

Un planeta hambriento en el futuro

¿HABRÁ SUFICIENTES
ALIMENTOS PARA TODOS?




**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA**

Isaac Shifter

María del Carmen González Macías

Un planeta hambriento en el futuro
¿Habrá suficientes alimentos para todos?

ISAAC SCHIFTER
MARÍA DEL CARMEN GONZÁLEZ MACÍAS





**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA** PUBLICACIONES
ARBITRADAS
HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS



**COLECCIÓN
CIENCIA e
INVESTIGACIÓN**

Cada libro de la Colección Ciencia e Investigación es evaluado para su publicación mediante el sistema de dictaminación de pares externos. Invitamos a ver el proceso de dictaminación transparentado, así como la consulta del libro en Acceso Abierto en



[DOI.ORG/10.52501/cc.059](https://doi.org/10.52501/cc.059)

www.comunicacion-cientifica.com

Ediciones Comunicación Científica se especializa en la publicación de conocimiento científico en español e inglés en soporte de libro impreso y digital en las áreas de humanidades, ciencias sociales y ciencias exactas. Guía su criterio de publicación cumpliendo con las prácticas internacionales: dictaminación de pares ciegos externos, comités y ética editorial, acceso abierto, medición del impacto de la publicación, difusión, distribución impresa y digital, transparencia editorial e indexación internacional.

Un planeta hambriento en el futuro
¿Habrá suficientes alimentos para todos?

ISAAC SCHIFTER
MARÍA DEL CARMEN GONZÁLEZ MACÍAS



Schifter, Isaac

Un planeta hambriento en el futuro : ¿Habrán suficientes alimentos para todos? / Isaac Schifter, María del Carmen González Macías. — Ciudad de México : Comunicación Científica, 2022. 150 páginas : ilustraciones. — (Colección Ciencia e Investigación).

ISBN 978-607-59425-1-3

DOI 10.52501/cc.059

1. Seguridad alimenticia. 2. Agricultura. I. González Macías, María del Carmen. II. Título. III. Serie.

LC: HD9000.5

Dewey: 363.192

D. R. Isaac Schifter y María del Carmen González Macías, 2022

Primera edición en Ediciones Comunicación Científica, 2023

Diseño de portada: Francisco Zeledón • Interiores: Guillermo Huerta

Ediciones Comunicación Científica S.A. de C.V., 2023

Av. Insurgentes Sur 1602, piso 4, suite 400,

Crédito Constructor, Benito Juárez, 03940, Ciudad de México

Tel. (52) 55 5696-6541 • móvil: (52) 55 4516 2170

info@comunicacion-cientifica.com • infocomunicacioncientifica@gmail.com

www.comunicacion-cientifica.com  comunicacioncientificapublicaciones

 @ComunidadCient2

ISBN 978-607-59425-1-3

DOI: 10.52501/cc.059



Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos externos. El proceso transparente puede consultarse, así como el libro en acceso abierto, en

<https://doi.org/10.52501/cc.059>

Índice

<i>Resumen</i>	9
<i>Prefacio</i>	11
I. Hambre cero en el planeta	17
II. Dietas sostenibles.	72
III. Fuentes de alimentos y sistemas de producción	86
IV. Epílogo	134
<i>Bibliografía</i>	137
<i>Sobre los autores</i>	143
<i>Índice de figuras y tablas</i>	145
<i>Índice general</i>	147

Resumen

El acceso físico, social y económico a una alimentación suficiente y segura, es crucial para los habitantes de la Tierra. La población en constante crecimiento requiere de una producción alimentaria para la que, se pregona al día de hoy, no hay recursos planetarios disponibles para su obtención. El prevenir la pérdida de comida y el desperdicio de ella, particularmente en países en desarrollo, es un tema muy serio, ya que existen alrededor de 821 millones de personas hambrientas en el mundo. Se estima que para 2050 se debe duplicar la producción de alimentos; sin embargo, la tierra fértil y el agua cada día escasean más. El acceso económico y físico a los alimentos en sí, no garantiza la seguridad alimentaria a nivel de los hogares. Lo que importa no es la producción de alimentos, sino su disponibilidad, pues esta equivale a la producción de alimentos menos las pérdidas y desperdicios. Más aun, no solo debe tenerse en cuenta la producción, sino también su consumo, que está relacionado con la dieta. El nexo del agua, la energía y la alimentación es cada vez más fuerte, y los impactos en un sector afectan a los otros. En un planeta bajo la presión del cambio climático y de las crecientes demandas de una población cada vez mayor, comprender y tener en cuenta estas interdependencias es vital para alcanzar a largo plazo las metas económicas, medio ambientales y sociales. El reconocimiento de este nexo refleja los progresos de la ciencia y de la tecnología que han hecho posible realizar proyecciones a mediano y largo plazo. Mediante ellas se observan los incrementos de consumo (o demandas) de agua, energía y alimentación que, por su cuantía, plantean formular políticas para alcan-

zar dichas metas o, al contrario, disminuirlas por medio de un uso más eficiente de los recursos. El aumento de la productividad agraria, aún necesario a pesar de los matices que se describen, debe lograrse sin deteriorar el medioambiente, sin agotar los recursos naturales y mitigando el cambio climático, lo que supone un enorme reto científico y tecnológico para la humanidad.

Palabras clave: Seguridad alimenticia, Agricultura.

Prefacio

No hay amor más sincero / que el que sentimos hacia la comida.

GEORGE BERNARD SHAW

La humanidad se encuentra en un momento crítico en donde se cuestiona cómo mantener la capacidad de sobrevivir sin comprometer irreversiblemente las condiciones ambientales y biofísicas de las que depende. La presión antropogénica en el sistema terrestre ha alcanzado un punto en el cual se temen cambios ambientales abruptos, por lo que la sustentabilidad podría ser una mera utopía. En particular, la interdependencia entre los alimentos, el agua y la energía son temas centrales que deben integrarse de una forma beneficiosa. Los alimentos son la palanca más potente para optimizar la salud humana y la sostenibilidad ambiental en la Tierra. Sin embargo, los alimentos pueden amenazar tanto a las personas como al planeta. La humanidad se enfrenta al inmenso desafío de proporcionar dietas saludables de sistemas alimentarios sostenibles a una población mundial en aumento.

En el siglo XXI, la agricultura afronta múltiples retos además del de producir más alimentos y fibras a fin de alimentar a la población, empleando menor mano de obra. Deberá emplear materias primas para satisfacer un mercado en el que la bioenergía será preponderante, y contribuir al desarrollo global de los numerosos países en desarrollo dependientes de la agricultura. Si bien la producción mundial de calorías procedente de alimentos ha mantenido generalmente el ritmo de crecimiento de la población, millones de personas todavía carecen de alimentos suficientes, y muchos consumen dietas de baja calidad o demasiados alimentos. Las dietas poco saludables representan actualmente un mayor riesgo para la morbili-

dad y la mortalidad que la suma del alcohol, las drogas y el tabaco. La principal fuente de alimentos para la población del mundo es la agricultura; se puede afirmar que cerca de 90% de los habitantes del planeta no podrían sobrevivir sin ella. Aunque poca gente vive de la pesca y la caza de manera personal o en pequeños grupos, los sistemas de alimentos naturales proveen una contribución estratégica a la nutrición. Visto como un sistema cerrado que toma en cuenta adicionalmente la refrigeración, el procesamiento de la comida, empaque y transporte; la agricultura contribuye con más o menos un cuarto de las emisiones de gases invernadero, y dicha tendencia sigue hoy en día creciendo. Para 2050 la población superará los 9 100 millones, y alrededor de 70% de esta será urbana, principalmente en países en desarrollo. El asegurar una buena calidad de vida en términos de alimentación, educación y otros servicios necesarios para esa población futura es, sin duda, un reto mayúsculo; se necesita producir alimentos para abastecer la demanda sin dañar en lo posible los ya escasos recursos naturales, lo cual implica la posibilidad de recurrir a formas alternativas de producción. Existe un consenso para reconocer el acceso a los alimentos como un derecho humano. Aunque se acepte la ayuda humanitaria en casos de desastres o guerras, hoy en día ninguna nación tiene derecho a dejar morir de hambre a sus habitantes.

Es muy claro que la forma de producción y consumo tiene impactos no solo para la salud, pues está íntimamente conectada con la de los animales y el medioambiente. Conforme la temperatura del planeta se eleva, al tiempo que los eventos nocivos relacionados con el clima hacen otro tanto, existe una presión constante con el fin de construir sistemas alimentarios sustentables y resilientes. Es indudable que el cambio climático tiene repercusiones considerables en la inocuidad de los alimentos, lo que pone en peligro la salud pública. Existe el riesgo de contaminación de los alimentos con metales pesados y compuestos orgánicos persistentes debido a los cambios en las variedades y métodos de cultivo. Los factores de riesgo y las enfermedades sensibles al clima figurarán entre los mayores contribuidores a la carga mundial de morbilidad y mortalidad relacionada con los alimentos, como la desnutrición, enfermedades transmisibles y no transmisibles, las diarreas y transmitidas por vectores. Lo que la agricultura produce está relacionado con la demanda de los consumidores, y los

cambios en sus preferencias son lo que genera una presión en la cantidad de agua que se necesita para producir alimentos.

Hay una estrecha correlación entre el hambre, la pobreza y el agua: la mayoría de la gente hambrienta y pobre vive en regiones en donde el recurso acuático es muy limitado para la producción de alimentos. Lo anterior hace que el suministro de agua sea indispensable para la producción de alimentos, debido a la variabilidad de las lluvias, largas temporadas de sequías, inundaciones y desperdicio del líquido. Esas regiones deprimidas de recursos cubren aproximadamente 40% de la Tierra, en donde reside igual porcentaje de los habitantes del planeta. Los cultivos de temporal son aquellos que crecen solo con el agua de la lluvia sin la ayuda del riego artificial, y estas áreas deben aumentar el rendimiento al mejorar la disponibilidad y la capacidad de captación de las cosechas. La agricultura de temporal domina la producción mundial de alimentos (80%); sin embargo, las inversiones en este tipo de agricultura han sido desatendidas en los últimos 50 años, a pesar de que más de 60% de los granos para cereales son producidos en esas regiones. A su vez, para contar con agua potable en las ciudades, se necesita una gran cantidad de energía para su extracción, transporte a larga distancia, purificación, almacenamiento y distribución. Una vez consumida, también se requiere energía para desalojar y tratar el agua usada antes de verterla a los ríos. De acuerdo con un estudio de la Organización de la Naciones Unidas (ONU, 2021), necesitaremos en el planeta 55% más agua, 80% más energía y 60% más alimentos para el año 2050; por ello es necesario gestionar eficazmente estos recursos, como lo ha destacado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Mahlknecht *et al.*, 2020).

En 2015, la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino para mejorar la vida de todos sin dejar a nadie atrás. La Agenda cuenta con 17 ODS, que incluyen desde la eliminación de la pobreza hasta el combate al cambio climático, la educación, la igualdad de la mujer, la defensa del medioambiente o el diseño de nuestras ciudades. Hasta ahora, la historia muestra que los sectores del agua, energía y agricultura han tenido un enfoque aislado en la gestión de sus políticas públicas. Este enfoque ha generado grandes desafíos para la seguridad hídrica, energética y

alimentaria, ya que, en un mundo hiperconectado con recursos finitos, las acciones e impactos que se tengan en un sector afectan a los otros. Entre las soluciones que conciernen a nuestro futuro, se pregona alinear la alimentación de manera sostenible como una forma efectiva de llevar a cabo un cambio sustancial en nuestro estilo de vida. Los animales y las plantas alimentarias deben visualizarse como una fuente sinérgica de aprovisionamiento de alimentos que obtienen diferentes beneficios nutricionales, sociales y económicos complementarios.

Las tecnologías digitales están transformando nuestras vidas, y la agricultura no escapa a esa tendencia. La creciente disponibilidad de tecnologías digitales da la posibilidad de revolucionar la producción, transformación, distribución y comercialización de alimentos. Son un medio necesario —aunque posiblemente no suficiente— para la transformación de los sistemas alimentarios. Hay multiplicidad de estudios que describen las dimensiones y las áreas de los sistemas alimentarios que se beneficiarían por la incorporación de tecnologías. Hay consenso en que se puede aumentar la producción y resiliencia; disminuir impactos ambientales y externalidades negativas; ofrecer más transparencia; mejorar la comunicación e integración de actores, así como las condiciones de vida y el trabajo rural. Los riesgos asociados con las dietas deficitarias también son la principal causa de muerte en todo el mundo, ya que millones de personas no comen lo suficiente o consumen alimentos inadecuados, una doble carga de malnutrición que puede conducir a enfermedades y crisis sanitarias. Por otra parte, António Guterres, secretario general de las Naciones Unidas, informó que

hoy en día existen unos 2 000 millones de hombres, mujeres y niños que sufren sobrepeso u obesidad. Es inaceptable que el hambre esté aumentando en un momento en el que el mundo desperdicia más de 1 000 millones de toneladas de alimentos cada año (ONU, 2019).

En el mundo, millones de personas no pueden afrontar los costos de una dieta saludable, lo que parece no ser atribuible a la falta de alimentos, sino más bien a la dificultad de acceder a ellos. Es necesario enfatizar que las definiciones de seguridad alimentaria adoptadas no dependen única-

mente de la disponibilidad, sino también de la accesibilidad física y económica a los alimentos. Gracias a las nuevas técnicas experimentales, ha ocurrido un importante avance en el conocimiento sobre el potencial de los alimentos para conservar o mejorar la salud. Las posibilidades de usar alimentos de acuerdo con nuestra carga genética, o de modificarlos para obtener solo ciertos nutrientes, o de que se liberen en el organismo solo ciertos principios activos, es hoy una realidad. Sin embargo, es importante resaltar que —frente a los gigantescos avances en tecnología alimentaria y al interesante y prometedor panorama que ofrece en términos de alimentación, salud, calidad y expectativa de vida con los llamados nuevos alimentos y tecnologías— tenemos aún una abrumadora realidad de hambre y desnutrición en el mundo.

I. Hambre cero en el planeta

¿Por qué comemos?

La respuesta a la pregunta puede parecer muy obvia: para vivir, ¿no?; pero no lo es tanto, ya que hay muchas razones que nos impulsan a consumir alimentos más allá de la supervivencia. Jan Bays (2015), pediatra de Harvard, considera que hay siete tipos de hambre que se pueden identificar en uno u otro momento:

1. el hambre por los ojos (esa que nos hace desear un alimento con verlo),
2. el hambre de olfato (la que nos hace apetecibles las palomitas o un *croissant* recién hecho),
3. el hambre de boca (que nos obliga a probar uno y otro plato, por experimentar diferentes sabores y texturas),
4. el hambre de estómago (la sensación de estómago vacío que lleva a picotear en intervalos),
5. el hambre celular (la que nos lleva a satisfacer antojos),
6. el hambre de pensamiento (que nos conmina a reducir las grasas o a comer más fruta), y
7. el hambre de corazón (que nos impulsa a comer por placer para compensar alguna otra insatisfacción).

Se sabe que las hormonas reguladoras del hambre son la *leptina* y la *ghrelina*; la primera promueve la reducción de la ingesta energética por medio de la señal de saciedad en el cerebro. Esta hormona envía la señal de que existe tejido adiposo suficiente, lo cual provoca la reducción en la

ingesta de alimentos y el aumento en el gasto energético. La ghrelina es una hormona gastrointestinal identificada como una potente reguladora de la alimentación y del control del peso corporal. La secreción de ghrelina es prominente antes de la hora de la comida, y decrece después de la ingesta en individuos bajo horarios regulares de alimentación. Cuando se pasa sin comer varias horas, bajan los niveles de leptina y suben los de ghrelina, que estimula el apetito. Al dormir también sube la ghrelina y baja la leptina, así que la persona suele comer más. También se ha reportado que en los obesos la secreción de leptina no funciona adecuadamente, y que en situaciones de estrés es la ghrelina la que se ve alterada (“Motivos por los cuales comemos”, s/f). Por otra parte, los estudios sugieren que los llamados comedores emocionales —personas que admiten comer sin hambre en función de su estado anímico, por euforia, depresión, ansiedad— no regulan bien la secreción de ghrelina (Neri Calixto *et al.*, 2015).

El punto de ajuste

La teoría del punto de ajuste establece que el cuerpo está programado genética y biológicamente para mantenerse dentro de un rango de peso predispuesto. En este rango de peso es donde el cuerpo funciona de manera óptima. La teoría del punto de ajuste atribuye el hambre a la falta de energía; por lo que la persona come hasta sentirse saciada, momento en que se detiene, porque se ha restablecido su nivel óptimo energético, es decir, logra el punto de ajuste energético. Es por ello, que esta acción no se repetirá hasta que su organismo no gaste la energía suficiente como para estar por debajo del punto de ajuste. Todos los sistemas de ajuste son de retroalimentación negativa, es decir, que procede de los cambios en un determinado sentido, y produce efectos compensatorios en el sentido contrario. De Castro y Plunkett (2002), del Departamento de Psicología de la Universidad del Estado de Georgia, señalaron tres problemas que conlleva esta teoría:

1. Si fuera válida, el ser humano podría haberse extinguido hace tiempo. Si dejáramos de comer cuando nos sentimos saciados, nuestros ancestros, por ejemplo, no habrían comido en grandes cantidades durante la época

- de abundancia de alimentos. De esta forma no hubieran podido acumular energía y habrían fallecido en las épocas de escasez.
2. Por otro lado, una parte importante de la población, a pesar de padecer obesidad o tener sobrepeso, sigue comiendo. Si esta teoría fuera cierta, alguien, con unos niveles elevados de grasa corporal, no debería comer hasta que los niveles no estuvieran por debajo del punto de ajuste.
 3. Esta teoría no recoge la influencia que tienen las variables como el aprendizaje, factores sociales o el sabor, sobre el hambre. El concepto de *homeostasis* apareció por primera vez en 1860, cuando el fisiólogo Claude Bernard (1994) describió la capacidad que tiene el cuerpo para mantener y regular sus condiciones internas. Posteriormente, en 1933, Walter Cannon (1929) acuñó la palabra *homeostasis* para describir los mecanismos que mantienen constantes las condiciones del medio interno de un organismo, a pesar de grandes oscilaciones externas. La homeostasis es un mecanismo orgánico y psicológico de control destinado a mantener el equilibrio dentro de las condiciones fisiológicas internas del organismo y de la psiquis. Consiste en un proceso regulador de una serie de elementos que han de mantenerse dentro de unos límites determinados, pues de lo contrario peligraría la vida del organismo. Así conocemos que existe una serie de elementos y funciones que han de estar perfectamente regulados y cuyo desequilibrio sería de consecuencias fatales para la vida; por ejemplo, la temperatura, la tensión arterial, cantidad de glucosa o de urea en la sangre. Estas funciones están reguladas y controladas por los mecanismos homeostáticos, y cada vez que surge una alteración en uno de estos elementos y funciones, el organismo regula y equilibra la situación poniendo en marcha una serie de recursos aptos para ello.

Teoría glucostática

El doctor Jean Mayer afirmó en 1953 que el acto de comer es controlado por la proporción de glucosa en el torrente sanguíneo (Bowman y Russell, 2003). Sugirió que a bajas concentraciones de glucosa se iniciaba la sensación de hambre, mientras que las altas concentraciones de glucosa se traducían en sensación de saciedad. Consideró a la hipótesis glucostática

como una aproximación fisiológica de los estados de hambre, que podía ayudar a discernir qué y cómo se regula. Mayer reconoció que su teoría representaba un mecanismo de regulación de energía a corto plazo, que probablemente interactuaba con un mecanismo regulador más largo, el cual podría ser controlado por los lípidos. Esta teoría propone que los requerimientos energéticos celulares determinan la conducta alimenticia. En particular, sugiere que las células cerebrales, que utilizan glucosa casi exclusivamente como combustible metabólico, son muy sensibles a las fluctuaciones de los niveles de glucosa en sangre, y que como tal activarán el “centro de saciedad” para detener el comer cuando sean altos los niveles de glucosa.

Teoría lipostática

Otra escuela de pensamiento indica que la conducta del comer está controlada por el tamaño y el número de las células adiposas. Especula que existe un punto fijo para cada animal según el número y células grasas, y cuando se alcanza dicho punto, el animal cesa de comer. En ausencia del comer, estos factores de almacenamiento se movilizan y se usan hasta que se alcanza un punto más bajo y comienza de nuevo el comer. La teoría se apoya en las observaciones de que los animales hambrientos comen gran cantidad de alimento, cuando se realimentan tras sentir hambre, hasta que consiguen su peso previo. Entonces, reinician su conducta alimenticia anterior a su situación de hambre.

Teoría del incentivo positivo

Dice la teoría que lo que mueve normalmente a los seres humanos y otros animales a comer no es una carencia interna de energía, sino que son incitados por el placer anticipado de la ingesta. Como lo definen autores como el psiquiatra John Pinel (2007), “es la presencia de buena comida, o la perspectiva de la misma, lo que nos provoca hambre, y no la carencia de energía” (p. 328). La cantidad de hambre que podamos sentir en un mo-

mento concreto del día depende de una serie de factores que confluyen. Dichos factores son:

- El sabor.
- Lo que hemos aprendido sobre el efecto del alimento.
- El tiempo que ha pasado desde la última vez que lo probamos.
- El tipo y cantidad de comida que tiene el intestino.
- Que haya otras personas comiendo, o que estemos solos.
- Los niveles de glucosa en sangre.

El hombre carnívoro

Se ha asumido por mucho tiempo que nuestros ancestros más cercanos fueron inicialmente cazadores si se juzga por los residuos de huesos de animales, puntas de flechas y pinturas encontradas en las paredes de antiguas cuevas. Sin embargo, desde la aparición del *Homo sapiens* hace unos

Figura 1. Danza de Cogul, España



200 000 años, hasta hace algunos 10 000, la inmensa mayoría del tiempo que hemos pasado en nuestro planeta, hemos obtenido los alimentos a través de la recolección y la caza. Los humanos somos omnívoros y siempre lo hemos sido. Las pinturas en las cuevas revelan el tipo de especies que se cazaban, algunas de ellas ya extintas. El primer cambio cultural relacionado con la alimentación apareció con el *Homo habilis*, quien hizo la transición de una dieta basada, primordialmente, en plantas no procesadas a una con grandes cantidades de carne y médula, en la era del Pleistoceno. La evidencia más contundente de la alimentación de carne y médula se encuentra en las marcas de carnicería dejadas en los huesos. En el caso de la médula, para extraerla, el presionar los huesos con una piedra a fin de romperlos deja marcas de percusión en ellos. La Figura 1 muestra pinturas y grabados que conforman el conjunto pictórico de la *Roca dels Moros*, uno de los yacimientos más destacados del arte rupestre levantino.

¿Por qué los homínidos empezaron a comer más carne y médula? La pregunta es difícil de contestar, pero se pueden examinar algunos de los beneficios que la carne y la médula aportaron; los dos son fuentes de calorías con micronutrientes y aminoácidos esenciales, y, adicionalmente, la fauna acuática ofrece recursos ricos en nutrientes necesarios para el crecimiento del cerebro. El consumo creciente de alimento animal debe haberles permitido a los homínidos incrementar su cuerpo sin perder movilidad, agilidad y sociabilidad.

Hoy sabemos que, con anterioridad a la domesticación de las plantas, existió un uso intensivo de las mismas que en determinadas zonas incluyó el cultivo de cereales silvestres. El proceso de domesticación fue lento y progresivo, y ocurrió en diferentes lugares del Próximo Oriente de forma simultánea. Por otra parte, también se ha puesto de manifiesto la importancia que pudieron haber tenido otras plantas además de los llamados “cultivos fundadores”. La domesticación es, en definitiva, la culminación de un largo proceso en la utilización de las plantas.

El hambre

Los alimentos están presentes en nuestro día a día. La alimentación es un derecho humano y debe ser una visión compartida por todos los habitantes del planeta. En cualquier lugar, los alimentos tienen el poder de cambiar la vida de las personas, permiten llevar una vida sana y activa, y determinan, en gran medida, nuestro futuro. Sin embargo, la forma en que producimos y consumimos alimentos también aumenta la inequidad y malgasta los recursos naturales —como las tierras fértiles, el clima, el agua potable— que necesitamos para vivir; y como consecuencia experimentamos el hambre, la pobreza y la exclusión aunadas a las sequías, pérdidas de cosechas y medios de subsistencia, las crisis alimentarias o conflictos por el acceso a los recursos productivos; todas ellas imágenes de desolación que aparecen con cierta regularidad en los medios de comunicación mostrando personas que viven siempre al límite.

El hambre amenaza de manera creciente la vida de millones en todo el mundo y, entre estos, a muchos infantes con alarmantes niveles de desnutrición. El hambre no es contagiosa, pero en las regiones más pobres se transmite de generación en generación. El estado de la madre durante el embarazo, los cuidados y la nutrición en los primeros mil días del desarrollo de su bebé pueden llevar a un crecimiento adecuado o a graves secuelas y limitaciones para toda su vida. Es un círculo vicioso que se levanta como una gran barrera para el desarrollo futuro de una persona y de todo un país. Dicho de otra forma, niños sin opciones se convierten en adultos sin opciones, que a su vez encuentran grandes dificultades para hacer progresar a sus propios hijos. No solo supone una vulneración de los derechos humanos y una cruel injusticia, sino también, una inmensa carga para los países que la sufren, que serán menos saludables y productivos en el futuro: con hambre, no hay futuro.

¿Por qué sigue habiendo hambre en el mundo?

