingeniería genética, en programas públicos y manteniendo el principio de precaución. Todas estas acciones en su conjunto deberían conseguir una renovación metodológica y nuevos materiales vegetales, de forma que se consiguiera un incremento de importancia en la productividad, en la calidad alimentaria, en la diversificación de productos, en la resistencia a plagas, enfermedades y al estrés hídrico, mediante la utilización de los genes más favorables que permitieran alcanzar valores máximos para caracteres en las especies cultivadas.

La sexta, conservar los recursos genéticos en modernos bancos de germoplasma, con duplicados de seguridad en diferentes localidades

con los diferentes cultivares de todas las especies agrícolas, tanto actuales como tradicionales, de forma eficaz y sin pérdida de capacidad germinativa, ni tampoco de variabilidad genética y con disponibilidad general para los investigadores interesados. Continuar con los procesos de domesticación de especies imperfectamente conocidas para su utilización dentro de la agricultura y ganadería, así como la búsqueda de nuevas especies de interés dentro de las 250.000 establecidas actualmente dentro de las angiospermas.

La séptima limita el impacto sobre el medio ambiente, especialmente en los recursos naturales, basándose en informes de impacto de profesionales independientes y acreditados. Conservación de ecosistemas boscosos, uso eficaz del agua, creación de santuarios de agua en zonas montañosas, que actúen como reservorio, reservando en exclusiva el área para el fin señalado. Creación de redes de distribución eficaces. Entendiendo como tal la eficacia en su captación, almacenaje y distribución, con un bajo nivel de pérdidas y ausencia de contaminación, como parte de la ingeniería del proceso.

La octava, incrementar de forma importante la inversión en las actividades agrarias, como control de la erosión y conservación del suelo, equipos de conservación de los alimentos de nueva tecnología, instalados en modernas centrales hortofrutícolas y en general el sistema de acopio, transporte, almacenaje y distribución rápida. Potenciar el uso de la robótica de forma general y especialmente en la recolección. Incrementar las inversiones en la modernización de la infraestructura general de ámbito rural, de manera que se corresponda a un entorno eficaz y de conservación. Control y seguimiento de la producción agraria del planeta, a través de la prospección de la cosecha en sus diversas zonas y su valoración real. Incluyendo la gestión de la capacidad de respuesta ante situaciones catastróficas.

La décima y última, pero no por ello la menos importante, es hacer llegar al conjunto de la población el detalle de la situación con la suficiente claridad, para que sea consciente y pueda apoyar las medidas de corrección ambiental y alimentaria, todo ello para valorar y apoyar el desarrollo sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

Dana, E. D., Sobrino-Vesperinas, E. & Sanz-Elorza, M. 2003. Bañares, A. & *al.* (eds.). «Plantas invasoras en España: un nuevo Problema en las Estrategias de Conservación». In: *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular en España.* Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.

Ehrenfeld, J. R. 2005. «The roots of sustainability», Sloan Management Review, Winter 46 (2).

Gutiérrez-Teira, G. & Picatoste, J. R. 2012. *Evidencias del cambio climático y sus efectos en España.* Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.

Kaprovickas, A. 2010. «La domesticación y el origen de la agricultura». *Bonplandia* 19(2): 193-199.

Maroto, J. V. 1998. *Historia de la Agricultura. Una visión de la evolución de las ciencias y técnicas agrarias.* Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

Meadows, D, Randers, J. & Meadows, De. 1972. *Los límites del crecimiento.*

—— 1992. *Más allá de los límites del crecimiento.* Circulo de Lectores. Barcelona.

—— 2006. *Los límites del crecimiento, treinta años después.* Galaxia GutenbergCirculo de Lectores. Barcelona.

Princen, L. H. 1983. «New oilseeds crops on the horizon». *Econ. Bot.* 37: 478-492.

Richardson, D. M., Pysek, P., Rejmánek, M., Barbour, M. G., Panetta, F. D., et West, C. J. 2000. «Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions». Diversity and Distributions 6: 93-107.

Riechmann, J. 2000. *Un mundo vulnerable.* Los Libros de Catarata, Madrid.

Sanz-Elorza, M. & Sobrino-Vesperinas E. 2002. *Plantes vasculars del cuadrat UTM 31TCF34 Cambrils.* Orca. Catalegs floristics locals. Institut d'estudis catalans. Barcelona.

Trueba, I. & MacMillan, A. 2011. *Como erradicar el hambre en tiempos de crisis.* UPM Press. Madrid.

UICN. 2000. UICN Guidelines for the Prevention of Biodiversity Loss caused by Alien Invasive Species.

Zohary, D. & Hopf, M. 1993. *Domestication of Plants in the Old World.* Clarendon Press. Oxford.

SERVICIO DE PUBLICACIONES
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

ULL | Universidad de La Laguna