Los conflictos armados son una de las principales causas que explican por qué el hambre está llevando al límite a millones de personas en el mundo. La violencia suele tensionar el suministro de alimentos y agua, al igual que a los sistemas sanitarios, provocando un efecto dominó que acaba dinamitando el estado nutricional de la población. La inseguridad alimentaria aumenta durante los conflictos porque las personas que muy a menudo practican la agricultura de subsistencia no pueden cultivar. Además, es habitual que la inflación se dispare, y el precio de los alimentos se vuelva inalcanzable para las familias. La guerra destroza los sistemas de agua y saneamiento, esenciales para evitar diarreas y enfermedades que impiden que la gente asimile los nutrientes de los pocos alimentos que pueden comer. Además, los conflictos dificultan la entrega de ayuda humanitaria tan necesaria para luchar contra las hambrunas. La falta de acceso a agua potable y saneamiento pueden provocar desnutrición o empeorarla. Quienes la padecen también son más vulnerables a las enfermedades transmitidas por el agua, como el cólera. Se estima que el acceso inadecuado a un mínimo de agua, higiene y saneamiento representa alrededor de 50% de la desnutrición en el mundo. Más de 1 420 millones de personas a nivel mundial, entre ellas 450 millones de niños, viven en áreas de alta o extrema vulnerabilidad al agua.

Desplazamientos e inestabilidad política

Los países amenazados por el hambre cuentan con alrededor de 9.2 millones de personas desplazadas; las zonas de conflicto o que sufren sequías son más propensas a que su población se vea forzada a huir de sus hogares, lo que los hace más vulnerables a los abusos y a las amenazas para la salud, como la desnutrición. Durante esos desplazamientos, no se tiene acceso a agua potable o acaban en campamentos improvisados en los que son recurrentes los brotes de enfermedades. La falta de acceso a los servicios sanitarios para recibir tratamientos adecuados genera un mayor riesgo para la

supervivencia de los niños. La inestabilidad política en muchos de los países afectados es también parte del problema del hambre. La debilidad de las instituciones impide tomar medidas para luchar contra la desnutrición de la población, como, por ejemplo, el almacenamiento de alimentos para hacer frente a las épocas de escasez. Tras décadas de una disminución constante, el número de personas que padecen hambre (medido por la prevalencia de desnutrición) comenzó a aumentar lentamente de nuevo en 2015.

Medir el hambre

Es importante saber cómo medir el hambre. Hay quienes la cuantifican basados en el número de personas que no consumen el mínimo de energía diaria requerida, que es la cantidad de calorías necesarias, y un peso mínimo aceptable para la altura. Habrá, no obstante, que referir también el Índice Global del Hambre (IGH), la herramienta que en la actualidad merece, igualmente, credibilidad en el retrato del estado del hambre a nivel mundial. EL IGH es una medida multidimensional que, en su versión original, considera tres dimensiones: (a) aporte energético inadecuado para una dieta sana; (b) desnutrición infantil, y (c) mortalidad infantil. El índice se centra en tres diferentes áreas: primera, la proporción de personas subnutridas en determinada población; segunda, la prevalencia de niños menores de cinco años con bajo peso, y tercera, la tasa de mortalidad en niños menores de cinco años. El resultado de las mediciones coloca a los países en un *ranking* de 0 a 100; correspondiendo un 10, a un problema serio; más de 20, a uno de categoría alarmante, y extremadamente alarmante, cuando se supera un 30 de clasificación.

Malnutrición

La malnutrición, en todas sus formas, abarca la desnutrición (emaciación, retraso del crecimiento e insuficiencia ponderal), los desequilibrios de vitaminas o minerales, el sobrepeso, la obesidad, y las enfermedades no

transmisibles relacionadas con la alimentación. La emaciación es una forma de malnutrición potencialmente mortal que provoca una delgadez y debilidad extremas en los niños, y aumenta sus posibilidades de morir o de sufrir deficiencias en su crecimiento, su desarrollo y su capacidad de aprendizaje. Basta tener en mente los siguientes datos:

- Son obesos o tienen sobrepeso 200 millones de adultos, mientras que 462 tienen insuficiencia ponderal. La insuficiencia ponderal se relaciona con el bajo peso para la edad, que refleja un estado resultante de una insuficiente alimentación, casos anteriores de desnutrición o salud delicada.
- Alrededor de 45% de las muertes de menores de 5 años tienen que ver con la desnutrición. En su mayoría se registran en los países de ingresos bajos y medianos. Al mismo tiempo, en esos países están aumentando las tasas de sobrepeso y obesidad en la niñez.

Desnutrición

El término desnutrición se refiere a las carencias, los excesos y los desequilibrios de la ingesta calórica y de nutrientes de una persona. Abarca tres grandes grupos de afecciones:

- La desnutrición incluye el peso insuficiente respecto de la talla, retraso del crecimiento (una talla insuficiente para la edad) y la insuficiencia ponderal (un peso insuficiente para la edad).
- La malnutrición relacionada con los micronutrientes, que incluye la falta de vitaminas o minerales importantes, o el exceso de micronutrientes.
- El sobrepeso, la obesidad y las enfermedades no transmisibles relacionadas con la alimentación.

El retraso del crecimiento impide el desarrollo pleno del potencial físico y cognitivo. Los niños que pesan menos de lo que corresponde a su edad sufren insuficiencia ponderal. Un niño con insuficiencia ponderal puede presentar a la vez retraso del crecimiento y/o emaciación.

Sobrepeso y obesidad

La obesidad es un grave problema de salud pública porque es un factor importante de riesgo para enfermedades no transmisibles que son las de mayor carga de morbilidad en el mundo. Las causas que están detrás de este aumento exponencial del sobrepeso y la obesidad son, por un lado, el creciente consumo de alimentos de alto contenido calórico, ricos en grasa y, por otro, el pronunciado descenso de la actividad física como consecuencia de la sedentarización del trabajo, los nuevos medios de transporte y la urbanización. Se considera que una persona tiene sobrepeso o es obesa cuando pesa más de lo que corresponde a su altura. Se define el índice de masa corporal (IMC) como el peso de una persona, en kilogramos, dividido por el cuadrado de la altura, en metros. En los adultos, el sobrepeso se define por un $IMC \geq 25$, y la obesidad por un $IMC \geq 30$. El sobrepeso y la obesidad pueden ser consecuencia de un desequilibrio entre las calorías consumidas (demasiadas) y las calorías gastadas (insuficientes). A escala mundial, las personas consumen con mayor frecuencia alimentos y bebidas más calóricos (con alto contenido en azúcares y grasas), y tienen una actividad física más reducida. Si bien, el sobrepeso y la obesidad se consideraban antes un problema propio de los países de ingresos altos, actualmente ambos trastornos aumentan en los países de ingresos bajos y medianos, en particular en los entornos urbanos.

Iniciativas para lograr el hambre cero

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) buscan terminar con todas las formas de hambre y desnutrición y velar por el acceso de todas las personas, en especial los niños, a una alimentación suficiente y nutritiva durante todo el año. Esta tarea implica promover prácticas agrícolas sostenibles a través del apoyo a los pequeños agricultores y el acceso igualitario a la tierra, la tecnología y los mercados. Además, se requiere el fomento de la cooperación internacional para asegurar la inversión en la infraestructura y la tecnología necesarias para mejorar la productividad agrícola.

Aunque no existe una solución milagrosa para resolver el hambre se ha delineado una estrategia dividida en varios pasos:

1. Asegurar el acceso de todas las personas, a una alimentación sana, nutritiva y suficiente durante todo el año.
2. Poner fin a todas las formas de malnutrición; abordar las necesidades de nutrición de los adolescentes, las mujeres embarazadas y lactantes y de los adultos mayores.
3. Duplicar la productividad agrícola y los ingresos de los productores de alimentos en pequeña escala respetando el medioambiente y la biodiversidad de cada región.
4. Asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción; contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas; fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, a los fenómenos meteorológicos extremos, a las sequías, a las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra.
5. Mantener la diversidad genética de las semillas, las plantas cultivadas y los animales de granja y domesticados, del mismo modo que sus especies silvestres conexas, mediante una buena gestión y diversificación de los bancos de semillas y plantas a nivel nacional, regional e internacional. Garantizar el acceso a los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos y los conocimientos tradicionales, así como su distribución justa y equitativa.
6. Aumentar las inversiones en la infraestructura rural, la investigación agrícola y en los servicios de extensión, en el desarrollo tecnológico y los bancos de genes de plantas y ganado, a fin de mejorar la capacidad de producción agrícola en los países en desarrollo.
7. Adoptar medidas para asegurar el buen funcionamiento de los mercados de productos básicos alimentarios y sus derivados a fin de ayudar a limitar la extrema volatilidad de los precios de los alimentos.

Teorías sobre el origen de la agricultura

El siglo XXI se inaugura con una profusión de trabajos centrados en diferentes líneas de investigación. Además de los análisis puramente arqueobotánicos de numerosos yacimientos, muchos estudios se han centrado en delimitar la zona o zonas en las que se produce la domesticación de los cereales y su cronología, así como en explorar y caracterizar el desarrollo y las causas de este proceso. También, se han incrementado los trabajos centrados en la explotación de las plantas por parte de los grupos cazadores-recolectores demostrando que, con anterioridad a la domesticación de las plantas y la aparición de la agricultura, existió un largo periodo durante el cual se produjo una importante intensificación en la explotación y control de las plantas. ¿La agricultura sigue siendo tan importante hoy en día? El 42% de la humanidad se dedica de forma activa a las actividades agrícolas. Históricamente, muy pocos países que no hayan estado precedidos o acompañados del crecimiento agrícola han experimentado un rápido crecimiento económico y una reducción de la pobreza. Diversas hipótesis argumentan que la agricultura fue descubierta por mujeres, ya que pasaban más tiempo recolectando los alimentos cosechados de la naturaleza. Esto provocó que observaran semillas eventualmente caídas germinando en los campos. Se cree que con ello empezaron las primeras prácticas de agricultura en la civilización plantando las semillas cerca para no tener la necesidad de caminar por el campo buscando alimentos. Muchas de las primeras plantas que se cultivaron crecían mucho mejor con desechos orgánicos que en condiciones naturales; aun así, los primeros agricultores debieron haber cumplido con alguna norma de higiene, de lo contrario los cultivos no tendrían éxito. La “teoría del oasis” —propuesta por Raphael Pumpelly en 1908 y popularizada por Vere Gordon Childe (1936)— explica que el trascendental cambio de la caza-recolección a la agricultura estuvo motivada por un cambio climático de alcance mundial sucedido hacia el año 10000 antes de nuestra era. Para sobrevivir, los cazadores-recolectores se refugiaron en lugares del Próximo Oriente que se mantenían húmedos. Una vez allí, se vieron rodeados de una gran variedad de animales que, por las mismas razones, buscaban a sus presas, alimentos y agua. La diversidad

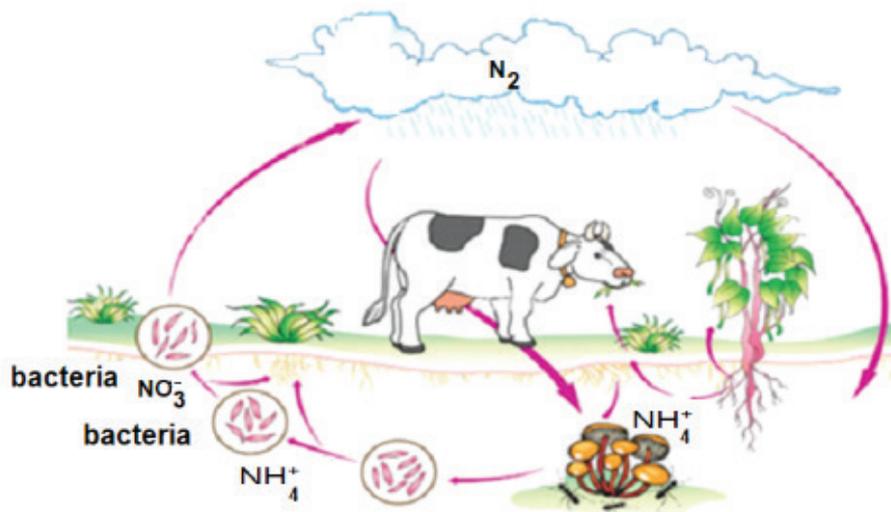
de plantas, dentro de estos reservorios naturales, seguramente representó para el hombre una oportunidad de hacer una selección de las que, a su juicio, eran más útiles. Robert Braidwood (1937), arqueólogo estadounidense, refutó la teoría de Childe al concluir que los cambios climáticos no fueron tan drásticos. Braidwood buscó pruebas de ese cambio climático mencionado por Childe en amplias zonas y no las encontró. Sus estudios lo condujeron a zonas montañosas en Irak donde encontró plantas y animales que pudieron ser domesticados, lo cual dio como resultado la agricultura. De acuerdo con su teoría, el clima siempre fue muy similar durante miles de años, por lo que la lluvia también era la misma, suficiente para poder iniciar la agricultura incipiente sin riego. La “teoría demográfica” del arqueólogo estadounidense Lewis R. Binford (1983) formula un modelo que explica el surgimiento de la agricultura considerando la presión demográfica como el principal factor. Este investigador planteó que mientras el medioambiente sea capaz de suministrar alimentos a una población, habrá estabilidad. La población tiende a crecer hasta donde las fuentes de alimento lo permitan de acuerdo con la capacidad ecológica de la región; por lo que comenzará a operar una cierta presión en el sistema cuando la población crezca más rápido que la producción de alimentos. Esta presión demográfica provoca finalmente una crisis ecológica que a su vez inclina a sus habitantes a buscar nuevas formas más eficientes de procuración de alimentos; finalmente, los cambios cada vez más necesarios dan lugar a la agricultura. Según la “teoría cibernética” del arqueólogo Kent Flannery (1968), la agricultura se originó como producto de la interacción de los sistemas físicos, biológicos y culturales. Los pequeños grupos humanos incorporaron a su sistema de procuración de alimentos una pequeña siembra, o aisladas acciones de trasplante, con el fin de incrementar el área en la que una planta particular crecía. Este hecho pudo afectar de manera importante el equilibrio global, debido a que la especie bajo cultivo presentó un extraordinario potencial genético y respondió vigorosamente al manejo y cuidados del hombre, y el equilibrio se rompió irreversiblemente dando lugar a nuevas relaciones en el funcionamiento del sistema.

La importancia del nitrógeno

La disponibilidad del nitrógeno y el fósforo pueden limitar el crecimiento de los productores de alimentos primarios, tanto en los ecosistemas terrestres como acuáticos. Esta limitación, generalmente, se resuelve en la agricultura aplicando fertilizantes para mejorar los rendimientos; sin embargo, su aplicación excesiva impacta los ambientes naturales, y trae consigo consecuencias ecológicas y evolucionarias que afectan desde especies particulares hasta todo un ecosistema.

Asociado con el agua, el nitrógeno es el principal factor de producción de los sistemas de cultivo; el suelo dispone naturalmente de él en forma orgánica y mineral, por lo que puede ser absorbido por las plantas (véase Figura 2). El nitrógeno que forma parte de la atmósfera en forma de N_2 no puede ser utilizado por los animales ni las plantas, por esta razón, es necesario un mecanismo para convertirlo a formas utilizables. Así, el ciclo del nitrógeno está compuesto por procesos bióticos y abióticos. El ion amonio (NH_4^+) y el ion nitrato (NO_3^-) forman algunas de las presentaciones de

FIGURA 2. El ciclo del nitrógeno



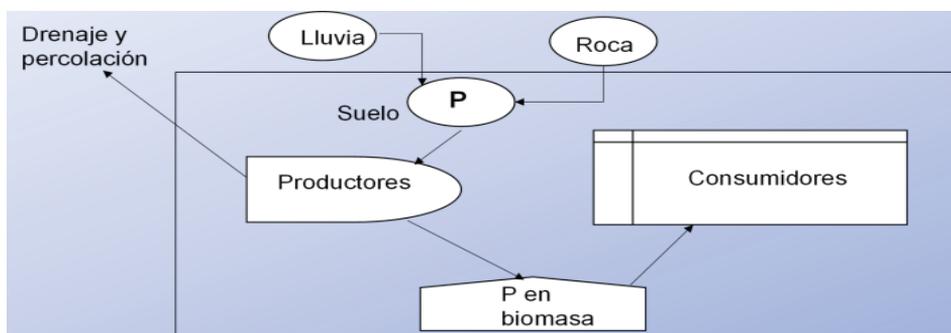
este elemento utilizables por los animales y las plantas. El N_2 forma parte de las proteínas, enzimas y clorofila, por tanto, es esencial en los procesos de síntesis de proteínas y en la fotosíntesis; entre sus funciones también destaca el aceleramiento de la división celular, y la elongación de las raíces.

Una planta con carencia de nitrógeno no podrá completar procesos metabólicos indispensables para su desarrollo. Además, es importante en la producción de azúcares, almidón y lípidos, para la nutrición y otros procesos básicos de las plantas. En la actualidad, solamente un 45% del nitrógeno aplicado a los cultivos es retenido en los productos cosechados, mientras que el resto es emitido al medioambiente. El N_2 emitido al medioambiente puede sufrir innumerables transformaciones como desplazarse a través de distintos compartimentos generando en cada uno diversos problemas, lo que se conoce como la cascada de nitrógeno. En una gran parte de los suelos la acción de bacterias nitrificantes hace que los cultivos absorban en su mayoría nitrato. Los seres humanos han duplicado las cantidades de nitrógeno que entran al ciclo terrestre del nitrógeno, y esa tasa continúa incrementándose. En muchos ecosistemas, marinos y terrestres, el nitrógeno es un factor clave para el control de la naturaleza y de la diversidad vegetal; de la dinámica poblacional tanto de animales herbívoros como depredadores, y de la dinámica del ciclo de carbono y de los minerales del suelo. El nitrógeno es tan estable que apenas puede combinarse con otros elementos y, por tanto, es difícil que los organismos lo asimilen. Existe una forma de fijación del nitrógeno que es llevada a cabo por bacterias que usan enzimas. Estas bacterias viven libres en el suelo o en simbiosis, formando nódulos con las raíces de ciertas plantas (leguminosas) para fijar el nitrógeno. Otro grupo son las algas verde azules y las bacterias quimiosintéticas que transforman el amonio en nitrito, mientras que se continúa el proceso con la oxidación del nitrito a nitrato, el cual queda disponible para ser absorbido o disuelto en el agua, pasando así a otros ecosistemas. Por último, cabe mencionar que todos los seres vivos almacenan grandes cantidades de nitrógeno orgánico en forma de proteínas, y que vuelve al suelo y al sedimento marino con los excrementos o al descomponerse los cadáveres.

El fósforo: su impacto en la agricultura

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento vegetal, cuya riqueza en P_2O_5 es del orden del 0.5 a 1% de la materia seca. Juega un papel muy importante en la fotosíntesis, en el transporte de nutrientes, en la síntesis y descomposición de glúcidos, síntesis de proteínas, y como transmisor de energía. Se encuentra, en parte, en estado mineral, pero también formando compuestos orgánicos con lípidos, prótidos y glúcidos, como por ejemplo la lecitina o la fitina. Se trata de un nutriente primario, lo cual supone que sea deficiente, comúnmente, en la producción agrícola y en los cultivos, por lo que lo requieren en cantidades relativamente grandes. La principal función y capacidad del fósforo es que sus iones son capaces de recibir energía luminosa captada por la clorofila y transportarla a través de la planta, y además tiene una gran importancia en el metabolismo de diversas sustancias bioquímicas. Al igual que el nitrógeno, el fósforo es un factor de crecimiento muy importante, y el desarrollo radicular se ve favorecido por una correcta aportación de este nutriente al principio del ciclo vegetativo. Las plantas de raíz que crecen en aguas someras, así como las plantas perennes, muy a menudo tienen deficiencias causadas por un exceso de fósforo, por lo que los tejidos más jóvenes de las plantas se blanquean. Por otra parte, el uso excesivo de fertilizantes ha cambiado sustancialmente el contenido natural del sistema terrestre que a su vez moviliza un nuevo incremento de fósforo en la biósfera e impacta los ecosistemas relacionados

FIGURA 3. El ciclo del fósforo



con la calidad del agua. El diagrama de la Figura 3 muestra la lluvia y las rocas como fuentes externas de fósforo. El fósforo está presente como fosfatos inorgánicos que las plantas usan para producir compuestos orgánicos necesarios para la vida. El fósforo inorgánico liberado se vuelve parte de los depósitos de nutrientes en el suelo. Así, el fósforo se mueve en un ciclo como muestra la Figura 3. Una parte fluye hacia afuera del sistema con las aguas que van hacia la superficie del suelo o percola hasta la capa freática. El fósforo no tiene fase gaseosa en su ciclo.

La revolución agrícola

Se conoce como revolución agrícola a los tiempos de cambio en las técnicas que provocaron grandes aumentos de la producción; la última es conocida como la “revolución verde”. El movimiento se inició en 1963, fue en un Congreso Mundial de la Alimentación que se decidió impulsar un plan de desarrollo agrario a nivel mundial, debido a la necesidad creciente de alimentos causada por el aumento de la población. Para ello, se procedió al desarrollo de semillas de “variedades de alto rendimiento”, sobre todo de trigo, maíz y arroz, esto gracias al trabajo del Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y el Trigo de México. La revolución verde implicó el desarrollo de variedades de alto rendimiento, en especial de los cereales, que se cultivaron principalmente como monocultivo anual, aunado a la expansión de la infraestructura de riego, la modernización de las técnicas de gestión, distribución de semillas híbridas, fertilizantes sintéticos y pesticidas y la utilización de maquinaria pesada, tractores, sembradoras o segadoras. Con los avances logrados en este periodo, cambió la agricultura tradicional y las formas de explotación que existían hasta esa época. Inicialmente estas técnicas solo se utilizaron para el maíz, posteriormente estas se extendieron a otros cultivos y países, algunos de ellos en Latinoamérica y Asia, los cuales pasaron de sufrir hambrunas a convertirse en países exportadores al cubrir holgadamente su demanda interna. Pero, como todo cambio, lo que en un inicio fue considerado como un gran avance, también trajo problemas como la pérdida de gran parte de la biodiversidad agrícola, pues al producirse plantas mejoradas, se provocó el abando-

no de muchas variedades tradicionales y locales. La agricultura moderna implica la simplificación de la estructura ambiental de grandes áreas, reemplazando la biodiversidad natural por un pequeño número de plantas cultivadas y animales domésticos. Las consecuencias de la reducción de la biodiversidad son particularmente evidentes en el control de plagas agrícolas. La inestabilidad de los agroecosistemas se manifiesta a través del empeoramiento de las plagas, y está ligada con la expansión de los monocultivos a expensas de la vegetación. Entonces ¿cómo cambiará la producción alimentaria en los próximos años? Según las previsiones sobre la agricultura del futuro, los principales cambios se inclinarán por intensificar:

- cultivos mejorados para satisfacer a las nuevas tendencias en materia de dieta;
- soluciones para hacer frente al cambio climático, y
- nuevas tecnologías que podrían estar al alcance de todos.

Las nuevas tendencias en materia de dieta tienen un peso cada vez más importante en la manera en la que se desarrolla la agricultura. Se registra un aumento del consumo vegetal, mientras se reduce el animal. Los consumidores son cada vez más exigentes cuando se trata de alimentación, y los temas como salud, propiedades nutritivas, procedencia, sostenibilidad y bienestar de los animales están siendo fundamentales. La nueva demanda ejerce una influencia decisiva en las variedades cultivadas, los métodos de cultivo, así como en la cría. Por tanto, no existe duda sobre que algunos sectores del mercado, como el ecológico y los productos de proximidad, registrarán un incremento significativo en la década siguiente. Las cosechas aumentarán más lentamente que en el pasado, aunque los progresos en la selección y gestión de las semillas ayudarán de todos modos a los agricultores a obtener un aumento total de la producción.

La agricultura y sus aportes

La agricultura y la ciencia han estado, sin duda, estrechamente ligadas al desarrollo de la humanidad, y este vínculo es imposible de romper si lo

que se quiere es un futuro de mayor desarrollo y equidad. No solo están en la base del desarrollo de los grandes imperios de la Antigüedad en el sentido político, también estuvieron estrechamente ligadas al desarrollo de la religiosidad. Conocido es que todos los mitos religiosos están íntimamente relacionados con los ciclos de los cultivos, dando lugar a deidades famosas como Osiris y Ceres. En las culturas precolombinas, encontramos que la mayoría de los dioses están relacionados con la naturaleza y la agricultura, y especialmente con el maíz. Es el caso del dios maya K'awiil —la deidad responsable de la abundancia presente en la naturaleza, a través de la cual la sociedad maya se proveía de alimentos— y de Xochipilli —considerado por los aztecas como el príncipe del maíz joven y de los festejos, y cuyo nombre significa “príncipe de las flores”; de ahí que se relacione con la primavera, época de festejos porque los campos florecen—. Paradójicamente, fue la agricultura la que hizo al hombre mirar al cielo y descubrir el orden que se esconde tras el caos aparente de la distribución estelar del cielo nocturno. En efecto, la astronomía debe su origen, sin duda, a la necesidad del hombre antiguo de determinar los ciclos que regían las condiciones óptimas para las distintas etapas del cultivo. Por supuesto, esto también estuvo marcado por la religiosidad que acompañaba a todas las actividades humanas de la Antigüedad. De este modo, agricultura, religión y astronomía formaron un corpus que ha estado en el centro del desarrollo de las sociedades humanas. Pero si la agricultura ha estado en la base del desarrollo de la civilización, ella también condujo a un nuevo tipo de individuo que nació ya en los albores de nuestra época: el científico, o en palabras más ambiciosas, el sabio. Fueron estos hombres sabios los que se dieron cuenta de que podían mejorar los medios de producción mediante la introducción de nuevas tecnologías. La utilización del arado pesado permitió el cultivo más profundo de los suelos; mientras la rotación de los cultivos, el mejor aprovechamiento de suelos fértiles. Se introdujo también la mejora de sistemas de regadíos, y el uso de terrazas para aprovechar el cultivo de laderas.

Durante la Edad Moderna, también fue la agricultura el centro de la actividad comercial entre el Nuevo y el Viejo Mundo, la que se vio marcada por la expansión e intercambio de los cultivos. Fue en esta época que la ciencia comenzó nuevamente a marcar una nueva revolución en la agri-

cultura con la introducción de la mecanización, el uso de abonos químicos y estudios científicos como la edafología. En esta época se marca la diferencia entre *países desarrollados* y *en vías de desarrollo*. Los primeros, invirtieron grandes esfuerzos en tener un desarrollo científico y tecnológico aplicado a una agricultura de grandes rendimientos, asociados a mercados dinámicos y libres; mientras que los segundos, dejaron de lado el desarrollo científico y mantuvieron mercados rígidos asociados a políticas de fuerte control central, gobernados por las monarquías que, finalmente, vieron caer sus imperios. El uso del suelo se ha hecho también cada vez más eficiente gracias a la manipulación genética, la mejor gestión de suelos y nutrientes. La mejora de las especies cultivadas no es cosa de hoy, sino que está ligada a la historia misma de la agricultura. Desde que el primer agricultor seleccionó los mejores granos para asegurar que la próxima siembra iba a ser de mejor calidad, hasta el científico que hoy en un laboratorio introduce cambios a nivel genético que permiten que los cultivos sean más resistentes a enfermedades o puedan ser cultivados más intensivamente y en diferentes condiciones de suelo o de clima. Hace mucho tiempo que el manejo genético se introdujo en la agricultura, solo ha cambiado la manera de hacerlo.

La agricultura en Latinoamérica

La agricultura se desarrolló en Mesoamérica con lentitud. Fue hace unos 5 000 años cuando la agricultura se convirtió en la actividad principal de los habitantes de Mesoamérica, y las aldeas se multiplicaron en la región. En contraste al patrón general que sucedía en el continente euroasiático, los grandes animales se habían extinguido, por lo que los nativos empezaron a depender cada vez más de las plantas como el mezquite, nopal, cactus, maguey y el teocinte. El teocinte es el ancestro silvestre del maíz que apareció hace unos 8 000 años. Toda evidencia arqueológica y biológica señala que el teocinte procede de México, con más de 60 razas reconocidas hasta ahora y muchas más variedades locales. Supplementaban la ingesta de las plantas mencionadas con la carne de pequeños mamíferos, insectos, lagartos, lo que proveía una buena dieta. Conforme se volvieron más se-

dentarios se consolidó la agricultura, volviéndose dependientes de unas cuantas especies domesticadas que incluían el maíz, frijoles, tomate, chiles, amaranto y gran variedad de frutas, particularmente el aguacate. La papa fue el primer cultivo de raíz que se convirtió en alimento básico de una civilización: los incas. Aunque los incas también producían maíz, algodón y lana de llama, y contaban con sofisticados sistemas de riego, elaboración de alimentos y tecnologías de almacenamiento; dependían de la capacidad de la papa para darse en todas las zonas cultivables de la dura región de los altiplanos andinos en América del Sur. Aunque las raíces son nutritivas, aportan menos proteínas y más almidón que los cereales. Al ser más voluminosas, también resultan más caras de transportar. Así pues, estos cultivos tienden a ser alimentos locales que consume la población pobre. Esas características iban a cambiar la dieta alimentaria y la historia europeas profundamente. Los españoles llevaron la planta de la papa a Europa en el siglo XVI y su uso está documentado en la Europa meridional en los dos siglos siguientes. No obstante, fue tan solo en el siglo XVIII cuando, gracias a la demografía y a la ciencia, se logró llevar este tubérculo a las mesas de la Europa septentrional. Más o menos en el mismo momento en que la presión demográfica estaba causando un aumento de la demanda de alimentos, los criadores de ganado desarrollaron, por fin, variedades de papa de madurez temprana que se daban bien en las condiciones de crecimiento de las zonas septentrionales. En opinión del escritor alemán Günter Grass (citado en Hamilton, 2015), gracias a que puede cultivarse de forma rápida y barata, la papa liberó a las masas del hambre, permitió que la clase obrera creciera más robusta y que más personas que trabajaban en las granjas pudieran incorporarse a las fábricas del siglo XIX. Las fábricas supusieron el desarrollo de una fuerte clase trabajadora que, a su juicio, democratizó Europa.

La vinculación alimentos, energía y agua

El *nexo* entre el agua y la alimentación es muy antiguo, y probablemente su origen está vinculado al saber natural del hombre cuando se transformó de cazador y recolector a agricultor. El concepto del *nexo* representa una

nueva forma de pensar que no se limita a los sectores del agua, la energía y los alimentos. En los últimos años se han descrito también otros enfoques, como el nexo agua-suelo-desechos, o el nexo agua-alimentos-energía-ecosistemas. El estudio del nexo entre agua, energía y seguridad alimentaria es de especial importancia para el cumplimiento de los ODS, que para muchos países significan un incremento sustantivo de las demandas de alimentación, agua y energía que deben ser atendidas para el consumo interno y mercados globales. Las fuentes tradicionales de energía que se emplean requieren de agua en sus procesos de producción, y se requiere de la energía para disponer de agua para uso y consumo humano (incluyendo el riego); esto es, la cantidad de agua necesaria, directa o indirectamente, para la exploración, la extracción, la generación y la transmisión de la energía; y la cantidad de energía necesaria para la extracción, el transporte, la distribución, el tratamiento y el uso final del agua. Se observan, cada vez más, mayores interdependencias entre los tres sectores. Por ejemplo:

- Modernización de riego puede: ahorrar agua, pero incrementar consumo de energía y amenazar la sustentabilidad de los acuíferos.
- La producción de biocombustibles puede: disminuir la dependencia del petróleo, pero afectar y encarecer la producción de alimentos.
- Subsidios a los precios de la energía pueden: incrementar la producción agrícola, pero llevar a la sobreexplotación de los acuíferos.

El nexo del agua

Las evaluaciones del nexo han reconocido que el agua es un conector clave no solo entre los sectores, sino también entre los países. Por consiguiente, el agua se considera ya el punto de partida lógico en las evaluaciones del nexo de carácter transfronterizo. Hoy en día el principal consumo de agua (por ejemplo, agua líquida que retorna de la atmósfera como vapor) es para la irrigación de los terrenos. La irrigación es la contribución más negativa de los humanos al ciclo del agua del planeta. Se estima que globalmente, la irrigación emplea un volumen equivalente a 2% de la precipitación. Un acceso fiable al agua incrementa la producción agrícola, ofrece

un suministro estable de numerosos productos agrícolas decisivos e ingresos más altos en las zonas rurales, donde viven tres cuartas partes de las personas que sufren hambre en el mundo. En promedio, en la agricultura se ocupa el 70% del agua que se extrae en el mundo. La sequía es la más frecuente causa natural específica de aguda escasez de alimentos en los países en desarrollo (véase Figura 4).

Las inundaciones son otra causa importante de emergencias alimentarias. Se prevé que para 2060 los cambios en la precipitación pluvial, la evaporación del agua desde el suelo y la transpiración (el vapor que despiden las plantas); reducirán el escurrimiento en algunas partes del mundo, como el Cercano Oriente, América Central, y el sur de África. En cambio, el escurrimiento aumentará, por ejemplo, en el norte de Europa, China, África oriental y la India. Según la Comisión Nacional del Agua, en México, 76% del agua se utiliza en la agricultura; 14%, en el abastecimiento público; 5%, en las termoeléctricas, y 5%, en la industria. Para apoyar un constante crecimiento económico, será necesario realizar cambios importantes en las asignaciones de agua en los diversos sectores (véase Figura 5).

En la mayoría de los casos, se prevé que esta reasignación provenga de la agricultura debido a su elevada participación en el consumo del líquido, dado que la producción agrícola tendrá que aumentar y, por tanto, se producirá un incremento en el consumo de calorías y de alimentos más complejos. A primera vista, es necesario utilizar menos agua para fines agrícolas; pero, por otro lado, el uso más intensivo del agua en la agricultura es un elemento fundamental en el aumento sostenible de la producción de alimentos.

FIGURA 4. La agricultura consume y absorbe más de 70% de las extracciones mundiales de agua

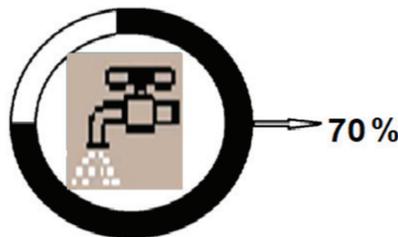
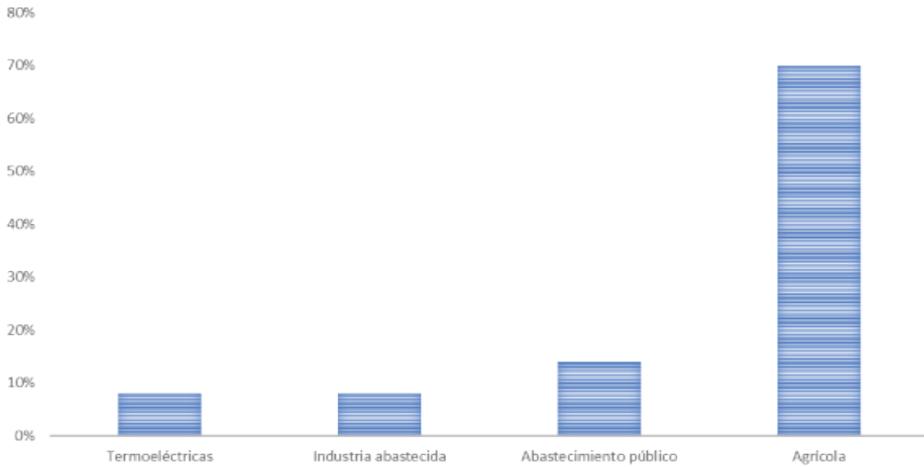


Figura 5. Uso del agua en México



¿Hay agua suficiente?

Una preocupación creciente es que gran parte del mundo se dirige hacia la escasez de agua. Una vez más, no parece que haya razón para alarmarse a nivel mundial, pero a nivel de algunos países y regiones es muy probable que surja una grave escasez de agua. El agua utilizada para regadío incluye, además de la realmente transpirada por el cultivo que crece, toda el agua aplicada al mismo, que puede ser considerable en el caso de cultivos inundables, como el arroz. Por otra parte, se producen pérdidas por fugas y evaporación en el camino del agua hacia los campos y por el agua drenada de los campos sin ser utilizada por el cultivo. La relación entre la cantidad de agua realmente utilizada para el crecimiento del cultivo y la cantidad extraída de los recursos hídricos, se denomina “rendimiento del uso del agua”. Entre regiones, existen grandes diferencias en el rendimiento del uso del agua; por ejemplo, en América Latina es solo de 25% en comparación con 40% en el Cercano Oriente y África del Norte, y 44% en Asia meridional. Sin embargo, el desequilibrio entre el suministro y la demanda de agua dulce, y los problemas de calidad del líquido repercuten en los sistemas alimentarios desde la producción agrícola, pasando por la elaboración de

alimentos, hasta los hogares y los consumidores (véase Figura 6). La reducción de la carga contaminante de las aguas residuales de fincas, industrias y áreas urbanas permitiría que una buena parte se utilizara para regar. Los beneficios potenciales del riego con aguas residuales son enormes; por ejemplo, una ciudad con una población de 500 000 habitantes y un consumo diario per cápita de 120 litros, produce al día, aproximadamente, 48 000 m³ de aguas residuales, suponiendo que 80% del agua utilizada llegue a los servicios públicos de alcantarillado. Si estas aguas residuales fueren tratadas y utilizadas para un riego cuidadosamente controlado a razón de 5 000 m³/ha anuales, podrían regarse unas 3 500 hectáreas.

El tratamiento de aguas residuales tiene un papel vital que desempeñar: es crucial para la salud, la seguridad alimentaria y la economía de un país. Por ello, las inversiones en el tratamiento de aguas residuales son un anticipo para un futuro más limpio y deben ir acompañadas de estructuras de incentivos que supervisen el rendimiento, penalicen el despilfarro y recompensen el éxito. El valor de estos efluentes como fertilizante es tan importante como el valor del agua. De esta forma, todo el nitrógeno y la mayor parte del fósforo y potasio, que son necesarios para la producción

FIGURA 6. Agua para el cultivo



agrícola, serían suministrados por el efluente. Un beneficio adicional es que la mayor parte de estos nutrientes una vez absorbidos por los cultivos no entran en el ciclo del agua, y, consecuentemente, no contribuyen a la eutrofización de los ríos ni a la creación de “zonas muertas” en las áreas costeras.

El crecimiento demográfico y el desarrollo socioeconómico son el motor de la escasez de agua

El crecimiento demográfico es un factor determinante de la escasez de recursos hídricos, puesto que el incremento de la población incide en el aumento de la demanda de agua. Como consecuencia, la cantidad anual disponible por persona ha descendido más de 20% en los dos últimos decenios. El problema es especialmente grave en África septentrional y Asia occidental, donde la cantidad ha descendido más de 30%, y el volumen medio anual de agua por persona escasamente llega a los 1 000 m³, lo que se considera convencionalmente el umbral de la escasez hídrica grave. Otro importante factor son los mayores niveles de ingresos y urbanización que dan lugar a un incremento de la demanda de agua por parte de los sectores de la industria, la energía y los servicios, así como a cambios en los hábitos alimentarios. A medida que los niveles de ingresos, urbanización y nutrición se elevan, es de prever que las personas cambien sus hábitos alimentarios en favor de dietas que requieren un uso más intensivo de la tierra y el agua, especialmente por el consumo de una mayor cantidad de carne y productos lácteos, si bien estos productos pueden tener una huella hídrica muy diferente en función de cómo se produzcan.

La huella hídrica o del agua

Según los estudios elaborados por Arjen Hoekstra y Mesfin Mekonnen (2012), la huella hídrica (HH), da cuenta de la proporción del uso del agua con relación al consumo de las personas. El concepto considera el consu-

mo total de agua, las características del clima y la eficiencia al utilizar este recurso. La HH de un país es el volumen total de agua utilizado globalmente para producir los bienes y servicios consumidos por sus habitantes (véase Figura 7). Existen tres tipos: la verde (agua de lluvia), la azul (de ríos, lagos y acuíferos) y la gris (agua contaminada). Los expertos aseguraron que, aunque es importante reducir el consumo de agua en la agricultura, también es fundamental identificar y entender cómo su origen puede impactar aspectos mercadológicos de los productos. La agricultura que no utiliza sistemas de riego (huella verde) da un valor agregado a la comercialización, ya que muchos consumidores buscan productos sustentables. A nivel individual, la HH es igual a la cantidad total de agua virtual de todos los productos consumidos. A modo de ejemplo, una dieta a base de carne supone una HH mucho mayor que una dieta vegetariana (en promedio de 4 000 litros de agua al día frente a 1 500, respectivamente). La HH total de un país tiene un componente interno y otro externo. El interno se refiere al volumen de agua necesario para cultivar y proporcionar los bienes y servicios que se producen y consumen dentro de ese país. El externo es el resultante del consumo de bienes importados, es el agua que se utiliza para la producción de bienes en el país exportador.

FIGURA 7. Agua gastada en la producción

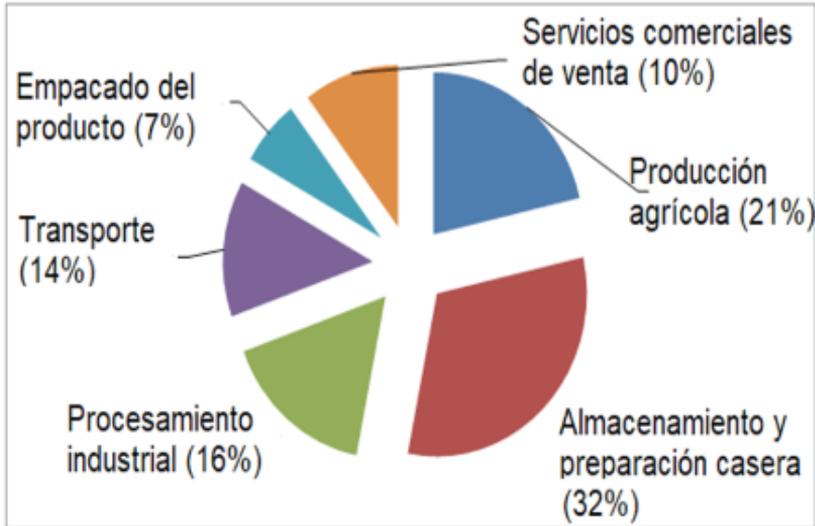


El sistema energético

Las principales posibilidades de responder a las cuestiones que vinculan la energía con el agua y los alimentos que se plantean son la integración de energías renovables en la cadena alimentaria para contribuir a su seguridad, a fin de obtener un suministro sostenible de energía para el riego. Se denomina energía renovable a la que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen o por ser capaces de regenerarse por medios naturales. En consideración a su grado de desarrollo tecnológico y a su nivel de penetración en la matriz energética de los países, las renovables se clasifican en energías renovables convencionales y energías renovables no convencionales. Dentro de las primeras, se considera a las grandes centrales hidroeléctricas; mientras que en las segundas, se ubican a las generadoras eólicas, solares fotovoltaicas, solares térmicas, geotérmicas, mareomotrices, de biomasa y las pequeñas hidroeléctricas. La energía del agua ha acompañado a la humanidad en sus grandes progresos a lo largo de la historia. La rueda hidráulica, una invención de hace 5 000 años, utilizada posteriormente con maestría por los romanos, permitió durante siglos aprovechar la energía motriz del líquido para un sinnúmero de aplicaciones; desde establecer sistemas de riego para la agricultura, hasta moler trigo, triturar minerales o hacer papel; la fuerza del agua ha impulsado siempre al ser humano a avanzar.

Las energías renovables pueden contribuir, asimismo, a mejorar la accesibilidad, asequibilidad económica e inocuidad del agua; por su parte, la industria procesa las materias primas para obtener alimentos de consumo humano o animal; mientras que las materias primas utilizadas son de origen agropecuario, principalmente, y consumen energía en sus modalidades de electricidad o calor (térmica), para activar el proceso productivo. La revolución industrial dio pie a un acceso sin precedentes de la energía mediante el empleo de combustibles fósiles (inicialmente carbón) que requerían poca agua y terreno (Figura 8). Después de 1950, hubo un periodo de “gran aceleración” en el cual se incrementó notablemente el empleo de sistemas energéticos basados en combustibles fósiles. Esta transición

FIGURA 8. Porcentaje de energía gastada en la producción de alimentos



coincidió con grandes cambios socioeconómicos entre los que se incluye la producción agrícola. Técnicas más desarrolladas como la energía mareomotriz, o proyectos aún en la teoría como la utilización de la energía de los rayos que produce el agua durante las tormentas, dejan claro que aún hay mucha energía acuática que podemos aprovechar. Sobre esta última, es necesario subrayar que un rayo podría generar la energía suficiente para abastecer una vivienda durante varios meses.

Dos campos tecnológicos que no dejan de avanzar y a los que se les augura un futuro prometedor son la ósmosis y la electrólisis. La energía azul o energía osmótica se produce cuando se pone en contacto el agua de mar, que tiene mayor concentración de sales, con el agua dulce, que contiene una concentración de sales menor. Es por eso por lo que la energía azul podría ser una fuente de energía inagotable, además de no impactar de forma negativa en el medioambiente.

Pero, ¿cómo se produce esta energía? Para poder entenderlo es necesario conocer el concepto de ósmosis. La ósmosis es un proceso físico en el que dos líquidos con diferente concentración de sal se separan por una membrana semipermeable, y a través de esta fluye el líquido con menor concentración de sal hacia el de mayor concentración; por lo tanto, para

obtener la energía azul se debe separar el agua de mar y el agua dulce por la membrana semipermeable, que solo deja pasar el agua y no las sales. El agua fluye de forma natural desde la menos concentrada a la más concentrada disminuyendo la concentración salina y ejerciendo una presión llamada presión osmótica. Esta presión es la que hace que empiece a moverse una turbina para, así, producir la energía. Por su parte, la electrólisis es la división de moléculas de H_2O en oxígeno e hidrógeno para almacenar este último como combustible. En la actualidad, la mayor parte de la separación se lleva a cabo utilizando un equipo electrolizador iónico muy costoso que requiere catalizadores de metales preciosos como el platino y el iridio, así como placas de metal resistente a la corrosión hechas de titanio, pues el proceso se realiza en condiciones muy ácidas. Este procedimiento consigue una alta tasa de producción de hidrógeno. La gran eficiencia de la transformación de la energía química de este gas en energía eléctrica y su alta capacidad como combustible para vehículos de todo tipo, incluidos los espaciales, sin duda lo convierten en una fuente de energía vital para las sociedades del futuro.

La energía azul, como la eólica y la solar, es renovable y no se agotará nunca. También es una energía constante, es decir, aprovechable las 24 horas, y podemos obtenerla siempre independientemente de las condiciones climáticas. Por ejemplo, para obtener energía solar o eólica, dependemos de si hace viento o si el día es soleado, para la energía azul no debemos tener en cuenta el clima. Con este tipo de energía se podría abastecer a todo el planeta, ya que se da en todo el mundo, lo único que se necesita es que el agua de río se ponga en contacto con el agua de mar.

Las emisiones de CO_2 son un auténtico problema para el cambio climático, y la obtención de este tipo de energía no genera emisiones de CO_2 , por lo que su impacto ecológico es muy bajo gracias a como están diseñadas estas plantas.

La huella ecológica

Durante las últimas décadas, numerosas metodologías y herramientas han sido creadas y utilizadas para relacionar el uso del agua con la producción

de alimentos. Estas herramientas son muy eficaces para analizar e informar acerca del gran uso de agua para obtener los alimentos; bastante más que para producir la ropa, así como la del uso diario que se hace en el hogar. El término de agua virtual establece igualmente una relación con el comercio de los productos agrarios a nivel internacional y el agua necesaria para su producción, es decir, cuánta agua se importa o exporta virtualmente, producida en el país de origen, al comercializar con un producto alimenticio. La noción de Huella Ecológica (HE) se instaló a comienzos de la década de 1960 a partir de estudios pioneros de William Rees y Malthis Wackernagel (2001) que surgieron al observarse una aceleración del crecimiento económico, del consumo per cápita y del uso de recursos naturales en las economías más desarrolladas. El precio que se estaba pagando a cuenta de ese enriquecimiento material era la degradación y destrucción de suelos, agua, aire, bosques y el hábitat que sirve de refugio a la diversidad biológica. Según datos recientes, para satisfacer las necesidades actuales, la humanidad está consumiendo una cantidad de recursos naturales equivalente a 1.7 planetas (Soto, 2018). De seguir así, en 2050 serán necesarios 2.5 planetas para abastecer la demanda de recursos naturales de los seres humanos. Por ello, hay una necesidad urgente y prioritaria por reducir nuestra forma de consumir y producir en todos los sectores. La conclusión más impactante es que la sobrecarga ecológica producida por el desarrollo social y económico conduciría a una autodestrucción y a un empobrecimiento de los recursos del planeta. El concepto de HE es simple: consiste en convertir los flujos de energía y materia que ingresan o salen de un país o región, en su equivalencia de tierra y agua utilizada. Expresada en términos más simples, la HE es un instrumento de contabilidad que permite estimar los requerimientos de consumo y los requerimientos de asimilación de desechos de una población o país, o en relación con la cantidad de tierra productiva que dispone. De esta manera, hay países que tienen una pauta de consumo mayor a su capacidad biológica para producir los bienes que consume, mientras otros países tienen una capacidad biológica de producción que excede a lo que realmente consumen. La HE mide la cantidad de agua y de tierra biológicamente productiva necesaria para generar los recursos requeridos para su consumo y para absorber sus residuos, utilizando la tecnología existente y las prácticas de gestión de recursos. Pese a que nos permiten ordenar a los

países y regiones en función de sus impactos relativos sobre el planeta, los indicadores de la HE suelen ser cuestionados por ecólogos y ambientalistas porque ofrecen valoraciones muy agregadas y genéricas de daño ambiental, sin diferenciar impactos específicos que permitirían abordar soluciones en forma puntual.

¿Realmente vamos a dejar de existir?

El año 2050 se ha considerado una fecha simbólica para el desarrollo de escenarios de futuro explorando la evolución del sistema planetario ante distintos posibles cambios. Se sabe que es una misión titánica, pero imposible si los mercados, la tecnología y la política no se alinean con el mismo fin. ¿Cuál será la población mundial?, ¿cómo será su dieta?, ¿Cuál será la sensibilidad medioambiental o el efecto del cambio climático? Muchos grupos de investigación se han hecho esas preguntas, y han construido escenarios considerando potenciales evoluciones alternativas. La pregunta importante es si, bajo distintos contextos, será posible alimentar a la humanidad, y bajo qué costo medioambiental. Las principales simulaciones de escenarios concluyen que ninguna solución de forma única evitará una degradación irreversible del sistema planetario, sino que será necesaria una acción conjunta que incluya la mejora de los sistemas de producción y también una transformación de la demanda. Latinoamérica es considerado el granero del mundo, aunque no es suficiente para afrontar una mayor demanda de una población en constante crecimiento, sobre todo, hacerlo en equilibrio para resguardar la rica biodiversidad de la región. Los sistemas agrícolas y alimentarios de América Latina y el Caribe son reconocidos, y con razón, como uno de los más exitosos del planeta. Han alimentado a una población en rápido crecimiento y contribuido a una reducción del hambre y la pobreza, en especial a unos veinte millones de hogares clasificados como pequeños productores o productores familiares. De hecho, la región es la mayor exportadora neta de alimentos en el mundo, beneficiando a consumidores de todo el planeta. Además, Latinoamérica es la mayor productora de servicios ecosistémicos, sus enormes bosques y extensas sabanas tienen una influencia crucial en la conformación de los patrones cli-

máticos a nivel mundial y en la mitigación del cambio climático. A pesar de lo dicho, la imagen de los sistemas agrícolas y alimentarios latinoamericanos de ser dinámicos, productivos y eficientes, refleja apenas una parte de una realidad más compleja. En muchos aspectos, estos sistemas tienen un bajo desempeño: han sido lentos para responder a los cambios en el entorno mundial, y muchos de ellos siguen dependiendo de métodos de producción anticuados, ineficientes y perjudiciales para las personas y el medioambiente. Por suerte, las perspectivas no son tan negativas, frente al actual panorama de bajo desempeño, subyacen enormes oportunidades. Los avances tecnológicos abren la puerta a métodos nuevos, más eficientes y ambientalmente más amigables para producir, procesar, distribuir, consumir y reciclar los alimentos.

¿Hasta qué punto es grave la degradación de la tierra?

Desde 1900, el uso agrícola de las tierras emergidas ha crecido de 13 a 35% del total en la actualidad, donde 10% corresponde a cultivos y 25% a pastizales. De la parte libre de hielo, solamente 20% corresponde a bosques, ya que casi 40% es territorio estéril. Los territorios de cultivo han desplazado, por tanto, a ecosistemas naturales que son reemplazados por sistemas más simples que acumulan menos carbono, y que en muchos casos emiten compuestos que afectan a la diversidad de los ecosistemas vecinos, o limitan la coexistencia de especies en los agroecosistemas. Los casos más graves en la actualidad corresponden a la rápida sustitución de la selva amazónica para producir carne de ovino o soya, y de la selva de Indonesia para producir palma. La pregunta clave es qué hacer para producir los alimentos necesarios sin convertir zonas naturales en cultivos, y al mismo tiempo producir los alimentos de manera que la biodiversidad local no se vea totalmente desplazada. Este es un debate con múltiples puntos de vista en la comunidad científica. La primera cuestión es ¿qué es realmente necesario producir? Esto no depende solamente del número de personas, sino también de su dieta. La segunda gran pregunta es si consideramos que los territorios de cultivo que ya existen se han de producir buscando el máximo ren-

diminuto para evitar la necesidad de nuevas expansiones o, al contrario, debemos fomentar sistemas multifuncionales que provean a los territorios de múltiples servicios ecosistémicos. Suponiendo que se tengan necesidades de alojamiento y otras infraestructuras de 40 hectáreas por cada 1 000 personas, el crecimiento de la población mundial entre 1995 y 2030 implicaría la necesidad de tener 100 millones de hectáreas adicionales de tierra no agrícola. La degradación de la tierra se define como una tendencia negativa en las condiciones de la misma, expresada en la reducción o pérdida de la productividad biológica, integridad ecológica o valor para los humanos. Lo cierto es que no se conoce con mucha precisión la superficie de tierra degradada. La degradación también tiene costos colaterales, tales como el entarquinamiento de lechos fluviales y pantanos, daños por inundaciones, pérdida de pesca y eutrofización de lagos y aguas costeras. Sin embargo, no todos los efectos colaterales de la degradación son negativos: las pérdidas en un lugar pueden producir ganancias en otro, como ocurre cuando el suelo erosionado en las tierras altas aumenta la productividad en las llanuras aluviales donde se deposita. Lo que se requiere es una transformación importante que se aleje de la extracción y el agotamiento, y se conduzca hacia prácticas que utilicen la magia de la biodiversidad para mejorar y mantener el vigor y la productividad de las tierras de cultivo; así como para maximizar el potencial de la agricultura para eliminar el carbono de la atmósfera y colocarlo en la tierra (lo que hace que el suelo sea más productivo).

La deforestación

La deforestación es el proceso de despojar un terreno forestal de sus plantas y árboles, es decir, de su vegetación. Los bosques cumplen valiosas funciones en la naturaleza y perderlos es muy perjudicial para el medioambiente, pues contribuye al cambio climático, ya que los árboles secuestran carbono mientras crecen. Entre las principales causas de la deforestación podemos encontrar algunas de la mano del ser humano y otras por fenómenos naturales. Solo podemos evitar, solucionar y controlar las primeras, y mejorando el estado actual del planeta podemos ayudar a reequilibrar

las segundas. Las actividades del ser humano son la principal causa de la deforestación y, también, es la causa más grave al ser evitable. Entre las principales causas de la deforestación que produce el ser humano destacan las siguientes:

- **La tala de árboles indiscriminada o mal gestionada.** Millones de hectáreas se talan o se queman para extraer la madera y otros productos, o para convertir los bosques en tierras de cultivo. Mayoritariamente, estas actividades se realizan en los países en desarrollo, más dependientes de la madera y sin un control adecuado sobre el uso del suelo. No se trata de vivir sin madera o sin papel, ni mucho menos sin alimentos, pero los bosques han de gestionarse de manera sostenible.
- **Ganadería.** En ocasiones, los ganaderos arrasan miles de hectáreas de selva, como ocurre en muchos países, para que el ganado se alimente durante uno o dos años. Después, el suelo queda agotado y tienen que trasladarse a otro lugar.
- **Urbanización del terreno.** La expansión de los núcleos urbanos es otra de las causas de la tala de árboles o deforestación que provoca el hombre. Se construye desafortunadamente y para ello se necesita espacio que se obtiene destruyendo bosques y selvas.

¿Qué causa la deforestación aparte de las actividades humanas? Lo cierto es que hay algunas causas de origen natural:

- **Incendios forestales.** En verano, los incendios forestales acaban con miles de hectáreas de bosque; además, con el cambio climático estos incendios son cada vez más frecuentes y destructivos. Pero, al igual que la tala de árboles que realiza el hombre, el daño para el medioambiente que causan los incendios es enorme, aparte de la deforestación en sí.
- **Plagas y enfermedades en los bosques.** Las plagas y enfermedades de los árboles es otra de las causas naturales que provocan deforestación.

Consecuencias de la deforestación

- **Alteración del ciclo del agua.** Los árboles atraen las lluvias y los bosques son una parte vital en el ciclo del agua. Por esto, al perder masas forestales, se modifica el comportamiento del agua en la zona, pues esta se desplaza hacia otras partes con vegetación.
- **Desertificación.** Realmente, lo grave es la tala indiscriminada o sin control, aparte de los incendios provocados, ya que sin una reforestación posterior y sin una gestión adecuada de los bosques, esta zona se convertirá en una zona desertificada.
- **Pérdida de hábitat, biodiversidad y suelo.** La deforestación trae como consecuencia el daño a los ecosistemas, a una pérdida de biodiversidad y a la aridez en el terreno; además, se evita la fijación de CO₂, por lo que se contribuye al cambio climático. Las regiones deforestadas tienden a una erosión del suelo y, finalmente, se convierten en tierras no productivas. Lo que lleva a que no crezca ningún tipo de vegetación, no sirva de zona de alimento y resguardo para animales ni para que se cultiven alimentos.

Sustentabilidad y sostenibilidad

Sustentable y *sostenible* son dos palabras que solemos usar como adjetivos para describir los procesos y actividades amigables con el medioambiente. Desafortunadamente, no son sinónimos, y emplearlos para un solo concepto es erróneo. Si bien sus significados conllevan a un mismo estilo de vida, se deben usar adecuadamente. En general, el término *sustentable* hace referencia a un conjunto de argumentos, recursos o procesos para dar respuesta a una interrogante (Ramírez Treviño *et al.*, 2003). Dentro del ámbito del desarrollo, sustentable es todo aquello que incluye procesos para preservar y proteger a toda costa los recursos naturales del planeta. Un ejemplo es el cuidado de una selva o de un océano, inclusive de especies animales, pero sin ver más allá o sin considerar las necesidades políticas, sociales y culturales de las comunidades. En el caso del desarrollo sostenible, sí se toman en cuenta las condiciones en las que se desarrolla una comunidad,

y con ello, se busca crear procesos saludables que beneficien a todos, incluidos, claro, los recursos naturales. De este modo, se pretende cuidar de espacios con el uso correcto de materiales e intervenciones para que los seres humanos puedan interactuar en él y, por supuesto, prevalezca por mucho tiempo. La diferencia más simple entre ambos es que lo sustentable es algo que se mantiene por sí solo; mientras que lo sostenible es más bien un proceso de acciones que se mantienen por sí mismas sin agotar los recursos.

La seguridad alimentaria

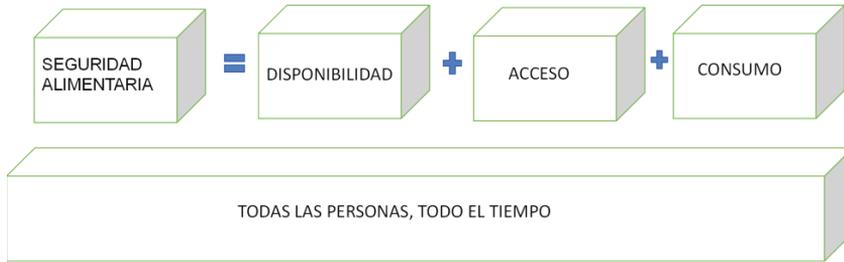
Las crisis alimentarias son negativas para todos, pero devastadoras para las personas más pobres y vulnerables. Esto se debe a dos razones. En primer lugar, los países más pobres del mundo tienden a ser países importadores de alimentos. En segundo lugar, los alimentos representan, al menos, la mitad del gasto total de los hogares en los países de ingreso bajo. En 2008, la crisis alimentaria provocó un aumento significativo de la malnutrición, especialmente en los niños, y numerosos hogares empeñaron objetos de valor familiar para comprar alimentos; sin embargo, los daños sociales y económicos de ese tipo no pueden revertirse fácilmente. El concepto de seguridad alimentaria surge en la década de 1970, basado en la producción y disponibilidad a nivel global y nacional; en los años 80, se añadió la idea del acceso, tanto económico como físico, y en la década de 1990, se llegó al concepto actual que incorpora la inocuidad y las preferencias culturales, y se reafirma la seguridad alimentaria como un derecho humano. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1996), la seguridad alimentaria “a nivel de individuo, hogar, nación y global, se consigue cuando todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a suficiente alimento, seguro y nutritivo, para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias, con el objeto de llevar una vida activa y sana”. Podríamos decir que el concepto de seguridad alimentaria tiene, al menos, una doble vertiente:

- a) En los países desarrollados suele hacerse más hincapié en garantizar que los procesos de producción, elaboración, transformación y conservación de los alimentos sean seguros para su consumo humano.
- b) En los países en vías de desarrollo, además de la faceta de la seguridad, hay que destacar el derecho de la población a acceder a suficientes alimentos para garantizar su supervivencia.

Elementos básicos para tener seguridad alimentaria y nutricional

- **Disponibilidad.** Implica que la población pueda disponer físicamente de alimentos, tanto a nivel local como nacional. Deben tomarse en cuenta aspectos tales como la producción, importación, almacenamiento y ayuda alimentaria. Asimismo, es necesario considerar las pérdidas que puedan producirse luego de las cosechas.
- **Acceso y control.** Una oferta adecuada de alimentos a nivel nacional o internacional, en sí misma, no garantiza la seguridad alimentaria de los hogares. La falta de acceso y control de los medios de producción y alimentos disponibles en el mercado, generan inseguridad e inestabilidad, y pueden tener un origen físico o económico. El acceso a los medios de producción es parte de la seguridad alimentaria.
- **Consumo y utilización biológica.** La utilización biológica se entiende como la forma en la que el organismo aprovecha los nutrientes presentes en los alimentos. Esto lleva a darle mayor relevancia, a la correcta preparación de los alimentos, a la higiene para disminuir la contaminación y propagación de enfermedades gastrointestinales, así como a la diversidad de la dieta.
- **Estabilidad.** Se considera que no se goza de una plena seguridad alimentaria si no se tiene asegurado el debido acceso a los alimentos de manera continua en el tiempo. Condiciones climáticas adversas, inestabilidad social o política, o factores económicos, pueden poner en riesgo la seguridad alimentaria, sobre todo en el caso de poblaciones vulnerables (Figura 9).

FIGURA 9. La iniciativa de seguridad alimentaria nutricional



Inseguridad alimentaria

La inseguridad alimentaria es una situación en la que las personas carecen de acceso seguro a una cantidad de alimentos suficientes para su desarrollo y para poder llevar una vida activa y sana.

Existen tres tipos de inseguridad alimentaria:

- **Crónica.** Se presenta de manera persistente ya que las personas no tienen la capacidad de satisfacer sus necesidades alimentarias mínimas durante un periodo prolongado. Generalmente se da por la falta de acceso a recursos productivos o financieros o largos periodos de pobreza.
- **Estacional.** Es un punto medio entre la crónica y la transitoria. Es similar a la crónica debido a que se puede predecir y sigue una serie de eventos conocidos; sin embargo, tiene una duración limitada y ocurre cuando se desarrolla un patrón en la falta de disponibilidad y acceso a los alimentos.
- **Transitoria.** Es a corto plazo y es temporal. Se da por una caída repentina en la capacidad de producir o acceder a una cantidad de alimentos suficiente para mantener un buen estado nutricional.

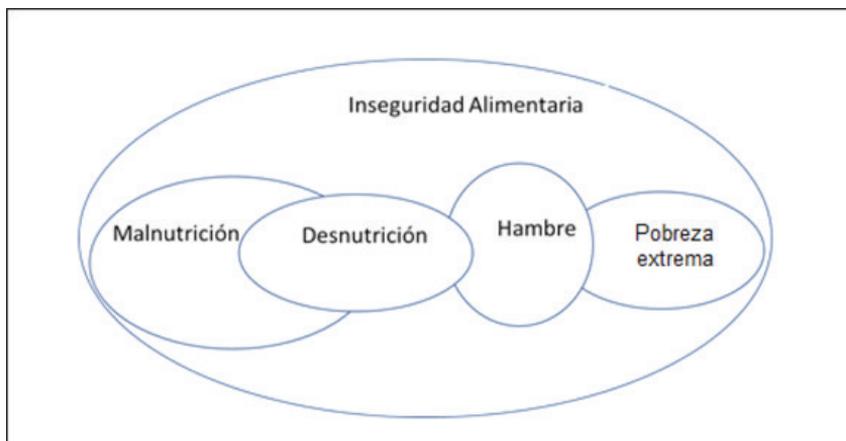
Se ha notado que en los últimos años las crisis alimentarias se han convertido en crisis prolongadas, a largo plazo y más estructurales. Esto muestra que ahora las crisis son causadas por situaciones de mayor complejidad que no pueden resolverse rápidamente, sino que deben llevar un proceso y una planeación de largo alcance (Figura 10). La malnutrición resulta de deficiencias, excesos o desequilibrios en el consumo de macro o

micronutrientes, y también, puede ser resultado de la inseguridad alimentaria, o puede estar relacionada con factores no alimentarios, como servicios de salud insuficientes o un medioambiente insalubre. Aunque la pobreza es indudablemente una causa de hambre, la falta de una nutrición suficiente y apropiada es, a su vez, una de las causas subyacentes de la pobreza. Una definición de pobreza, de amplia aplicación en la actualidad, es: “La pobreza engloba diversas dimensiones de privación relacionadas con necesidades humanas como el consumo alimentario, salud, educación, derechos, voz, seguridad, dignidad y trabajo decente” (FAO, 2011a, p. 3).

La huella de carbono y el análisis del ciclo de vida

La huella del carbono (HC) constituye un componente importante de la huella ecológica (HE). Las estimaciones globales indican que la HE total de la humanidad y, naturalmente, la propia HC, no han dejado de crecer en los últimos 40-50 años. La HC es una medida que cuantifica la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero —expresada en equivalentes de CO₂— que son liberadas a la atmósfera como resultado de intervenciones humanas. De esta manera, el consumidor puede tener una idea del potencial de efectos ambientales de los productos que consume.

FIGURA 10. *La inseguridad alimentaria*



La HC representa 50% de la HE total de la humanidad, y es, sin duda, el componente que crece más rápidamente y el que genera mayor preocupación por sus efectos potenciales sobre el cambio climático. Conocer el dato —expresado en toneladas de CO₂ emitidas— es importante para tomar medidas y poner en marcha las iniciativas necesarias para reducir las al máximo. En ese sentido, las granjas llevan tiempo trabajando, tanto en el cálculo de su huella de carbono como en estrategias que le permitan una reducción de este impacto ambiental. Actualmente, los problemas asociados a la HC se evalúan en el marco del denominado Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de un producto o servicio. El ACV apunta a diagnosticar y rediseñar procesos complejos bajo el supuesto de que los recursos energéticos y las materias primas son finitos y que es necesaria la sustitución cuando escasean y encarecen. Al mismo tiempo, se privilegia la reducción de residuos generados durante el proceso de producción y consumo. En el sector agroalimentario, el ACV supone un estudio detallado de las cadenas agroindustriales que estima, a través de varios indicadores, los impactos de cada eslabón sobre el ambiente. El ACV es una herramienta que sirve para estudiar los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, proceso o actividad. Permite la identificación de los principales impactos ambientales teniendo en cuenta todas las etapas de su ciclo de vida desde su origen, es decir, desde la extracción y procesamiento de materias primas, pasando por la producción, transporte y distribución; hasta el uso, mantenimiento, reutilización, reciclado y disposición en vertedero al final de su vida útil. Tras la realización del análisis se habrán identificado en qué fases o elementos del ciclo del producto se generan las principales cargas ambientales, y por tanto esos elementos serán claves a la hora de implementar las mejoras, puesto que son los causantes del mayor impacto. En el caso de que el objetivo que se persiga sea la comparación de distintos productos, podremos saber cuál de ellos presenta un mejor comportamiento ambiental. Todos los gases de efecto invernadero medidos en el ciclo de vida se convierten en impactos en el cambio climático, expresados en las mismas unidades (es decir, kg de CO₂ equivalentes). Existen, asimismo, modelos que caracterizan y facilitan factores que se emplean para evaluar el uso de agua, suelo y recursos, así como caracterizar el impacto humano y ecotóxico como resultado de la aplicación de agroquímicos en el suelo,

tal y como se muestra en la Figura 11. En la Tabla 1 presentamos algunos ejemplos de emisiones de CO₂ sobre la base de un kilogramo emitido. El consumo de alimentos de origen vegetal, de lejos, es más “amigable” con el medioambiente... y con nuestra salud.

FIGURA 11. Ciclo de vida de un producto



TABLA 1. Huella de carbono para distintos productos alimenticios

<i>Alimento</i>	<i>Kg de CO₂</i>
Cordero	39.2
Res	27.0
Queso	13.5
Cerdo	12.1
Salmón de granja	11.9
Pavo	10.9
Pollo	6.9
Atún enlatado	6.1
Huevo	4.8
Yogurt	2.2
Brócoli	2.0
Tomate	1.1
Lenteja	0.9

Las desigualdades de género

“Si en las zonas rurales las mujeres tuvieran el mismo acceso a activos productivos que los hombres, la producción agropecuaria incrementaría y se podrían alimentar aproximadamente 150 millones de personas adicionales” reportó la FAO (2011b, p. 4). Las mujeres son las principales agricultoras y productoras en gran parte del mundo, sin embargo, su trabajo sigue sin estar formalmente reconocido. De hecho, en los países en desarrollo componen aproximadamente la mitad de la fuerza laboral en la agricultura. Son numerosas las voces que defienden que la promoción de sus derechos y participación en el mundo rural debería ir ligada a una nueva forma de entender el desarrollo sostenible, y a pesar de ello, poco se ha avanzado en la posición de la mujer, pues en las zonas rurales sigue a cargo de los trabajos del campo y del cuidado del hogar. Además, debido al limitado acceso a la capacitación, los rápidos cambios tecnológicos ocurridos en el sector, sumados a los efectos del cambio climático, suponen un reto aun mayor para conseguir igualar el papel de las mujeres al de los hombres en la agricultura. Las sociedades asignan a las personas distintas responsabilidades, roles y espacios de realización personal y social de acuerdo con su sexo biológico, determinando con ello la construcción de lo que se denomina roles tradicionales de género. Como consecuencia se origina que tanto mujeres como hombres no accedan ni disfruten de las mismas oportunidades y ventajas, lo que traen como resultado profundas desigualdades sociales y económicas que afectan principalmente a las mujeres.

¿Por qué se debe invertir en el enfoque de género?

Por dos razones fundamentales: eficiencia y equidad.

- **Eficiencia.** En el sector agrícola, las desigualdades en el control y acceso a los recursos entre hombres y mujeres generan grandes ineficiencias productivas, que al resolverse podrían incrementar la producción de alimentos a nivel mundial. Se ha calculado que, si las mujeres tuvieran el mismo acce-

so a recursos que los hombres, la producción aumentaría de 20 a 30% con lo que disminuiría el número de personas con hambre en un 12%.

- **Equidad.** En las zonas rurales, las mujeres tienen menos acceso a servicios financieros, activos productivos, tecnologías y educación; que los hombres. Se estima que las mujeres producen aproximadamente entre 60 y 80% de los alimentos en el mundo; sin embargo, su contribución a la producción de alimentos no se reconoce, y, en consecuencia, las mujeres se benefician en menor medida de los servicios de extensión y capacitación.

¿Cómo lograr una mayor participación de la mujer en la agricultura?

Mientras que en la mayoría de los países en desarrollo los campesinos carecen de acceso a los recursos adecuados, las mujeres enfrentan limitaciones aún mayores debido a una serie de factores culturales, tradicionales y sociológicos. Las mujeres no poseen siquiera 2% de la tierra, aun cuando el porcentaje de hogares que encabezan está en constante aumento. Los programas de reforma de la tierra desembocaron en la transferencia de los derechos exclusivos de la tierra a los hombres como cabeza de familia, lo que implica ignorar la existencia de hogares encabezados por mujeres. En los países que disponen de información al respecto, solo 10% de las facilidades crediticias se aplican a la mujer, sobre todo porque las leyes y usos nacionales no le permiten compartir los derechos de propiedad con su marido. La mujer recibe pocos beneficios de las investigaciones en materia de innovaciones, en general, y en materia de producción de alimentos, en particular. A menudo se ignora el papel y las necesidades de las campesinas a la hora de concebir tecnologías que pueden causarles pérdidas de empleo o aumentar su carga de trabajo (véase Figura 12).

¿Cómo producir más alimentos?

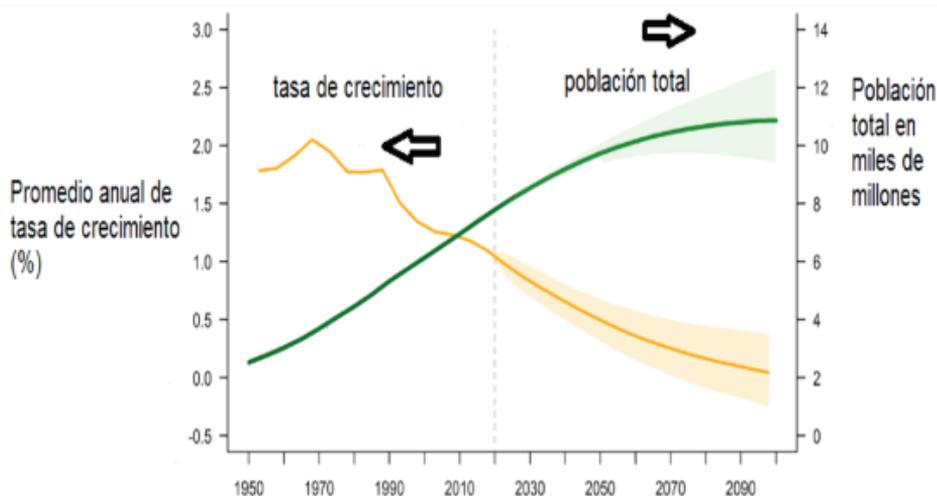
En el mundo se cultiva una cantidad diversa de vegetales que producen granos; sin embargo, la base de la alimentación humana se sustenta solo

FIGURA 12. Agricultura con enfoque de género



en unas pocas especies de cereales que incluyen trigo, arroz y maíz. Más de 60% de la producción mundial de arroz y trigo, y 30% de la de maíz, se destina al consumo humano. Por lo tanto, según las proyecciones de crecimiento poblacional, para satisfacer la demanda de alimentos en 2050 deberemos producir aproximadamente 50% más de estos cereales que en la actualidad (véase Figura 13). Una estrategia para incrementar la producción de alimentos es el aumento del área cultivada, aunque en algunos lugares de América del Sur el avance de la frontera agrícola ocurre a expensas de selvas y bosques nativos, estos ambientes resultan muy frágiles ante la intervención agrícola, por lo que su conversión en zonas agrícolas no parece ambientalmente sostenible. Otra estrategia, es aumentar la proporción del tiempo en que una parcela de tierra permanece cultivada, con lo cual se logra una mayor producción por unidad de superficie a lo largo de un ciclo productivo. Esta estrategia involucra un diseño particular de rotaciones de cultivos de modo tal que optimice el aprovechamiento del agua, los nutrientes y la radiación solar.

FIGURA 13. Crecimiento y proyecciones de la población en el mundo (miles de millones)



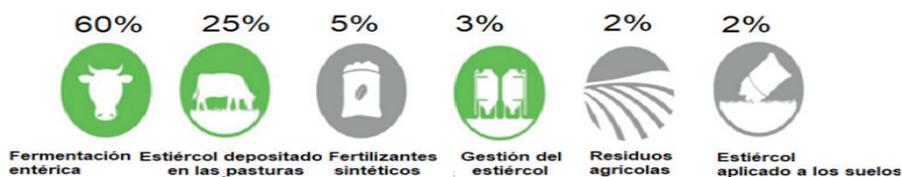
Lo que se procura es aumentar la eficiencia de uso de la radiación solar por parte del cultivo; es decir, se trata de aumentar la cantidad de biomasa que se produce por cada unidad de radiación solar interceptada. Otra vía de mejora consiste en optimizar la distribución del nitrógeno dentro de la planta de modo que las hojas superiores contengan la mayor concentración de nitrógeno. Una tercera alternativa consiste en mejorar la capacidad fotosintética de las espigas que contienen los granos durante el periodo de llenado de estos últimos. Debido a que la mayoría de los cultivos de trigo en condiciones de campo alcanzan valores que prácticamente interceptan toda la radiación solar que incide sobre ellos (95%), la estrategia de aumentar más aún este aprovechamiento de la luz no despierta grandes expectativas. Sin embargo, lograr una mayor producción de biomasa mediante una mayor eficiencia del proceso de fotosíntesis constituye un gran desafío. Los eventuales aumentos de eficiencia requieren alterar numerosos atributos del cultivo que implican distinto grado de dificultad, así como distintas expectativas de tiempo para modificar dichos atributos del cultivo. El aumento de la actividad de la principal enzima que interviene en la transformación del carbono del aire en azúcar (ribulosa difosfato carboxilasa oxigenasa [RuBisCO]) constituye uno de los desafíos más im-

portantes. Una mayor actividad de esta enzima mejoraría la capacidad fotosintética del cultivo y, por lo tanto, su capacidad de producir biomasa, que redundaría en aumentos de rendimiento.

El clima y las actividades agrícolas y ganaderas

La agricultura es extremadamente vulnerable al cambio climático. El aumento de las temperaturas termina por reducir la producción de los cultivos deseados, a la vez que provoca la proliferación de malas hierbas y pestes. Los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas, a corto plazo, y de reducción de la producción, a largo plazo. Aunque algunos cultivos en ciertas regiones del mundo puedan beneficiarse, en general, se espera que los impactos del cambio climático sean negativos para la agricultura, amenazando la seguridad alimentaria mundial. Los impactos del cambio climático en la agricultura y el bienestar humano incluyen: (a) los efectos biológicos en el rendimiento de los cultivos; (b) las consecuencias del impacto sobre los resultados incluyendo precios, producción y consumo, y (c) los impactos sobre el consumo per cápita de calorías y la malnutrición infantil.

Los efectos biofísicos del cambio climático sobre la agricultura inducen cambios en la producción y precios, que se manifiestan en el sistema económico a medida que los agricultores y otros participantes del mercado realizan ajustes de forma autónoma, modificando sus combinaciones de cultivos, uso de insumos, nivel de producción, demanda de alimentos, consumo de alimentos y comercio. En cualquier región del planeta el desarrollo y la forma en que se lleva a cabo la actividad agrícola y ganadera siempre han estado asociados al clima de la zona en donde se producen. Esta relación ha influido en el tipo de cultivos, la forma de explotación, las construcciones rurales y en general la forma de vida de las poblaciones agrarias. Aunque las actividades agrícolas son la cuarta causa de emisiones de gases de efecto invernadero, este sector emite grandes cantidades de los llamados “gases que no son CO₂”. Estos gases incluyen al N₂O y el CH₄ con un poder de calentamiento 265 y 28 veces, respectivamente, mayor en comparación con el CO₂ en un escenario proyectado a 100 años (véase Figura 14).

FIGURA 14. *Los mayores emisores de gases invernadero en la agricultura y ganadería*

Por su enorme potencial de calentamiento, pequeños cambios en los flujos netos de estos gases pueden contribuir significativamente con el calentamiento global, en comparación con cambios similares en flujos de CO_2 . Se ha estimado que las actividades agrícolas emiten 25% de los flujos de CO_2 antropogénico, de 55 a 60% del total de las emisiones de CH_4 , y de 65 a 80% de los flujos totales de N_2O . Por esta razón, es importante monitorear e incluir las emisiones del sector agrícola en las estrategias de mitigación, ya que remover gases como el N_2O de la atmósfera podría tener un impacto 300 veces mayor que remover la misma masa de CO_2 . Un cambio en el modelo de precipitaciones anuales tiene un impacto directo en la agricultura, pues 80% de los cultivos agrícolas dependen del agua de lluvia. La mayoría de las predicciones realizadas sugieren que se va a producir un aumento en las precipitaciones en latitudes altas en la estación invernal, mientras que en las regiones tropicales y subtropicales se va a producir un descenso.

Los fertilizantes y su futuro

El término fertilizante es amplio, y engloba a los productos que proporcionan nutrientes a las plantas para su crecimiento. Se refiere, tanto a los fertilizantes minerales (que provienen de síntesis industrial o de extracción minera) como a los fertilizantes orgánicos (que son derivados de excrementos y subproductos de animales, industrias agroalimentarias e, incluso, residuos urbanos). El nitrógeno es el nutriente más empleado por los cultivos y los fertilizantes minerales nitrogenados, que son los más utiliza-

dos por los agricultores; tal como sucede, principalmente, con los cereales, que reciben más de la mitad de los fertilizantes minerales nitrogenados, y de los que depende buena parte de la nutrición de las personas y de los piensos para animales. La fabricación de los fertilizantes nitrogenados se basa en el proceso Haber-Bosch, inventado a principios del siglo xx. Este proceso consiste en la reacción de nitrógeno e hidrógeno gaseoso para producir amoníaco; este compuesto es después utilizado para producir una gran variedad de fertilizantes nitrogenados o complejos, que contienen otros nutrientes además de nitrógeno. La fuente inagotable de materia prima que sirve para la síntesis de amoníaco es el N_2 , por lo que, para que se produzca la ruptura del enlace N-N y acelerar la reacción con el hidrógeno, es necesaria una gran cantidad de energía que permita elevar la presión (150-200 atmósferas) y la temperatura (200-300 °C). Esta crisis en los productos agrarios nos debería empujar a pensar en soluciones más duraderas. El legado de los suelos, en algunos casos, podría suministrar nutrientes durante varios años (como el fósforo); pero en otros, este legado se verá agotado en una o dos cosechas (como el nitrógeno). Entre las estrategias a seguir a largo plazo están, en primer lugar, aquellas destinadas a mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes por el cultivo. Es decir, la cantidad de nutrientes que es realmente utilizada por la planta. Para ello, es fundamental potenciar tecnologías digitales (sensores, teledetección, abonadoras de dosis variable) y tradicionales (análisis de suelo y planta), que permitan aplicar la dosis de fertilizante ajustada a las necesidades del cultivo y en el momento adecuado. Además, se debe potenciar la obtención de genotipos de cultivo con mayor capacidad de extracción de nutrientes, y las interacciones planta-microorganismo que mejoren el acceso a nutrientes poco disponibles. Se deben potenciar rotaciones de cultivo en las que se introduzcan leguminosas, como una vía segura y bien adaptada a las condiciones de cada sitio, para disminuir la dependencia de fertilizantes nitrogenados. En este rediseño de los sistemas agrarios es importante reforzar la conexión entre los sistemas de cultivo y los de producción ganadera, de forma tal que los residuos orgánicos de las granjas de animales se conviertan en una fuente de nutrientes mediante sistemas de economía circular.

Los plaguicidas y sus problemas

En el mundo se emplean más de 1 000 sustancias químicas para evitar que las plagas estropeen o destruyan las plantas. Cada pesticida tiene propiedades y efectos toxicológicos distintos. Muchos de los más antiguos y baratos que ya no están protegidos por patentes, como el DDT y el lindano, pueden permanecer durante años en el suelo y el agua, por lo que estas sustancias fueron prohibidas en los países signatarios del Convenio de Estocolmo de 2011, un acuerdo internacional cuyo objetivo es eliminar o restringir la producción y la utilización de contaminantes orgánicos persistentes. La toxicidad de un plaguicida depende de su función y de otros factores. Por ejemplo, los insecticidas suelen ser más tóxicos para el ser humano que los herbicidas. Además, el mismo producto puede causar efectos distintos en función de la dosis, es decir, de la cantidad a la que está expuesta la persona. Otro factor importante es la vía por la que se produce la exposición, ya sea la ingestión, la inhalación o el contacto directo con la piel. Cuando una persona se expone con grandes cantidades de uno de estos productos, puede presentar una intoxicación aguda y sufrir efectos adversos a largo plazo, entre ellos cáncer y trastornos de la reproducción. Los plaguicidas son una de las principales causas de muerte por intoxicación, sobre todo en los países de ingresos intermedios y bajos debido a que son intrínsecamente tóxicos, y se aplican deliberadamente para que se propaguen en el medioambiente; su producción, distribución y utilización debe regirse por un control y una reglamentación estrictos. Además, es necesario hacer un seguimiento regular de sus residuos en los alimentos. El aumento de las temperaturas puede provocar la aparición de insectos y patógenos en un mayor rango de latitudes, y la consecuencia que tendrá en la agricultura, en un futuro, es muy difícil de predecir pues depende no solo de la presencia del patógeno sino también del estado en que se encuentren los cultivos, y ambos efectos no pueden considerarse por separado ya que influyen uno en el otro. Por otro lado, existe un cambio en la distribución geográfica de las enfermedades, variando la dispersión de bacterias y hongos, debido a la producción de cambio en los patrones de viento, aparición de enfermedades emergentes y reemergentes y un aumento en la severidad de su patogenicidad.

Pérdidas y desperdicio de alimentos

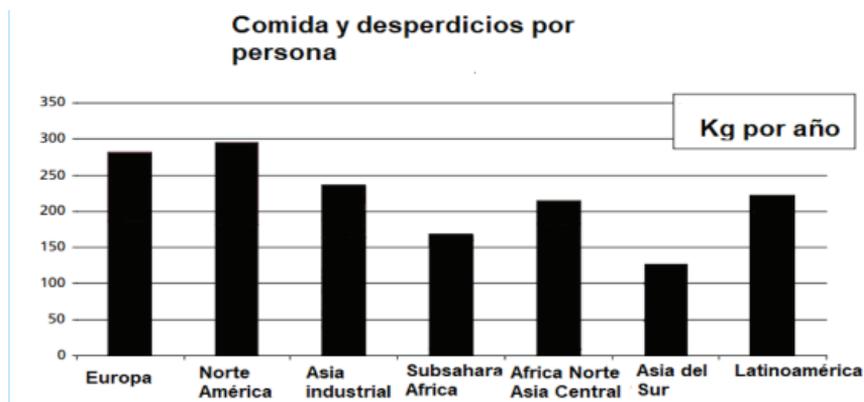
La producción de alimentos es uno de los factores fundamentales de la emisión de contaminantes, de la extracción de agua dulce y del uso de la tierra. A pesar de ello, un tercio de los alimentos que se producen en el mundo se pierden (después de la cosecha y en la etapa previa al consumo) o se desperdician (después de la etapa de consumo). El equilibrio ecológico del planeta es algo que tiene que ver con los niveles de consumo, pero también con los de desecho: se afecta ese equilibrio cada vez que se consumen productos que generan grandes cantidades de desechos (como las botellas de plástico, envases no retornables y productos que solo se usan una vez) y cuando no se separa la basura. Así, el consumo es la expresión de la libertad y, por eso mismo, entra por derecho propio en el ámbito ético, en el ámbito de las acciones que se eligen, y por tanto tienen que estar, implícita o explícitamente justificadas. Se habla de que las personas tienen derechos como consumidores, y en los últimos años se ha trabajado al respecto; sin embargo, se ha relegado el hecho de que, así como se tienen derechos, también hay obligaciones o deberes morales, pues el consumo afecta al medioambiente, a la comunidad, a la familia, a la gente en lugares distantes, e incluso a las generaciones futuras. Se requiere reducir a la mitad el desperdicio de alimentos en la venta al por menor, y disminuir la pérdida de alimentos en las cadenas de producción y suministro, incluidas las posteriores a la cosecha. Asimismo, los efectos ambientales positivos previstos derivados de la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos, repercutirían, entre otros, en la gestión sostenible del agua, el cambio climático, los recursos marinos, los ecosistemas terrestres, la silvicultura, la biodiversidad, y muchos otros. Se calcula que cada año, cerca de 1 300 millones de toneladas de alimentos aptos para el consumo humano, lo que equivale aproximadamente a un tercio de todos los alimentos producidos en el mundo, se pierden o se desperdician. Estas estimaciones dan cuenta, además, del problema ético que conlleva el que millones de personas padezcan de hambre a causa de un uso ineficiente de los recursos. Las frutas y hortalizas son los alimentos que más se desechan, llegando las pérdidas a 55% de todo lo que se produce; le siguen las raíces y tubérculos, con 40%; luego,

los pescados y mariscos con 35%; los cereales, 25%; las oleaginosas y legumbres, 20%; la carne, 20%, y los productos lácteos, 20% (véase Figura 15).

Además, se estima que con la pérdida de alimentos a nivel de venta en supermercados, ferias libres, almacenes y puestos de venta, se podría alimentar a más de 300 millones de personas, equivalente a 64% de quienes sufren hambre. Las pérdidas y desperdicios de alimentos no ocurren de igual manera en todos los países, ya que en los industrializados, el desperdicio de alimentos es más importante que la pérdida de alimentos, concentrándose en la etapa del consumo; mientras que en los países en vías de desarrollo, son más importantes las pérdidas en las etapas de producción, manejo y almacenamiento. En el mundo se desperdicia 17% del total de alimento disponible para los consumidores, procedente de los hogares. Mejorar la eficiencia en la cadena de suministro de alimentos puede ayudar a disminuir el costo de los alimentos para el consumidor y, así, aumentar el acceso a estos. Sin embargo, no parece que se preste demasiada atención a las pérdidas actuales en la cadena de suministro de alimentos, que son, seguramente, considerables.

La pérdida de alimentos ocurre en:

FIGURA 15. Porcentajes por región de pérdida de alimentos



- Las explotaciones agrícolas —debido a un momento inapropiado para la recolección—; las condiciones climáticas; las prácticas utilizadas en la reco-

lección y la manipulación, y los problemas en la comercialización de la producción.

- Los almacenes, por acopio inadecuado, así como por decisiones tomadas en etapas tempranas de la cadena de suministro que hacen que los productos tengan una vida útil más corta.
- El transporte, ya que una buena infraestructura y una logística comercial eficaces son fundamentales para evitar la pérdida de alimentos. La elaboración y el envasado son determinantes en la conservación de los alimentos, y las pérdidas suelen deberse a instalaciones obsoletas, al mal funcionamiento técnico o a errores humanos.

El desperdicio alimentario ocurre en:

- **Los comercios.** Las causas del desperdicio en el comercio minorista están relacionadas con una vida útil limitada, la necesidad de que los productos alimenticios cumplan las normas estéticas en términos de color, forma y tamaño, y la variabilidad de la demanda;
- **El hogar.** El desperdicio a nivel del consumidor se debe a menudo a una mala planificación de las compras y las comidas; un exceso de compra (influido por porciones y tamaños de envases demasiado grandes); confusión sobre las etiquetas (fechas de consumo preferente y de caducidad), y un almacenamiento inadecuado en el hogar;
- **Los supermercados,** que imponen altos “estándares estéticos” para los productos frescos, lo que conlleva al desperdicio de alimentos. Los supermercados rechazan algunos productos alimenticios en la explotación agrícola debido a estrictos estándares de calidad sobre el peso, tamaño y apariencia de los cultivos.

El deterioro de alimentos en la línea de producción es otra de las causas que provoca la pérdida durante el procesamiento. Los errores que tienen lugar dan como resultado productos finales con un peso, forma o apariencia inadecuados; o envases dañados, sin que por ello la inocuidad, el sabor o el valor nutricional de los alimentos se vean afectados. Aun así, en una línea de producción estandarizada, estos productos suelen desecharse. Hay que informar a los hogares de los consumidores para cambiar este

comportamiento que provoca altos niveles de desperdicio de alimentos en la actualidad (véase Tabla 2).

TABLA 2. *Algunos datos sobre el desperdicio de alimentos*

-
- Dato 1. Más de un tercio de todos los alimentos producidos mundialmente, se desperdician.
- Dato 2. El valor anual del alimento desperdiciado pesa 1 300 millones de toneladas.
- Dato 3. Alrededor de 1 000 millones de personas hambrientas se podrían alimentar con menos de un cuarto de la comida desperdiciada en los países desarrollados.
- Dato 4. Un área equivalente a la superficie de China se emplea para el cultivo que no llega a comerse.
- Dato 5. Se emplea 25% del agua dulce para hacer crecer cultivos que nunca llegan a comerse.
- Dato 6. Si el desperdicio de los alimentos fuese un país, sería el tercer gran emisor de gases de efecto invernadero.
- Dato 7. En los países desarrollados, 50% del desperdicio de alimentos se lleva a cabo en los hogares.
- Dato 8. Para el año 2050, se incorporarán al planeta 2 300 millones de personas, lo que requerirá un incremento de entre 60 y 70% de alimentos, o bien, dejar de tirarlos.
-

II. Dietas sostenibles

Alimentos y ética

La ética se relaciona con el estudio de la moral y de la acción humana. El concepto proviene del término griego *ethikos*, que significa “carácter”. Una *sentencia ética* es una declaración moral que elabora afirmaciones y define lo que es bueno, malo, obligatorio, permitido, etc., en lo referente a una acción o a una decisión; así pues, es moralmente irreflexivo instrumentalizar los alimentos de manera que se vean como un objeto que se consume o una mercancía que genera crédito o débito en los libros de contabilidad de una empresa. La ciencia ambiental nos enseña que el valor instrumental de los alimentos no es económico, sino de uso para nutrir la vida en la Tierra. La ética alimentaria involucra una amplia gama de dilemas reales de naturaleza práctica, y al explorar, con este marco, los problemas de los alimentos y del sistema alimentario, se puede llegar a una conciencia más profunda de sus propios valores morales y continuar fortaleciéndolos.

Pensando específicamente en los alimentos y en los sistemas alimentarios, los fundamentos de la ética ambiental serían los siguientes:

1. Los alimentos tienen un valor intrínseco (valor dentro de un objeto en sí mismo).
2. Los alimentos tienen un valor instrumental (valor en el uso de un objeto para lograr algo).

El valor de la sostenibilidad requiere un enfoque de “respeto en el uso” hacia todos los elementos del sistema alimentario: suelo, agua, aire, plan-

tas, insectos, animales y humanos; y junto con la biodiversidad, los recursos naturales, la energía y el agua, los alimentos son una parte fundamental e irremplazable del ecosistema de nuestro planeta, y del mismo modo que las plantas, los insectos, los animales, el agua y los minerales que lo constituyen, los alimentos tienen un valor intrínseco. Los que participan en un sistema alimentario y agrícola ético trabajan en favor de la reducción y eliminación, llegado el caso, de la pobreza potenciando la eficiencia y la eficacia económica de la alimentación y la agricultura en todo el mundo. Al hacerlo así, la eficacia de la producción debe estar equilibrada con la eficacia en la distribución.

Perspectivas para los cultivos principales

Los cereales siguen siendo, por antonomasia, la fuente de alimentos más importante del mundo, tanto de forma directa para el consumo humano como de manera indirecta para los insumos de la producción pecuaria; por lo tanto, lo que ocurra en el sector de los cereales será crucial para los suministros mundiales de alimentos.

Trigo

El cultivo del cereal más importante del mundo representó 31% del consumo mundial de cereales. En los países industriales, se utiliza para piensos una proporción creciente de trigo. El consumo de trigo per cápita en los países en desarrollo, en su inmensa mayoría para alimentos, ha seguido creciendo, y la mayoría de estos países dependen cada vez más de las importaciones. Entre los importadores netos se encuentran algunos de los principales productores de trigo como Brasil, Egipto, Irán y México. En los próximos años, se espera que aumente el consumo de trigo en todas las regiones, incluidos los países en transición, a medida que se reanime su consumo.

Arroz

El consumo medio de arroz per cápita en los países en desarrollo se ha ido estabilizando desde mediados de los años ochenta, lo que evidencia el de-

sarrollo económico y el crecimiento de la renta en los principales países de Asia oriental; por lo que se espera que el consumo crezca más lentamente en el futuro de lo que ha crecido en el pasado. De hecho, el consumo medio per cápita en los países en desarrollo puede muy bien comenzar a disminuir durante el periodo comprendido entre 2015 y 2030, lo que reducirá las presiones sobre la producción, pero dado el lento crecimiento del rendimiento de los últimos años, el mantenimiento de incrementos de producción, aunque sean modestos, será un difícil reto para la política de investigación y de regadíos.

Cereales secundarios

Estos incluyen el maíz, el sorgo, la cebada, el centeno, la avena, el mijo y algunos granos de importancia regional como el teff (en Etiopía) o la quinua (en Bolivia y Ecuador). Aproximadamente, tres quintas partes del consumo mundial de cereales secundarios se utiliza para piensos, pero en los lugares donde la inseguridad alimentaria es alta estos cultivos siguen siendo muy importantes para el consumo humano directo. El consumo de cereales secundarios ha ido creciendo rápidamente, impulsado sobre todo por su uso como piensos en los países en desarrollo. En el futuro, su consumo puede crecer con mayor rapidez que el del arroz o el trigo, pues los países en desarrollo representarán una proporción en aumento de la producción mundial, pasando desde menos de la mitad, en la actualidad, hasta casi tres quintas partes en 2030.

Cultivos oleaginosos

Abarca una amplia gama de cultivos que se utilizan no solo como aceite, sino también para consumo directo, piensos y diversos usos industriales. El aceite de palma, de soja, de girasol y de colza representaron casi las tres cuartas partes de la producción mundial de semillas oleaginosas, aunque el aceite de oliva, de maní, de sésamo y de coco también son importantes.

Dado su alto contenido energético, los cultivos oleaginosos desempeñan una función fundamental en la mejora de los suministros energéticos alimentarios de los países en desarrollo. En los dos últimos decenios, poco más de una de cada cinco kcal añadidas al consumo en los países en desarrollo pertenecían a este grupo de productos. Esta tendencia parece que

continuará y, de hecho, se intensificará: en el periodo comprendido hasta el año 2030, 45 de cada 100 kcal adicionales pueden proceder de semillas oleaginosas.

Raíces, tubérculos y plátanos

El consumo mundial de estos cultivos como alimento humano ha estado disminuyendo, pero para 19 países (todos ellos africanos) sigue representando más de una quinta parte, y en ocasiones hasta la mitad, de toda la energía proporcionada por los alimentos. Dado que la mayoría de estos países tienen un consumo global de alimentos bajo (menos de 2 200 kcal/día), estos cultivos desempeñan un papel crucial en la seguridad alimentaria. La disminución en el consumo mundial de raíces y tubérculos tradicionales ha ido acompañada de una desviación gradual hacia la papa en algunas zonas.

La agricultura orgánica

El término *agricultura orgánica* se refiere al proceso que utiliza métodos que respetan el medioambiente, desde las etapas de producción hasta las de manipulación y procesamiento. La producción orgánica no solo se ocupa del producto, sino también de todo el sistema que se usa para producirlo y entregarlo al consumidor final, además de utilizar métodos para reducir al mínimo la contaminación del aire, el suelo y el agua. El objetivo principal de la agricultura orgánica es optimizar la salud y la productividad de las comunidades interdependientes del suelo, las plantas, los animales y las personas. A diferencia de los alimentos etiquetados como *inocuos para el medioambiente*, *verdes* o *criados al aire libre*, la etiqueta de *orgánico* denota el cumplimiento de métodos de producción y procesamiento específicos. Todas las normas existentes que regulan la agricultura orgánica prohíben la mayoría de los plaguicidas y fertilizantes sintéticos, toda la conservación sintética, los organismos modificados genéticamente, los lodos cloacales y la irradiación. Los principios de la agricultura orgánica están en consonancia con los principios de la agricultura biodinámica y la permacultura.

La biodinámica

La biodinámica es un acercamiento a la agricultura, horticultura, jardinería, alimentos y nutrición; desde un enfoque holístico, ecológico y ético. La biodinámica tiene su raíz en el trabajo del filósofo y científico Rudolf Steiner (2011), quien abrió una nueva forma de integrar el pensar científico con el reconocimiento del espíritu en la naturaleza. Alrededor del mundo, la biodinámica vive en millares de jardines, granjas, viñedos, ranchos y huertos florecientes; sus prácticas y principios pueden ser aplicados en cualquier lugar en donde se produzca alimento, adaptándose conscientemente a la escala, paisaje, clima y cultura. Cada granja o jardín biodinámico es un organismo vivo, íntegro y completo, compuesto de muchos elementos interdependientes: campos, bosques, plantas, animales, suelos, compostas, personas y el espíritu del lugar. Los que trabajan para nutrir y armonizar estos elementos, administran en un sentido holístico y dinámico para apoyar la salud y vitalidad del todo. Los practicantes de la biodinámica también indagan en la escucha de la tierra, en sentir las posibilidades que quieran surgir a través de esa escucha, para desarrollar y permitir la evolución de su granja como individualidad única. La biodinámica cultiva biodiversidad: vegetales anuales y perennes, hierbas, flores, moras, frutas, nueces, granos, pasturas, forrajes, plantas nativas y setos de polinización contribuyen a esta diversidad vegetal, ampliando la salud y resiliencia del *organismo-granja*. La diversidad en animales domésticos también es benéfica, ya que cada especie animal provee una relación diferente con la tierra y una cualidad única del estiércol. La diversidad de vida vegetal y animal puede ser desarrollada con el tiempo, comenzando con algunos cultivos primarios y una o dos especies de animales, añadiendo más especies conforme el organismo-granja va madurando. Las plantas biodinámicas crecen en suelo vivo, el cual provee una cualidad en la salud y en la nutrición que no es posible lograr con fertilizantes químicos ni hidroponía. El compostaje teje una sana relación entre los estiércoles animales, materiales vegetales y suelo, transformándolos en una potente fuente de fuerza y fertilidad para el organismo de la granja. El integrar diversidad animal ayuda al ciclo de nutrientes proveyendo estiércoles que nutren el suelo. Los cultivos

de cobertura también contribuyen a la fertilidad de la granja al añadir diversidad de plantas y aportando vida y sensibilidad al suelo a través del oxígeno y nitrógeno. La rotación de cultivos ayuda a balancear las necesidades de cada sembrado y permite al suelo expresarse creativamente en una diversidad de formas. Juntas, estas prácticas reducen o eliminan la necesidad de importar fertilizantes y permiten a la granja moverse hacia el equilibrio y la resiliencia.

El microbioma

Los microorganismos son fundamentales para la vida en la Tierra, pero poco conocemos sobre su función ecológica. La importancia de las comunidades microbianas para las plantas fue demostrada en 1904, cuando Lorenz Hiltner desarrolló sus investigaciones sobre el crecimiento vegetal y la protección contra patógenos (Hartmann *et al.*, 2008). Su hipótesis era que la resistencia a los patógenos dependía de la composición de la microflora presente en la rizosfera. La rizosfera está formada por una estrecha zona del suelo sometida a la influencia de las raíces vivas, que se manifiesta mediante la exudación de sustancias que fomentan o inhiben la actividad microbiana. El “rizo plano” se refiere a la superficie misma de las raíces, que representa una base nutritiva favorable para numerosas especies de bacterias y hongos. Las poblaciones de organismos que habitan la rizosfera incluyen especies de la microflora y de la microfauna. Muchos de estos microorganismos determinan el desarrollo y el estado fisiológico de las plantas, ya que mejoran la captura de nutrientes y aumentan su disponibilidad, producen compuestos que estimulan el crecimiento (hormonas, aminoácidos y vitaminas), promueven la biodiversidad, activan los mecanismos de defensa contra fitopatógenos (véase Figura 16). El término microbiota hace referencia al grupo de microorganismos diferentes que viven en conjunto en un hábitat, por ejemplo, en los intestinos de los seres humanos o en el suelo. Por otro lado, el término microbioma describe una comunidad de diferentes microorganismos que ocupa un entorno particular, y también se refiere a la manera en que estos interactúan entre sí y con las condiciones ambientales circundantes.

FIGURA 16. Esquema del sistema de microbioma



Se ha demostrado el potencial de la manipulación del microbioma para estimular la germinación de las semillas, el crecimiento de las plantas y la resistencia a condiciones de estrés; lo que ha traído como consecuencia una reducción de los insumos químicos y ha permitido estudiar el impacto y el riesgo de la aplicación de los inóculos microbianos. Por ejemplo, en las raíces del trigo existe una amplia diversidad de bacterias, las cuales tienen la habilidad de promover el crecimiento en la planta, capturar nutrientes del suelo y contribuir en la tolerancia al estrés por factores bióticos y abióticos. Con respecto a las plantas, sus microbiomas también contienen diverso acervo genético y funcional, compuesto por virus, células procariotas y eucariotas, los cuales están asociados con varios hábitats en una planta hospedera. Estos microbiomas varían en todo sentido: de un organismo a otro (plantas individuales); de un órgano específico a otro (raíces, hojas, brotes, flores, semillas, etc.), y según su zona de interacción (entre las raíces, por ejemplo).

La permacultura

La permacultura es un tipo de sistema de diseño agrícola, con connotaciones —a su vez— sociales, políticas y económicas. En su base se encuentran

los principios del ecosistema natural, donde se intenta seguir apropiadamente los ritmos naturales medioambientales, sin forzarlos en ningún momento. Asimismo, para definir adecuadamente qué es permacultura, resulta importante señalar que se divide en diferentes ramas: (a) el diseño ecológico; (b) el diseño ambiental; (c) la ingeniería ecológica; (d) la construcción y la gestión integrada de recursos hídricos. Esta última se diversifica en arquitectura sostenible y sistemas agrícolas. Además, el término empezó a utilizarse por primera vez por los científicos Bill Mollison y David Holmgren en 1978. Desde sus comienzos, la permacultura se ha visto como una posible solución a la actual crisis ambiental y social. Por tanto, va desde una agricultura sostenible hasta la construcción de casas ecológicas y verdes, así como un mayor aprovechamiento de los recursos naturales como fuente energética. En cuanto a los tipos de permacultura, nos encontramos con una rural, que puede contribuir a una mejor conservación de recursos como el agua y los suelos fértiles en las áreas rurales, y una urbana, con una permacultura aplicada a las casas y ciudades, con el objetivo de rediseñar estos espacios para generar un impacto positivo.

La permacultura, además, se rige por tres principios éticos básicos:

1. El cuidado de la Tierra
2. El cuidado de las personas
3. La repartición justa.

Según el primero, lo que predomina es la conservación del suelo, así como de los bosques y el agua. Con el principio segundo, se hace referencia al cuidado de la propia persona y de los otros, por lo que se ha de procurar satisfacer las necesidades básicas a partir de los recursos existentes. Por último, mediante una repartición justa, se redistribuyen los excedentes, de modo que los residuos deben reciclarse adecuadamente con el fin de devolverlos al ecosistema de nuevo. En consecuencia, tras una observación previa de la naturaleza, se pueden diseñar soluciones sostenibles a la hora de intervenir en ella. Se han de almacenar, asimismo, energías limpias y renovables (como el agua, la biodiversidad o el suelo fértil). Igualmente, a través de sistemas autorregulados de fácil manejo, se debe producir en la medida en que se consuma para evitar desechos. Dentro de los

ecosistemas funcionales de la permacultura, un concepto recurrente es el de las *capas*, que son las diferentes partes en las que se divide un ecosistema. Así, el dosel arbóreo lo componen los árboles más grandes, mientras que el sotobosque lo conformarían aquellos ejemplares que crecen en los claros. Por su parte, los arbustos son aquellas pequeñas plantas leñosas de poca altura. La herbácea, por el contrario, está compuesta por plantas que se secan en verano y afloran en invierno; justo debajo de esta, se hallaría la cubierta del suelo. La rizosfera estaría integrada por las raíces arbóreas, y la capa vertical está constituida por plantas enredaderas.

Las dietas sostenibles

Los objetivos de las dietas saludables sostenibles son lograr el crecimiento y desarrollo óptimos de todos los individuos, y apoyar su funcionamiento y bienestar físico, mental y social en todas las etapas de la vida para las generaciones presentes y futuras. Además, contribuyen a prevenir todas las formas de malnutrición; reducir el riesgo de enfermedades no transmisibles relacionadas con la dieta; y apoyar la preservación de la biodiversidad y la salud planetaria.

Las dietas sostenibles tienen un impacto ambiental reducido, pues su producción se basa en la disminución del uso de pesticidas y fertilizantes; además, se cultivan especies adaptadas al ambiente local, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y nutricional para que las generaciones presentes y futuras lleven una vida saludable. Se busca acortar las distancias entre las zonas de producción y las de consumo; los alimentos son procesados al mínimo utilizando las formas tradicionales de preparación y se ofrece educación nutricional a los habitantes. Por lo tanto, estas dietas van más allá de la nutrición y la protección al ambiente, pues incluyen criterios nutricionales, económicos, sociales y culturales que forman un entorno saludable. La agricultura industrial con un uso intensivo de insumos y el transporte de larga distancia han hecho que los hidratos de carbono refinados y las grasas sean asequibles y estén disponibles en todo el mundo, dando lugar a una simplificación general de las dietas y la dependencia de un número limitado de alimentos energéticos. Pero este tipo de alimentos

carecen de nutrientes de calidad y conllevan elevadas emisiones de carbono y consumo de agua. Los alimentos baratos y de elevado poder calórico han tenido también un costo en relación con los sabores, la diversidad y las tradiciones culturales. Las dietas sostenibles, al basarse en la diversidad agrícola, contribuyen al aporte de una alta calidad nutricional, pues, a mayor diversidad dietética aumenta el consumo de macro y micronutrientes esenciales para el desarrollo, lo que hace a las dietas sostenibles ser nutricionalmente adecuadas. Con el consumo de alimentos locales se favorece la conservación de la biodiversidad agroalimentaria y la ingesta de una variedad alimentaria adecuada, por lo cual solo se transportarían aquellos suministros comerciales que, por razones climáticas o económicas, no pueden producirse en el ámbito local. Es cada vez más habitual encontrar productos en los supermercados con la etiqueta “bio” o “proveniente de sistema productivo ecológico”. Los alimentos ecológicos son aquellos que se producen de forma natural sin utilizar pesticidas u otros elementos que, además, no alteren el ecosistema ni supongan un riesgo para el entorno. Para que un alimento sea ecológico se deben seguir algunas normas básicas como las siguientes:

- Rotación de los cultivos
- Limitación del uso de pesticidas sintéticos
- No usar antibióticos para el ganado
- Adaptación de los cultivos y de la ganadería a cada lugar
- Cría en espacios abiertos
- Selección de especies vegetales y animales que sean resistentes a enfermedades
- Utilización de los recursos naturales cercanos a la zona de cultivo o de cría.

La salud planetaria

Este término hace referencia a “la salud de la civilización humana y el estado de los sistemas naturales de los que depende”. Este concepto fue propuesto en 2015 por la Fundación Rockefeller y la Comisión Lancet [...]

para transformar el campo de la salud pública” (EAT, 2019, p. 7), que tradicionalmente no consideraba los sistemas naturales. Los alimentos son la palanca más potente para optimizar la salud humana y la sostenibilidad ambiental en la Tierra. Existe evidencia científica sustancial que vincula las dietas con la salud humana y la sostenibilidad ambiental; sin embargo, la ausencia de objetivos científicos acordados a nivel mundial para dietas saludables y la producción sostenible de alimentos, ha obstaculizado los esfuerzos coordinados a gran escala para transformar el sistema alimentario mundial, pues, todavía no existe un consenso sobre lo que constituye una dieta saludable, una producción sostenible de alimentos y si se puede lograr una dieta de salud planetaria para la población mundial de los años venideros. El análisis de los impactos potenciales del cambio en la dieta sobre la mortalidad por enfermedades relacionadas con ella supone prevenir aproximadamente 11 millones de muertes por año, lo que representa entre 19 y 24% del total de muertes en adultos.

- La agricultura y la pesca no solo deben producir suficientes calorías para alimentar a una creciente población mundial, sino que también deben generar una diversidad de alimentos que cultiven la salud humana y apoyen la sostenibilidad ambiental. Junto con los cambios en la dieta, las políticas deben reorientarse hacia una variedad de alimentos nutritivos que mejoren la biodiversidad en lugar de apuntar a un mayor volumen de algunos cultivos, muchos de los cuales se utilizan ahora para la alimentación animal.
- Es necesario reducir 75% de las brechas de rendimiento en las tierras de cultivo actuales; mejoras radicales en la eficiencia del uso de agua y fertilizantes; redistribución del uso global de nitrógeno y fósforo; implementación de opciones de mitigación del clima, incluidos cambios en la gestión de cultivos y piensos, y la mejora de la biodiversidad dentro de los sistemas agrícolas.
- Eso implica alimentar a la humanidad implementando una política que impida la expansión de nuevas tierras agrícolas dentro de los ecosistemas naturales y bosques ricos en especies, y aspirando a políticas de gestión que restauren y reforesten tierras degradadas, conservando al menos 80% de la riqueza de especies preindustriales y protegiendo 50% restante de la Tierra como ecosistemas intactos.

Los nuevos alimentos

Se han realizado investigaciones para el desarrollo de tecnologías de procesamiento *no térmico* de alimentos, que mejoran diferentes operaciones unitarias en la industria alimentaria, proporcionando procesos más sostenibles y ecológicos que cumplen con los estándares de inocuidad alimentaria. Las tecnologías de procesamiento no térmico son una alternativa al procesamiento clásico de los alimentos como: esterilización y extracción de compuestos, los cuales están basados en la exposición a altas temperaturas. De estas nuevas tecnologías las más comúnmente utilizadas son: ultrasonido, procesamiento por altas presiones, luz ultravioleta, irradiación y campos eléctricos pulsados (PEF, por sus siglas en inglés), entre otros. La aplicación de PEF en el procesamiento de alimentos permite limitar la exposición a altas temperaturas y reducir la necesidad de aditivos alimentarios. En PEF, se expone al alimento a pulsos eléctricos, los cuales generan poros en la membrana celular, este fenómeno se conoce como “electroporación”. La electroporación promueve la inactivación de organismos patógenos, reduce la actividad enzimática, favorece la transferencia de masa, mantención de color, sabor y contenido de compuestos antioxidantes; adicionalmente, mejora la eficiencia en el procesamiento de alimentos y mantiene cualidades organolépticas atractivas tanto para el consumidor como también para la industria. Las matrices alimentarias tratadas con PEF más estudiadas son los alimentos líquidos, en desmedro de los sólidos. Esto se explica ya que los alimentos líquidos poseen altas concentraciones de iones, proteínas, vitaminas, triacilglicéridos y minerales, los cuales funcionan como una especie de portadores de carga eléctrica haciendo que la corriente eléctrica aplicada fluya mejor dentro del alimento tratado; aunque es necesario destacar que esta técnica también ha sido y puede ser aplicada en alimentos sólidos, pero con una eficiencia distinta a la presentada por los alimentos líquidos, y en sí, si se usa en alimentos sólidos, generalmente, es con el fin de mejorar la extracción de ciertos compuestos bioactivos, o la liberación de azúcares.

¿Qué son los antioxidantes?

Un antioxidante es una sustancia que forma parte de los alimentos de consumo cotidiano que puede prevenir los efectos adversos de especies químicas reactivas sobre las funciones fisiológicas normales de los humanos. Su función es neutralizar la acción oxidante de los radicales libres mediante la liberación de electrones en la sangre, los que son captados por los radicales libres. El deterioro en la salud se produce cuando nuestro organismo tiene que soportar un exceso de radicales libres durante años destruyendo células de nuestro cuerpo. Ante esto, los antioxidantes funcionan como una barrera frente al efecto nocivo de los radicales libres sobre el ADN, las proteínas y los lípidos del cuerpo. Todos los seres vivos que utilizan oxígeno para la generación de energía liberan radicales libres, por lo que es necesario defenderse de estas sustancias a través de los antioxidantes. Un radical libre es aquella figura química que tiene en su estructura uno o más electrones no apareados, esto les confiere una capacidad de reacción muy elevada por lo que son capaces de actuar en los sistemas biológicos produciendo cambios en la composición química o en la estructura de los elementos celulares que los hace incompatibles con la vida, es clave para formar otros radicales libres en cadena; además su vida media es de microsegundos, por lo que ocurre una rápida propagación con moléculas aledañas y mayor daño potencial. Los antioxidantes más comunes son: minerales (cobre, manganeso, selenio y zinc), vitaminas (A, C y E), ácidos grasos (omega 3), fitoesteroles, fibras, y alimentos modificados y enriquecidos con este tipo de compuestos. Hoy en día se puede observar un alza en la tendencia de la alimentación mundial hacia el consumo de antioxidantes; pudiera considerarse una “moda”, sin embargo, en las personas es una necesidad de por vida para contrarrestar los efectos de los radicales libres endógenos y exógenos. De acuerdo con los expertos, para una dieta balanceada debemos ingerir energía, además de 50 nutrientes. Todas estas sustancias deben provenir de hidratos de carbono, grasas, proteínas, vitaminas y minerales. En una dieta equilibrada las proteínas deben aportar 15% de la energía, mientras que las grasas no deben sobrepasar 30-35%. Para los hidratos de carbono corresponde aproximadamente 50-55% de la

energía de la dieta. Por lo que respecta a vitaminas y minerales, lo forman un conjunto de 13 y 20 sustancias, respectivamente. En el caso de las vitaminas, estas participan en funciones tan importantes en el organismo para evitar las reacciones de oxidación y formación de radicales libres. Los antioxidantes, o son sintetizados por el organismo, o son aportados por la dieta. Es por ello que mediante los antioxidantes consumidos en el régimen alimentario, es posible modular los efectos nocivos del estrés oxidativo y las acciones de los radicales libres, promoviendo de esta manera los procesos de regeneración celular. Una dieta suficientemente rica en antioxidantes debe contener cantidades adecuadas de frutas y verduras.

Teoría del envejecimiento asociada a los radicales libres

El envejecimiento es un proceso multifactorial. Una de las teorías más importantes es la de los radicales libres, propuesta por Harman en 1956 (Miquel y Fleming, 1986). De acuerdo con esta teoría, los radicales libres producidos en el metabolismo del oxígeno causan daño a las células, lo que conduce a alteraciones en el metabolismo. La idea general de esta teoría es que los antioxidantes celulares no son capaces de detoxificar las especies reactivas de oxígeno que se generan continuamente en la vida. Por ello, el envejecimiento celular está asociado a un estrés oxidativo crónico. Se observó que las especies que tienen un consumo alto de oxígeno tienen una longevidad baja. Sin embargo, los pájaros y los primates constituyen excepciones. Esto puede explicarse por el hecho de que las mitocondrias de las células de estos animales producen menos radicales que las mitocondrias de otros. Por tanto, las especies más longevas producen menos radicales libres. Varios autores han encontrado una relación entre la oxidación del glutatión y el envejecimiento de varios animales. Esta oxidación puede deberse a un aumento en la producción de radicales libres o a una disminución en su capacidad de detoxificación. De este modo, el envejecimiento se asocia con una disminución de las enzimas que catalizan la reducción del glutatión, y a un aumento de la actividad de las enzimas que favorecen la oxidación del glutatión, como la enzima glutatión peroxidasa o la transferasa.

III. Fuentes de alimentos y sistemas de producción

En todo el mundo, los países se encuentran en varias etapas de evolución de economías físicas —principalmente— a economías de servicios, digitales y, potencialmente, a la economía única, donde datos estarán generalizados en todas las actividades económicas y la sociedad. En la actualidad, gran parte de la atención internacional se centra en cómo aprovechar mejor las enormes oportunidades asociadas con la digitalización, mientras se evitan amenazas potenciales en trabajos específicos y en países, regiones, sectores e individuos que no pueden invertir y beneficiarse de la digitalización. El sector de la alimentación, agricultura y pesca tendrá que ubicarse dentro de este marco más amplio para garantizar la coherencia en todos los ámbitos políticos a nivel nacional, y para evitar la fragmentación de las políticas a nivel internacional. Por supuesto, la investigación y el desarrollo tradicionales siguen siendo una prioridad, y mucho más podría hacerse tanto en el sector privado como en el público. La reproducción de plantas y animales para mejorar la productividad y resiliencia a los eventos climáticos; el desarrollo de productos químicos para la protección de plantas que sean menos perjudiciales al medioambiente, y la mejora de fertilizantes, se encuentran entre las áreas prioritarias para una agricultura más sostenible.

Un paso más allá de la agricultura de precisión

El concepto de *Sociedad 4.0* hace referencia a los procesos económicos y sociales que se estructuraron a partir de la llamada Cuarta Revolución Industrial, en torno a la masificación planetaria de las nuevas tecnologías de la información. Aunque el advenimiento de las compañías 4.0 surgió a finales del siglo pasado, se radicalizó fuertemente en los últimos años impulsando el rápido desarrollo de las redes sociales, y el consecuente incremento de su valor comercial. Entre los principales elementos de la Revolución o Sociedad 4.0 se encuentran la aparición del *Big Data* y el manejo de grandes cantidades de información sobre las personas —a merced de las compañías—, y la emergencia de una Economía de los Encargos que impulsó nuevas formas de trabajo a través de las plataformas digitales. Alrededor de estos factores, se generaron nuevos modos de comunicación e interacción con otras personas u objetos en la vida cotidiana. Una de las principales consecuencias fue la multiplicación exponencial de los nexos entre las interacciones cara a cara y las del mundo digital. En este contexto, la comida se ha vuelto un fenómeno mediático, ya que no somos meramente lo que comemos desde el aspecto físico nutricional e identitario; sino, también, somos los alimentos virtuales que consumimos, deseamos y compartimos a través de las plataformas. El cambio se basa en la adopción de las nuevas tecnologías para la progresiva automatización del proceso productivo. Se trata de tecnologías innovadoras cuya aplicación a la industria se desarrollará día a día. Hablamos de fabricación aditiva, robótica colaborativa, herramientas de planificación de la producción, visión artificial, realidad virtual, gamificación, simulación de procesos, inteligencia operacional, *IoT* (internet de las cosas) y las denominadas plataformas *KET*. En el futuro próximo veremos una era de fábricas inteligentes que integrarán lo físico con lo virtual, donde los fabricantes y máquinas compartirán información con la cadena de suministro, y donde los procesos pueden ser optimizados automáticamente, ser autoconfigurables y usar inteligencia artificial para completar tareas difíciles basadas en flujos de trabajo complejos. Por otro lado, la fabricación bajo demanda para prototipos personalizados y piezas en producciones de tiradas cortas es una de

las áreas de más rápido crecimiento en la industria gracias a los avances en la fabricación aditiva. Todo esto implica la necesidad de disponer de sistemas que operen y gestionen la información de banda ancha y las infraestructuras para las tecnologías de la información, así como los edificios y los sistemas de tráfico. Este concepto de *industria 4.0* representa un salto muy importante para la mayoría de las organizaciones. Por lo tanto, la *agroindustria 4.0* se orienta a hacer más eficientes los procesos de campo para obtener mejor materia prima con menos recursos con ayuda de tecnologías digitales y análisis de datos. La *agricultura 4.0* supone un escalón más en la agricultura de precisión. Adoptar soluciones 4.0 en agricultura significa:

- evitar los desperdicios calculando con exactitud los requerimientos hídricos de los cultivos o detectando con antelación la aparición de determinadas enfermedades de las plantas o la presencia de parásitos;
- tener un mayor control de los costos de producción y poder planificar con gran precisión todas las etapas de cultivo, siembra y cosecha, con un ahorro considerable de tiempo y dinero;
- mejorar la trazabilidad de la cadena de suministro, manteniendo todo el proceso de producción bajo control, lo que conduce a una cadena de suministro corta que, con poco margen de error, es capaz de producir alimentos de la más alta calidad y de forma sostenible.

¿Qué tecnologías han permitido llegar a la agricultura 4.0?

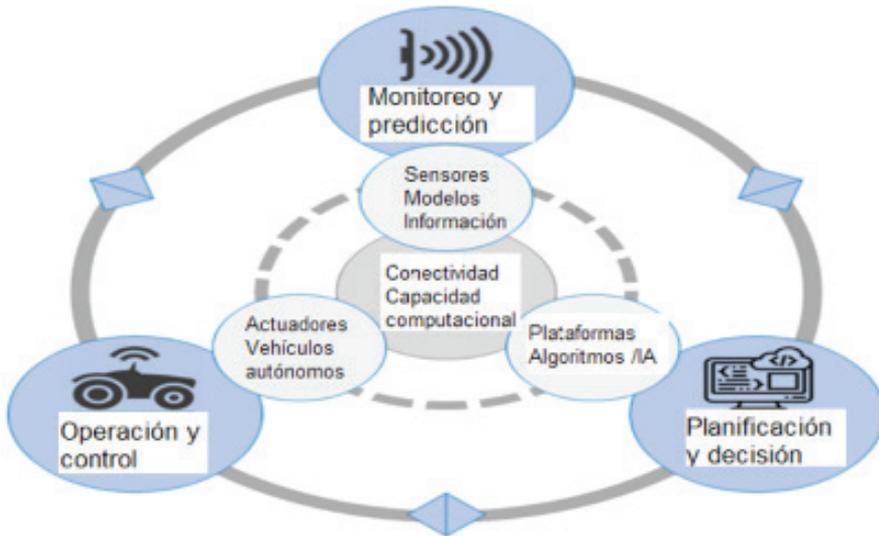
Por definición, diríamos que la Agricultura 4.0 es la unión entre las tecnologías de la información y la comunicación, con las aplicaciones y la agricultura. Es precisamente esta unión la que ha dado origen a todo un mundo nuevo: las tecnologías de la agricultura de precisión. A nivel tecnológico, la disponibilidad de información puntual sobre los parámetros del cultivo ha permitido el desarrollo de la agricultura de precisión que consiste en poder manejar de forma diferenciada zonas o áreas de una parcela agrícola aplicando insumos (riego, fertilizantes, fitosanitarios,

etc.) con dosis variables en función de las necesidades del cultivo. La implementación de dicha técnica se apoya en dos pilares: (a) prescripciones georreferenciadas de dosis a aplicar basadas en la información aportada por los sensores; (b) máquinas agrícolas capaces de aplicar dosis variables de insumos.

Hablamos de un uso más eficiente y responsable de los recursos, aprovechando al máximo lo que la tierra produce haciéndolo sostenible y amigable con el medioambiente. Si bien los procesos agrícolas tienen un impacto en la tierra, la agricultura digital hace que esta transformación sea totalmente positiva, al lograr que, desde la siembra, pequeños y grandes productores innoven en sus ciclos productivos y se beneficien al mismo tiempo que favorecen al medioambiente. El internet de las cosas o *IoT* se puede definir como un sistema de dispositivos interrelacionados (incluidos animales o personas) a los que se asigna un identificador único, mismos que tienen capacidad para transmitir o recibir datos a través de una red sin necesidad de interacción humana. Esta tecnología resulta clave en el ámbito de la agricultura de precisión, ya que, gracias a varios dispositivos, se recopila información en tiempo real cuyo posterior análisis permite la adopción de las medidas más adecuadas (véase Figura 17). Tradicionalmente, la conectividad se conseguía principalmente a través de Wifi, mientras que hoy en día la 5G y otros tipos de plataformas de red son cada vez más capaces de manejar grandes cantidades de datos con velocidad y confiabilidad. Los actuales sensores, por ejemplo, a través de una conexión Wifi, son capaces de transmitir información sobre el grado de humedad del suelo, y permiten un uso más eficiente de los sistemas de riego, que incluso podrían activarse de forma automática sin intermediación humana. La inteligencia artificial (IA) se empleará cada vez más para crear alimentos saludables. Gracias a ella, se precisarán muchas menos pruebas o análisis de laboratorio hasta dar con el producto buscado.

Cloud

Una vez que los datos han sido recopilados, gracias a los sensores, y enviados a la red, gracias al *IoT*; el tercer paso consiste en el almacenamiento, el procesamiento y la accesibilidad de toda la información. Esto es posible con la tecnología *cloud* (soluciones en la nube), que nos permite tener ac-

FIGURA 17. *Tecnologías digitales para una agricultura “más inteligente”*

FUENTE: Wolfert *et al.* (2017).

ceso, en cualquier momento y desde cualquier dispositivo conectado a internet, a toda la información recogida.

Una vez que se cuenta con acceso a la conectividad rural, y que existen elementos básicos de alfabetización digital, es posible implementar sistemas de información para entregar bienes públicos a la población directamente, o que resulten útiles para que las empresas y centros de investigación generen recomendaciones y también desarrollen aplicaciones técnicas que puedan llegar a ser, incluso, bienes privados.

Big Data o datos masivos

Se refiere a un conglomerado de información digital. En la Agricultura 4.0, estos datos pueden ser información histórica sobre el rendimiento de los cultivos y el clima, información sobre el mercado, datos sobre los costos de insumos como semillas, pesticidas y fertilizantes. Para el caso de las semillas, *Big Data* puede referirse a la secuenciación digital de los genomas. Los datos masivos no solo se recolectan y almacenan, sino que se analizan con la ayuda de algoritmos para hacer asociaciones que podrían,

supuestamente, mejorar la eficiencia o incrementar la rentabilidad. Los *macrodatos* son la clave para extraer la información de todos los datos recopilados. Si están en bruto, estos no tienen ningún valor. Han de ser procesados y cruzados mediante *softwares* complejos que evalúan multitud de aspectos, y que, entre otras cuestiones, permiten determinar:

- El cultivo más adecuado para un suelo con base en sus características.
- El mejor momento para el riego.
- Recomendaciones de fertilización.
- Ajustes de las dosis adecuadas de siembra.
- El Sistema de Posicionamiento Global del tractor, mismo que permite realizar una agricultura de precisión. Gracias a él, aplica en cada zona del campo la dosis de semilla, abono o fitosanitario necesaria. Aunque muchos aperos —como las sembradoras o atomizadoras— todavía no están preparados para trabajar con el conjunto de líneas de comunicación que interconectan los sensores, los controladores y los actuadores, es decir, con los distintos componentes o dispositivos del sistema de control electrónico del tractor.

Las tecnologías digitales ofrecen muchos beneficios potenciales, pero también suponen riesgos, al menos, mientras no se resuelvan barreras o brechas importantes que hoy existen. El avance de la digitalización podría así incrementar las desigualdades dentro de la comunidad rural y, en un extremo, acelerar la exclusión de quienes no logren incorporarlas. Además, las tecnologías digitales disparan cambios en los roles de los actores y sus modos de relacionarse que podrían generar conflictos y exclusión de quienes no tienen posibilidades de adaptarse. También la digitalización (y en especial la automatización), si bien promete aumentar la productividad de la mano de obra, podría generar desplazamiento o exclusión de trabajadores.

Robots agrícolas

Un robot agrícola es una máquina o dispositivo destinado a desempeñar trabajos dentro del sector agrícola. Tradicionalmente se han venido usan-

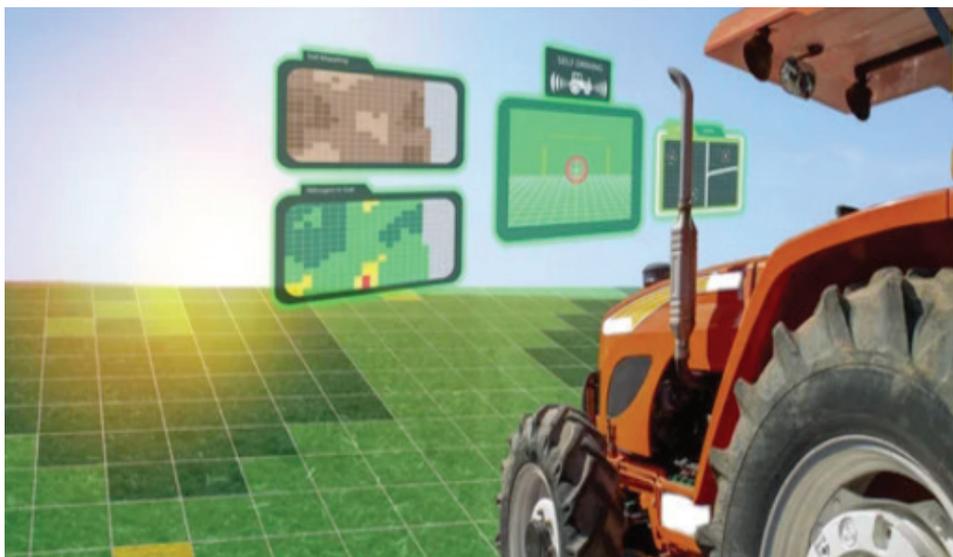
do robots durante el proceso de manufactura de los productos, pero desde hace un par de décadas, se están investigando soluciones innovadoras para la Agricultura 4.0. El principal objetivo de los robots es aumentar la productividad de las cosechas y su optimización, del mismo modo que reducir los costos de producción y el impacto sobre el entorno ambiental. Los hay para trabajar en el exterior y los de interior, así como robots para trabajar desde el aire y desde el propio terreno. Al igual que sucede con los robots industriales, son muchas las ventajas que ofrece la implantación de robots en la agricultura (véase Figura 18); de entre ellas se puede destacar cómo permiten realizar trabajos de precisión a la vez que optimizan los procesos. Entre sus principales ventajas se encuentran:

- **Conectividad de los tractores.** En este caso, el tractor, como dispositivo de uso cotidiano, se conecta con internet para transmitir a la red información de gran valor para el agricultor. La tecnología registra en tiempo real —mediante un equipo telemático instalado en el tractor— numerosos parámetros que tú recibes directamente en tu dispositivo móvil.
- **Acceso remoto a datos,** como la ubicación de la máquina, sus horas de uso o su consumo de combustible. Además, avisa cuando necesita una revisión y, en caso de haber un problema técnico, se recibe una alerta.
- **Imágenes aéreas.** Son numerosas las aplicaciones que permiten, semanalmente, ver imágenes de los cultivos tomadas con drones, que también se podrán usar para aplicar tratamientos fitosanitarios. Las fumigaciones podrían ser mucho más selectivas al limitar el alcance de los elementos que lanzan, centrándose solo en el problema; a escala de parcela, cuál es el requerimiento hídrico de una plantación, detectar posibles fallos en el riego, y valorar el vigor de los cultivos.
- Igualmente, la tecnología también permite ser mucho más eficiente en la lucha contra los problemas del campo. Hay quienes ya hablan del potencial futuro que tendrían los *nanotraectores* sin tripulación, que permitirían no solo sembrar en condiciones más concretas, sino también controlar las malas hierbas a un nivel mucho más específico.

La percepción remota

La percepción remota (PR) ha ganado mucho interés como una herramienta de precisión con potencial de manejo para agricultores. Imágenes de satélites o fotografías aéreas pueden permitir al productor ver rápidamente los cultivos en su campo, y decidir cuáles áreas necesitan un manejo posterior, sin dejar la comodidad de su hogar. Sin embargo, interpretar lo que vemos y tomar decisiones sobre esas interpretaciones es todavía bastante complicado. Aunque la percepción remota ha sido usada en aplicaciones agronómicas desde la década de 1930, esta práctica tiene todavía un gran desarrollo como una herramienta de manejo para la producción vegetal (véase Figura 18). La percepción remota es un componente determinante de diversas aplicaciones al combinar información de múltiples fuentes, y puede ser útil en aplicaciones agrícolas para detectar o evaluar factores limitantes, discriminación de cultivos, inventarios, etapas de crecimiento, vigor vegetal, necesidades nutrimentales, variación espacial de la productividad, estimación de la biomasa y rendimientos, superficies y muestreo de propiedades físicas y químicas del suelo en entornos biofísi-

FIGURA 18. *La agricultura robotizada*



cos complejos mediante imágenes satelitales. Sin embargo, los datos derivados de esta técnica, no se han utilizado a su máximo potencial para la gestión de los cultivos, en gran parte, debido a que no están disponibles para los investigadores y agricultores, y a la falta de comprensión de las características de los sensores. La agricultura de precisión con el uso de percepción remota, sistemas de información geográfica y sistemas de posicionamiento global es potencialmente, una de las más poderosas herramientas, procesos y técnicas para la competitividad de la agricultura.

La biotecnología

En su novela *Un mundo feliz*, Aldous Huxley describe una sociedad futurista, e inquietante, en la que sus miembros se alimentan con pastillas que les aportan todo tipo de nutrientes. No es la primera vez que la ciencia ficción especula sobre cómo será la alimentación en un futuro más o menos lejano. Hoy, los avances que se están produciendo en las ciencias de la alimentación pueden dar pistas sobre la evolución de nuestra dieta. ¿De qué nos alimentaremos? Para responder a esta pregunta hay que considerar las necesidades nutricionales de la población global y los recursos existentes para cubrirlas. Para aumentar la capacidad de generar alimentos, ya se han comenzado a buscar fuentes alimenticias, no explotadas suficientemente hasta el momento, que no impliquen técnicas agrarias y ganaderas que perjudiquen al medioambiente. Contrariamente a lo que mucha gente piensa, emplear genética en la alimentación y la nutrición no es algo nuevo. Desde hace 12 000 años, en los albores de la agricultura y la ganadería, el hombre ha mejorado las razas de animales de granja y las variedades vegetales comestibles utilizando técnicas genéticas. Comenzó domesticando estos organismos y acabó mejorándolos mediante el empleo de la genética. Para ello se utilizaron varias técnicas. De entre todas ellas las más usadas han sido la hibridación, conocida como *cruce sexual*, y la aparición de mutantes espontáneos, también llamada *variabilidad natural*.

Hibridación y variabilidad natural

En la primera de estas técnicas, hibridación, se cruzan dos organismos parentales portadores, cada uno, de una característica agroalimentaria relevante, que busca conseguir, en el híbrido resultante, las características positivas de los dos. Por ejemplo, se puede cruzar una variedad con buenas propiedades organolépticas y con baja productividad; con otra, con buena productividad en campo, pero falta de aroma y sabor. Dado que cada uno de estos parentales tiene un genoma con varias decenas de miles de genes, lo que ocurre en el nivel molecular en estos cruces es la mezcla al azar de los miles de genes de cada progenitor, de forma que la combinación con los genes adecuados será minoritaria. Por complicada que parezca, esta tecnología ha funcionado magníficamente; de hecho, un porcentaje altísimo de variedades vegetales y de razas animales que consumimos en nuestra dieta son producto de procesos de cruce y selección. Así se han conseguido las variedades de trigo con las que se producen las harinas panaderas. Los genomas de estas variedades pueden llegar a tener hasta seis pares de cada cromosoma cuando las variedades ancestrales que se cultivaban anteriormente, tenían dos. Otro ejemplo de mejora por cruce sexual hace referencia a las gallinas ponedoras de huevos. En la década de los cincuenta del siglo pasado las razas más productoras ponían setenta huevos por año. Aplicando técnicas de cruce sexual se han logrado razas que en la actualidad ponen trescientos huevos por año. En realidad, todos los datos aparecidos en los últimos cuatro años sobre secuenciación de genomas indican que un porcentaje mayoritario de las variedades vegetales y, en menor medida, de razas animales que ingerimos en nuestra dieta soportan una larga historia de modificaciones genéticas realizadas de forma empírica por el hombre.

Al aplicar la segunda de las técnicas, la mutación, se seleccionan nuevos individuos mutantes que, también al azar, han modificado o perdido uno o unos pocos de las decenas de miles de genes de su genoma, consiguiendo una nueva combinación mucho más eficaz, desde el punto de vista agroalimentario. Un ejemplo claro son las coles. Estos vegetales no existían hace cinco mil años. Son el fruto de una mutación en el genoma de un

ancestro evolutivo, ya desaparecido, sobre un gen que controlaba el desarrollo de las yemas florales. Otras mutaciones en genes que controlaban el desarrollo de las yemas terminales, las yemas laterales; o las flores y los tallos, explican la aparición de los repollos y las coles de Bruselas, respectivamente. Todas las técnicas genéticas mencionadas hasta ahora presentan dos importantes limitaciones:

1. La falta de direccionalidad y la imposibilidad de saltar la barrera de especie, ya que es imposible conseguir agrupar selectivamente, en el descendiente de un cruce, los genes deseados de un parental y del otro. De la misma forma, mutar selectivamente un único gen de un genoma es imposible.
2. En cuanto a la barrera de especie, no se puede mutar una zanahoria hasta conseguir una nueva variedad que tenga el contenido en resveratrol de la uva; ni es posible llevar a cabo un cruce sexual entre estos dos vegetales.

Ingeniería genética

Mediante técnicas denominadas, de manera global, ingeniería genética es posible dirigir la mejora genética y también saltar la barrera de especie al seleccionar el fragmento del genoma que contiene el gen deseado. En esencia consiste en tomar el gen deseado del genoma de un organismo donador e introducirlo en el genoma de un organismo receptor generando un organismo modificado genéticamente (por sus siglas OMG). Por supuesto estas técnicas se pueden utilizar en la agricultura y la alimentación. Cuando se aplican, se logran los llamados alimentos o cultivos transgénicos. Conviene destacar que hay diferencias notables entre las técnicas genéticas convencionales y la ingeniería genética. Con la ingeniería genética se direcciona la modificación genética introducida, se hace de forma más rápida y eficaz, y se puede saltar la barrera de especie. La expresión de genes provenientes del genoma de un animal en un genoma vegetal, o de genes provenientes de genomas de animales que presentan limitaciones de ingesta para alguna religión o grupo étnico. Sin embargo, la agricultura se enfrenta a nuevos retos, como la necesidad de acelerar la adaptación de los cultivos a las condiciones ambientales cambiantes, y mitigar el impacto

que estas pueden provocar en la distribución geográfica de los cultivos y en sus rendimientos. Será necesario implementar nuevas tecnologías que permitan un uso más eficiente de recursos, como el agua y los nutrientes del suelo, y que contribuyan a reducir el impacto medioambiental de determinadas prácticas agrícolas, como el uso de fertilizantes y fitosanitarios. Estos grandes retos pueden ser abordables dado el conocimiento detallado que tenemos actualmente de los genomas de las plantas y de la diversidad genética vegetal, y de cuáles son las respuestas moleculares de las plantas en sus interacciones con el medioambiente. Estos conocimientos y la utilización de herramientas computacionales de análisis masivo de datos biológicos contribuirán a entender e integrar las respuestas fisiológicas de las plantas a condiciones ambientales adversas, y a identificar los genes clave en el control de dichas respuestas. Estos genes serán *dianas* para programas de mejora de los cultivos, y formarán parte de esta nueva revolución agrícola necesaria para afrontar los retos de los efectos del cambio climático sobre la producción agrícola y la alimentación de una población mundial en crecimiento.

Edición genética

Desde hace más de veinte años se conocía que el inducir roturas únicas de doble cadena por una endonucleasa en un sitio específico del ADN de los genomas de las plantas podía producir diversos cambios genéticos en la secuencia del ADN de ese genoma durante el proceso de reparación de la rotura. Los procesos de reparación del ADN permiten introducir cambios predefinidos en la secuencia de destino (genes), y por lo tanto alteraciones de las secuencias de los genes y de su funcionalidad, que puede representar la pérdida parcial o total de la misma. Esta tecnología de reparación de roturas en el ADN se propuso que fuera útil para hacer modificaciones de las secuencias de los genomas a la carta, proceso que se conoce como *edición genética*. De este modo, el rendimiento y el crecimiento de la nueva planta aumentan en comparación con los de sus antepasados. La misma planta que no fue tolerante a las condiciones de sequía, es tolerante a la sequía después de la aplicación de los principios de la biotecnología.

logía. Esto es posible porque el gen responsable de tolerar la condición de sequía en otro organismo fue transferido al genoma de nuestro cultivo deseado.

Los riesgos de la biotecnología

Los riesgos de la biotecnología han suscitado una controversia entre científicos. Por un lado, están quienes apoyan la siembra de organismos genéticamente modificados por sus ventajas para aumentar la productividad; por otro, los que alertan que puede traer daños irreparables al ambiente, destrucción o desaparición de algunas variedades de plantas. Según piensan algunos, uno de los límites que no deberían traspasarse es el de las barreras específicas. Por ende, la capacidad de insertar genes de una especie en otra ha concitado el rechazo de quienes se oponen a la manipulación de la naturaleza. Prevalece en este plano una creencia muy arraigada, conforme a la cual el cruzar las barreras específicas constituye un paso no natural, por lo que las especies vegetales o animales construidas con genes de otras, esto es, las especies transgénicas, son un invento peligroso. Sin embargo, no es una creencia del todo correcta, dado que el proceso de modificar, insertar y mezclar genes de diferentes especies ocurre de modo permanente en la naturaleza, aunque con escasa frecuencia y poco éxito reproductivo. Es un proceso del cual se han beneficiado los agricultores desde tiempos muy remotos; lo único que ha cambiado es la frecuencia y la precisión con que ahora es posible crear especies transgénicas. Muchas de las especies cultivadas, como el trigo, las papas, las calabazas, y las fresas, tienen un origen híbrido perdido en el pasado, lo que indica que el traspaso de las barreras genéticas específicas ha sido un fenómeno bastante común. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2014) ha establecido que las plantas modificadas genéticamente pueden contribuir a transformar la salud humana y el desarrollo, aunque desde luego esto tiene que darse con todo el cuidado y con todas las precauciones que una tecnología tan poderosa como esta genera. Por este motivo se ha instaurado la bioseguridad, la cual permite evaluar los riesgos, y determina qué tipo de legislación y regulación se requiere para que un proceso biotecnológico y un

producto modificado genéticamente lleguen al consumidor como alimento o como producto farmacéutico.

Los alimentos transgénicos

Es fácil definir qué es un alimento transgénico: es aquel en cuyo diseño se han utilizado técnicas de ingeniería genética. Este avance de la biotecnología permite modificar, eliminar o insertar genes dentro del ADN de un ser vivo de la misma especie o de otra, con uno u otro fin. Eso se conoce como manipulación genética, lo que da lugar a los organismos modificados genéticamente. Los alimentos transgénicos, o genéticamente modificados (OGM), tienen un ADN alterado usando genes de otras plantas o animales. Los primeros alimentos transgénicos que se han comercializado son vegetales comestibles que resisten el tratamiento con herbicidas o el ataque de distintas plagas. Se les conoce con el nombre de primera generación de transgénicos, y cubren casi la totalidad de los que ahora se comercializan. Han sido los primeros en desarrollarse porque dependen de un único gen y, por lo tanto, su generación es relativamente sencilla. Pero hay más alimentos y cultivos transgénicos en los que la modificación genética introducida afecta a las propiedades fisicoquímicas, organolépticas o nutricionales. Se han llevado a cabo en vegetales comestibles, en animales de granja y en microorganismos responsables de fermentaciones alimentarias. Algunos de ellos están afectados en propiedades fisicoquímicas, como por ejemplo el proceso de podredumbre. En este sentido se han conseguido tomates transgénicos que tienen disminuida la expresión del gen que codifica una enzima específica, consiguiendo una reducción de hasta 80% de la actividad, y un retraso considerable en la podredumbre del fruto. En ocasiones se han mejorado las propiedades organolépticas, como en el caso de la construcción de levaduras vínicas transgénicas que tienen mayor aroma afrutado. Esas técnicas, en general, tratan de introducir en los OGM alguna de las siguientes características:

- Resistencia a los insectos, incorporando a la planta un gen toxígeno, que requiere menos cantidades de insecticidas.

- Resistencia a determinados virus patógenos para los vegetales, con lo que aumenta el rendimiento de los cultivos.
- Tolerancia a ciertos herbicidas mediante la introducción del gen de una bacteria que confiere resistencia a las malezas, de modo que puede reducirse la cantidad de herbicidas empleada.

La novedad de esas técnicas biotecnológicas ha hecho que los OGM y los alimentos transgénicos hayan sido objeto de estudios mucho más meticulosos que los aplicados con anterioridad a cualquier tipo de alimento. Los partidarios de los OGM argumentan que tienen enormes posibilidades de reducir la hambruna y la malnutrición en los países subdesarrollados. En este sentido, uno de los apoyos más fuertes para los OGM ha surgido de Norman Borlaug, Premio Nobel de la Paz, quien inició la llamada “revolución verde”. Para Borlaug, “la oposición ecologista a los alimentos transgénicos es elitista y conservadora” y proviene de “personas que tienen la panza llena”. Ahora bien, donde más atractivo resultará el empleo de la ingeniería genética será en su uso para paliar los problemas de déficit nutricional presentes en muchos alimentos. Existen ya multitud de alimentos transgénicos mejorados en cuanto a su composición nutricional. Merece la pena comentar sobre el denominado arroz dorado. Se trata de un arroz transgénico en el que se han introducido tres genes que permiten que este cereal contenga β -caroteno lo que permitirá eliminar el problema crónico de avitaminosis en países pobres del Sudeste asiático y Latinoamérica donde la base de la dieta es el arroz.

Debate en torno a los alimentos transgénicos

Aunque se trata de un procedimiento controlado y la mayoría de las modalidades utilizadas para producir estos organismos están autorizadas, se ha suscitado un intenso debate entre quienes ven una mejora significativa y muchas ventajas, y quienes señalan los riesgos que estos productos podrían esconder. A esta discordancia se le añade el hecho de que ninguna ley obliga a los productores a indicar qué productos tienen modificaciones genéticas, aunque sí se conmina el señalarlo cuando un producto cuenta

con al menos 0.9% de algún transgénico. Otro argumento muy común, es el que afirma que la cría y el cultivo selectivos han sido una práctica constante desde hace miles de años, y ahora solo se ha llevado un paso más lejos. Además, por el momento no ha habido indicios de que los alimentos transgénicos tengan consecuencias de salud en las personas que los consumen. Sus detractores, por otro lado, apuntan a que el uso de estos productos se ha generalizado en muy poco tiempo sin que se pueda comprobar si los alimentos transgénicos tienen consecuencias a largo plazo, debido al impacto medioambiental y la pérdida de biodiversidad que suponen.

Las ciencias ómicas

El inicio del siglo xx generó un gran cambio en el concepto biológico de la especie humana. Después de casi dos siglos de dominio del naturalismo observador y contemplativo, se abrió paso la visión biológica del hombre. A partir de ahí empieza a desarrollarse el conocimiento científico con una velocidad que, a final de siglo y en la actualidad, puede considerarse vertiginosa. Fue un botánico danés, Wilhelm Ludvig Johannsen, quien a principios del siglo xx acuñó, por primera vez, el término *gen* para denotar la unidad física y funcional de la herencia biológica, y además también acuñó los términos de *genotipo* y *fenotipo* (Roll-Hansen, 1983). El entendimiento de cómo las variantes genéticas regulan el fenotipo de células, tejidos y órganos ocupará la investigación de este siglo XXI. Se calcula que existen unas 8 000 enfermedades hereditarias, pero hoy solo se pueden detectar unas 200 antes del nacimiento y existen test genéticos para otros pocos centenares. Para dar respuesta a estas preguntas que están más allá de los estudios genómicos se ha desarrollado lo que se conoce como *Post-Genómica*. Este término conlleva una nueva mentalidad en la que se plantea una visión global de los procesos biológicos, y se ve reflejada en el desarrollo de lo que se ha denominado como *la era ómica*. El sufijo “-oma” tiene origen latino y significa “conjunto de”. Es por tanto que, la adición de este sufijo a diferentes estudios en biología cubre las nuevas aproximaciones masivas en las que se está enfocando la biología recientemente. Así, dentro de esta categoría post-genómica se puede incluir la comparativa, la indivi-

dual, la proteómica, la transcriptómica y la metabolómica, entre otras. El desarrollo de todo este tipo de aproximaciones está inspirado en los estudios genómicos, y en la posibilidad de contar con herramientas y tecnologías que permitan y soporten el desarrollo de abordajes masivos propios de las aproximaciones “-ómicas”. Las ciencias *ómicas* generan oportunidades de innovación con la caracterización de nuevos productos biotecnológicos, por lo que la integración *multiómica* aporta conocimiento amplio y profundo sobre el mecanismo de acción y la biología del sistema. Para conocer bien las ciencias ómicas es imprescindible entender qué es la proteómica y la metabolómica.

La proteómica

Sin lugar a duda, el Proyecto Genoma Humano es uno de los acontecimientos científicos más destacados de este nuevo siglo. Pero la descodificación del genoma humano es solo la punta del iceberg. Lo más complicado e importante será conocer el papel biológico de las proteínas. La proteómica es una tecnología en desarrollo que investiga la estructura y función del conjunto de proteínas que conforman el proteoma. El término proteoma apareció en 1994 como un equivalente lingüístico del concepto de genoma. Describe el conjunto completo de proteínas que se expresan, según el genoma, y factores externos, durante la vida de una célula. El interés de la proteómica se centra en el conocimiento del conjunto de las interacciones entre proteínas para constituir la red de interacciones que caracteriza el funcionamiento de los organismos vivos. En otras palabras, la proteómica es el estudio del proteoma. Una de las diferencias fundamentales entre la proteómica y el estudio clásico de las proteínas es su carácter global. No se centra en el estudio de una determinada proteína, sino que consiste en una aproximación al funcionamiento del conjunto de proteínas, es decir su abundancia, estructura y funcionalidad. Muchas proteínas son enzimas que catalizan reacciones bioquímicas y son vitales para el metabolismo. Las proteínas también tienen funciones estructurales, mecánicas, de señalización celular, respuestas inmunitarias, adhesión celular.

La metabolómica

La metabolómica es el estudio de la totalidad o del conjunto de los metabolitos. Su nombre proviene de la unión de *metabo-*, para referirnos a metabolismo o metabolitos, y *-ómica*. La metabolómica cataloga y cuantifica a las moléculas pequeñas, productos del metabolismo primario o secundario, que se encuentran en los sistemas biológicos; estudia cómo cambian los perfiles metabólicos dentro de un organismo como respuesta a alguna situación, tal como enfermedades, o estrés. Los metabolitos son moléculas pequeñas y son el resultado de la actividad metabólica de las células, pero ¿qué células? ¡Todas las células! ¡Cualquier célula viva! Llamamos metabolitos a todas las moléculas que se producen durante la respiración celular, las reacciones de oxidación para obtención de energía y, en general, todas aquellas que forman parte de la actividad normal de una célula viva. A través de la metabolómica es posible discriminar el origen de las muestras agrícolas e incluso evaluar agentes adicionados, como son los pesticidas y fertilizantes, que se utilizan en los procesos productivos. Además, se pueden diferenciar diversas variedades de valor comercial en el caso de productos herbolarios, así como detectar fraudes en muestras adulteradas. Este tipo de análisis de frontera permite identificar la presencia de biomarcadores, es decir, de compuestos que se correlacionan con algún tipo de enfermedad, de toxicidad, o bien, las variaciones genéticas o los cambios indeseables sufridos por las plantas durante su crecimiento o procesamiento.

La nutrigenómica

La nutrigenómica es una ciencia que busca dar una explicación molecular al modo en que los productos químicos ingeridos por la dieta pueden impactar el estado normal de salud, al alterar la estructura de la información genética. Existen dos vertientes de la nutrigenómica:

- La que estudia el efecto de ciertos nutrientes sobre la regulación de la expresión genética,

- La que analiza la respuesta de la estructura genética particular del individuo a ciertos nutrientes.

Por ejemplo, se sabe que el té verde es saludable por sus efectos antioxidantes, pero es posible que haya personas con configuraciones en su ADN que hagan que no se beneficien de sus propiedades. Existen genes que se relacionan directamente con el riesgo de contraer enfermedades, y se conoce que la expresión de esos genes puede ser modificada por la nutrición. Todos llevamos alguna versión de esos genes, de modo que es perfectamente posible investigar cuáles son las versiones de genes que tenemos y basar nuestra dieta en esa información. La nutrigenómica, asimismo, proporciona un método rápido para evaluar el régimen nutricional de una especie determinada, por lo que podemos mejorar la salud de los animales, ahorrar costos al productor y reducir el impacto que los gases y excrementos que animales como las vacas o los cerdos tienen sobre el medioambiente.

Alimentación para el cerebro

Los datos paleontológicos sobre la evolución del hombre reflejan que hace aproximadamente 1.8 millones de años con la aparición del *Homo erectus*, se identificó que la variedad y riqueza de la dieta de este se dirigía al cerebro. El cerebro humano absorbe de 20 a 27% de la tasa metabólica corporal total, por lo que obviamente, el estado nutricional tiene un papel importante en la salud mental. “Hay que comer para vivir y no vivir para comer” es una referencia de Sócrates que luego inspiró a Molière en su obra *El avaro*. ¿Qué sabemos de la alimentación para el cerebro? ¿Cómo podemos cuidar y mantener las neuronas en buen estado de salud según el alimento que se ingiera? La glucosa es el nutriente energético que preferentemente el cerebro utiliza, de ahí que resulte esencial mantener estable la glucemia. Los hidratos de carbono que aportan los alimentos son la fuente principal de glucosa. En caso de que el cerebro no reciba este aporte, activará el metabolismo para accionar su función. La sustancia señalada como imprescindible en toda dieta cerebral es el omega 3 que se puede

encontrar en los pescados grasos y en algunos aceites vegetales como el de lino, nuez y soya. Algunos biólogos señalaron que la introducción del pescado en la dieta del hombre ayudó al desarrollo de su cerebro en la evolución. Las proteínas son las encargadas de aportar aminoácidos que ayudan al buen funcionamiento neurotransmisor. Las neuronas son las únicas células que no pueden convertir las proteínas y la grasa en energía, así que necesitan el azúcar en forma de glucosa para funcionar. Pero el exceso significaría la degeneración del cerebro y la escasez imposibilitaría el buen funcionamiento cerebral, así que, hay que encontrar el equilibrio perfecto.

Futuras fuentes de proteínas

Hoy en día se exploran nuevas fuentes de proteínas, pues estas se consideran el nutriente principal para el futuro. Ya existe una amplia gama de fuentes vegetales de proteínas presentes en el mercado como las semillas de chía, las de cáñamo o la quinua. Pero a medida que crece la demanda, los científicos están investigando y desarrollando alternativas de proteínas más saludables y económicas, para conseguir un suministro de alimentos más sostenible. Partiendo de todo lo anterior, el Fondo Mundial para la Naturaleza, con la colaboración de una marca alimenticia, publicó un informe en el que agrupaba en once categorías los que a su juicio serán los 50 alimentos del futuro (citado en “¿Qué comeremos?”, s/f):

- Algas: laver y wakame.
- Legumbres: haba, lenteja, adzuki (o soja roja), mung (o soja verde), *Vigna subterranea*, *Vigna unguiculata*, frijol marama, frijol negro y frijol de soja.
- Cactus: nopal.
- Cereales y granos: quinua, arroz integral, trigo sarraceno, trigo khorasan, trigo espelta, mijo africano, mijo fonio, amaranto y teff.
- Frutas y verduras: flor de calabaza, okra y tomate naranja.
- Hortalizas: betabel, grelo, kale, moringa, pak-choi, calabaza, col morada, espinaca y berro.
- Setas: enoki, maitake y níscolo.
- Semillas: linaza, cáñamo, ajonjolí y junglans.

- Raíces: raíz de perejil, salsifí negro y rábano blanco.
- Brotes: alfalfa, habas y garbanzos germinados.
- Tubérculos: raíz de loto, ube, jícama y camote.

Los insectos

El consumo de insectos no es nuevo, lo que sí es una novedad es la cría de insectos específicamente para consumo humano y animal, de modo que se pueda tener durante todo el año un suministro de mayor calidad de insectos que permita satisfacer la creciente demanda de proteínas animales. Dado que la producción cárnica es muy ineficiente (en términos de recursos consumidos) y muy contaminante, se pretende reducir la dependencia de esta en la alimentación. ¿Cómo? Los insectos aparecen como la primera opción. Si se hace un ejercicio de imaginación para visualizar a nuestros antepasados homínidos, en la prehistoria recogían y consumían insectos para saciar su hambre. Seguramente esas imágenes no resulten muy estimulantes, e incluso causen cierto rechazo. Ese mismo efecto lo produciría el vernos comer animales como el pollo, la vaca o el cordero cuando todavía están vivos. Y esa no es una razón de peso para que no se consuma carne de forma habitual. Se pretende que este argumento contribuya a cambiar, aunque sea muy sutilmente, la imagen que se tiene de los insectos comestibles y de su ingesta en el consumo humano. Actualmente se consumen en el mundo más de 2 000 especies distintas de insectos: la mayoría son escarabajos (31%), seguidos de las orugas (18%) y las avispas, abejas y hormigas (14%), y después estarían los saltamontes y los grillos; esta clasificación cambia cuando hablamos de los insectos que más se utilizan en la producción de harina de insectos, utilizadas en la alimentación de animales; donde la harina de grillo y la de gusano, son las más producidas. Todo lo anterior debe provocar la progresiva aceptación de los insectos comestibles por parte de la sociedad. Especialmente, en los países desarrollados, ya que muchos de África, Asia y Latinoamérica llevan siglos alimentándose de ellos. Más de 2 000 millones de personas en todo el planeta comen insectos a diario, como fuente fundamental de su alimentación. Esta cifra debe hacernos tomar conciencia de que lo que puede causar rechazo, es

una realidad y una necesidad para muchísimos seres humanos (véase Figura 19).

Es cierto que comer insectos se está convirtiendo en una tendencia en algunos países desarrollados, pero esto no es ninguna novedad: hay muchos países en los que ha sido y es común esta práctica. Por razones de salud y medioambientales comer insectos es cada vez más popular entre aquellos que buscan seguir comiendo proteínas y eliminar de su dieta los productos animales. El consumo de insectos aporta al ser humano entre 13.4 y 33.4% de grasas buenas, sobre todo de ácidos grasos poliinsaturados; son ricos en minerales como el hierro, en calcio y en algunas vitaminas. En este aspecto, se pueden comparar con la mejor carne de vacuno. Otro beneficio nutricional de los insectos es su contenido en vitaminas y minerales, como calcio, fósforo, magnesio y vitamina B₂. La gran aportación de los insectos es, sin duda, el de las proteínas: está demostrado que medio kilo de abejas, ofrecen las mismas proteínas que medio kilo de carne de vacuno. Si tenemos en cuenta la cantidad proporcional de comida que necesita una especie y otra, nos da una idea clara de la diferencia de rendimiento entre ellas y por ello la cría en granjas de insectos se está empezando a convertir en una alternativa del futuro.

FIGURA 19. *Insectos comestibles*



Las medusas

Se señala que algunas especies de medusas son una fuente de alimentos en diversos países, también se apuesta por usarlas en productos médicos, el descubrimiento de una con el nombre científico de *Turritopsis nutricula*, es capaz de revertir el proceso de envejecimiento. Se está haciendo una campaña para apoyar su ingesta pues se ha comprobado que, en su composición, tiene una alta concentración en colágeno, una sustancia que ayuda a que la piel no pierda elasticidad, y las articulaciones resistan mucho más el paso del tiempo. La medusa es una excelente fuente de selenio, un mineral esencial que juega un papel importante en varios procesos importantes en el cuerpo. Se ha demostrado que tiene propiedades antioxidantes, protegiendo sus células del estrés oxidativo. Además, el selenio es importante para el metabolismo y la función tiroidea. Muchos científicos también las estudian para darle otro tipo de utilidad. La sobrepesca, que elimina a los principales depredadores marinos, es uno de los factores detrás de la proliferación de medusas, cuya presencia ha aumentado de forma repentina. Las medusas son ya abundantes en casi todos los

FIGURA 20. *Medusas comestibles*



océanos del mundo, lo que lleva a algunos expertos a hablar de un cambio de régimen global, de un océano de peces a otro sustituido por medusas (Figura 20).

Algas

Existen dos factores por los cuales las algas han ganado interés en su empleo: son un alimento nutritivo y sostenible, también versátil en términos de las aplicaciones en varias industrias tales como la farmacéutica y cosmética, sin olvidar que se adicionan a la comida de los animales. Desde el punto de vista nutricional otro factor importante es el de aportar minerales (calcio, hierro, yodo, potasio y selenio) y vitaminas (particularmente A y C). El yodo es uno de los minerales estrella de las algas, se trata de un oligoelemento imprescindible para el metabolismo energético de las células. La principal fuente de yodo en la dieta omnívora son los alimentos de origen marino, como el pescado y el marisco. Las algas son la alternativa vegetariana y vegana. Añadiendo solo pequeñas dosis de algas a la dieta habitual, se tendrán cubiertas las necesidades diarias de yodo, lo que es importante para favorecer una síntesis adecuada de hormonas en la glándula tiroidea. Las algas también contienen omega 3 y son fibras muy solubles. La adición de algas en la dieta animal, particularmente el ganado, puede reducir las emisiones de metano drásticamente (hasta 80%). Algunas variedades de algas no solo crecen muy rápido, sino también su cultivo no requiere fertilizantes, degradación de la tierra o deforestación. Adicionalmente las algas proveen un buen número de beneficios ambientales, pues combaten la acidificación de los océanos ya que atrapan el dióxido de carbono (unos 200 millones de toneladas al año), y cuando mueren, gran parte del carbono atrapado se hunde en el océano. También previenen la eutrofización y son refugio para varias especies de peces, contribuyendo a la diversidad de la vida marina.

Legumbres

Las legumbres existen desde hace millones de años y su domesticación podría ser más antigua que la del maíz. Están extendidas por todo el planeta, incluyendo regiones con climas extremos de calor y frío. Representan la principal fuente de proteínas vegetales en muchos países, a diferencia de otras plantas mejoran con sus propiedades la tierra en la que se cultivan y su versatilidad gastronómica ha dado lugar a un sinnúmero de recetas deliciosas en cualquier continente. Su amplia implantación geográfica, sus completas cualidades nutricionales, unas necesidades hídricas que suelen estar localizadas al inicio de su crecimiento, la singular capacidad de aportar nitrógeno a su tierra de cultivo y la posibilidad de conservarse en seco similar a la de los cereales, convierten a las legumbres en un enemigo implacable contra el hambre y la desnutrición a nivel planetario, en un verdadero superalimento de futuro. Además de tratarse de productos con una enorme diversidad nutricional, sus características únicas le confieren un lugar de privilegio en la agricultura sostenible. Por otro lado, los proyectos de biofortificación para incorporar un mayor número de micronutrientes en ellas y elevar su resistencia a enfermedades e inclemencias climatológicas, han dado excelentes resultados. Se trata de productos que han acompañado al ser humano en su desarrollo agropecuario desde la prehistoria y se cuentan entre las primeras plantas domesticadas del globo. Desde el punto de vista nutricional, las legumbres contienen el doble de cantidad de proteína que los cereales de grano entero, el triple que el arroz y abundan en minerales como el hierro, el potasio, el magnesio y el zinc.

Cultivos celulares

Durante la última década, ha habido una revolución “genómica” que ha permitido la exploración, manipulación y “diseño” de los sistemas biológicos, gracias a la disponibilidad de las secuencias de los genomas de un gran número de especies (incluidos los cultivos más importantes) y la implementación de nuevas tecnologías que generan y analizan grandes volú-

menes de datos biológicos (herramientas de biología computacional y genómica). Los usuarios de los recursos fitogenéticos y los tecnólogos encargados de la mejora genética vegetal están aprovechando estas nuevas capacidades de análisis de los sistemas biológicos para aumentar significativamente la eficiencia y la eficacia de sus esfuerzos para conservar, descubrir y utilizar cualidades novedosas (genes) de las especies de interés agroalimentario. Las variedades locales suelen tener, un alto contenido de compuestos bioactivos que se consideran beneficiosos para la salud, y que a menudo se encuentran en concentraciones más bajas en las variedades comerciales. El uso de estos recursos genéticos representa una oportunidad para el sector agrícola en términos de preservación de la biodiversidad, sostenibilidad ambiental y valorización de los productos finales. En 1932, Winston Churchill (1952) decía:

Con un mayor conocimiento de las llamadas hormonas, es decir, los mensajeros químicos de la sangre, será posible controlar el crecimiento. Escaparemos del absurdo de criar un pollo entero para comer la pechuga o el ala, creciendo estas partes por separado en un medio adecuado.

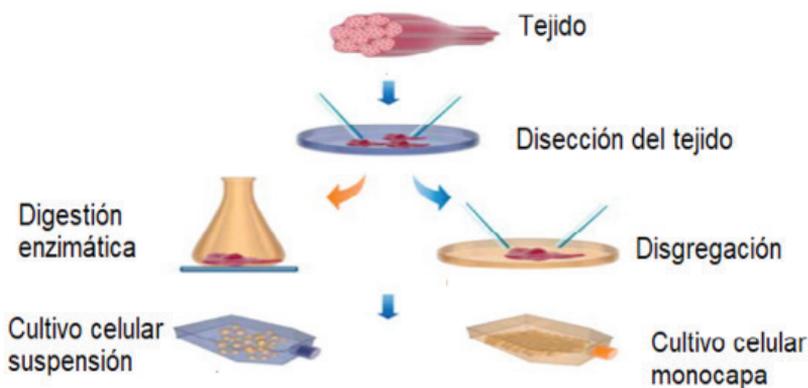
Después de décadas de estudios de investigación y desarrollo, la tecnología ha madurado lo suficiente, y la idea de Churchill es hoy una realidad. La producción se puede llevar a cabo cultivando *in vitro* células de animales y luego procesándolas en productos cuya composición es equivalente a la de los animales (véase Figura 21). La agricultura celular es una tecnología emergente en la cual los alimentos se obtienen a partir de cultivos celulares en lugar de emplear organismos enteros (plantas o animales). Estos cultivos celulares pueden ser de origen animal o vegetal, o bien, ser simplemente células individuales como las bacterias y levaduras. Los cultivos celulares se usan para producir, por ejemplo, carne, y los productos son conocidos como celulares. En cambio, el uso de células como las bacterias y levaduras son usadas como fábricas para producir proteínas que solamente se encuentran en los animales, como la caseína y ovoalbúmina. La insulina animal, aun cuando no es usada como un alimento, se considera el primer producto de la agricultura celular. La insulina se obtenía del páncreas de los cerdos. En 1978 se insertó en una bacteria el gen que codi-

fica para la insulina humana. Ya que el código genético es universal, la bacteria sintetizó la insulina con una secuencia y función idéntica a la que fabricamos los humanos, y la cual es usada por personas que sufren diabetes.

Productos celulares

La producción de carne a base de células de vacas, borregos, aves y mariscos implica nuevas tecnologías que ayudan a producir directamente solo las partes de los animales que las personas prefieren consumir, en lugar de obtenerlas de animales enteros. A través de la producción *in vitro* de tejido muscular, graso y conectivo, los productores pueden crear productos alimenticios que asemejan el sabor, la textura, los atributos nutricionales y culinarios de sus contrapartes convencionales. Ha sido fundamental el hallazgo de que, además de las células madre estén presentes en los tejidos embrionarios (responsables del desarrollo del embrión), éstas también existen en tejidos de individuos adultos. Estas células madre son las responsables de la regeneración cuando el tejido sufre algún tipo de trauma que provoca la pérdida de las células que lo componen. Las células madre, sin embargo, se hallan en muy escaso número en tejidos de individuos adultos, y a diferencia de las de origen embrionario, tienen una capacidad

FIGURA 21. Esquema general de la metodología para la obtención de un cultivo celular primario

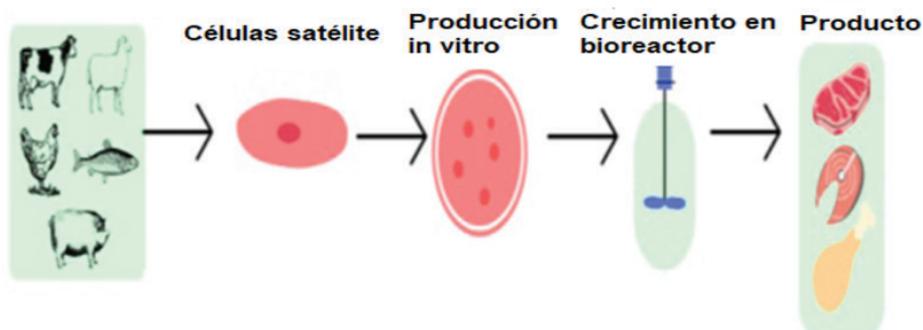


de replicación limitada. Más allá de estas limitantes, en cualquier individuo sano es posible identificar precursores de células del músculo esquelético (llamadas “células satélites”), así como también de otros tejidos (hueso, cartílago, grasa, tejido fibroso) con los cuales comparten un mismo origen embrionario. Los elementos de partida para producir carne a base de células son mioblastos (células satélites). Para facilitar la replicación de las células satélite del músculo esqueléticos *in vitro*, estas se unen a un sustrato inmóvil, como un andamio. Para continuar, los mioblastos o células satélites se cultivan en un medio rico en nutrientes, exclusivo de la fase de proliferación y la fase de diferenciación, así como productos para prevenir la contaminación. La ampliación del cultivo de células musculares se realiza en grandes biorreactores a escala industrial, y en estos se recolectan tiras de músculo, se procesan y se agregan varios compuestos para mejorar el valor nutricional, el sabor, el color y la textura. La producción de un corte de carne específico (por ejemplo, bistecs, chuletas o asados) requiere tecnología adicional para organizar las células musculares en la forma y estructura correctas (Figura 22).

Escalamiento de productos celulares

El desafío técnico más importante es el escalamiento. En pequeña escala es más simple reproducir los requerimientos nutricionales y metabólicos que lleven a la multiplicación y diferenciación de las células satélites, así como

FIGURA 22. Esquema de producción de alimentos a partir de células madre



la arquitectura espacial requerida para la conformación de las hebras. Entre otros ejemplos, puede mencionarse la limitación en la disponibilidad de oxígeno para las células musculares en cultivo. Otro requerimiento relacionado con el escalamiento es la disponibilidad de grandes cantidades de todos los componentes (aminoácidos, vitaminas, hormonas, etc.) necesarios para la producción *in vitro* de las células y que estas sean obtenidas, por métodos extractivos, como productos sintéticos o recombinantes, pero sin necesidad de recurrir a componentes de origen animal.

Para obtener un kilo de carne de laboratorio deben producirse aproximadamente 50 000 millones de células fuera del animal, replicando *in vitro* la formación de fibras musculares, que luego se procesan formando hebras musculares. Unas 20 000 de estas hebras son las que componen una hamburguesa de tamaño regular (véase Figura 23). Los productos provenientes de la agricultura celular contienen grandes concentraciones de las proteínas fermentadas, las cuales constituyen el componente principal del producto final. Por ejemplo, un producto que mimetiza a un huevo blanco debe producir por lo menos un 10% de proteínas, el resto puede estar compuesto de azúcares y grasas que mimetizan la textura, sabor y conteni-

FIGURA 23. Hamburguesa de laboratorio



do nutricional de su contraparte producida por el animal. El concepto de producción de carne basada a partir de plantas no es un desarrollo moderno, la frecuencia y variedad de carne de origen vegetal se ha incrementado en los últimos siglos. Sin embargo, muchos de los productos susceptibles de emplearse en este proceso fueron etiquetados para el consumo como vegetales. Las carnes de origen vegetal originalmente no trataban de replicar exactamente o mimetizar la carne convencional. Es mucho más reciente, la preocupación respecto a la sustentabilidad, seguridad alimentaria y los impactos ambientales y salud, que han generado un sentido de urgencia en desarrollar este tipo de productos que aparentemente son bien aceptados por las sociedades modernas.

Carne de origen vegetal

Se sabe que la carne animal está formada fundamentalmente de tejido muscular, que no poseen las plantas. De forma simple se sabe que la carne animal contiene proteínas, grasas, vitaminas, minerales y agua. Si bien es cierto que las plantas no tienen músculos, sí poseen proteínas, grasas, vitaminas, minerales y agua, y emplean la semejanza bioquímica entre ellas y los animales. Por cada proteína, lípido o compuesto funcional de las docenas que existen en un animal, se puede encontrar en la naturaleza materia prima para hacer análogos a ellas, por tratamiento biológico o químico de un ingrediente de las plantas. La distribución espacial con que se disponen las proteínas en el tejido muscular crea las distintas texturas de la carne animal. La carne desmenuzada tiene una textura más simple que es más fácil de replicar que un pedazo grande de carne en la cual el tejido muscular está intacto, por lo que hay retos tecnológicos mayores a resolver para mimetizar un trozo grande de carne. El método general que se emplea para producir carne de origen vegetal involucra tres pasos primarios:

1. En primer término, se crecen los cultivos que serán la materia prima.
2. Se descartan aquellas partes de la planta no deseables, con lo cual se tienen en esta etapa las proteínas, grasa e ingredientes de fibra que serán la base final del producto.

3. Finalmente, se agrupa la mezcla de ingredientes y se lleva a la manufactura, pudiéndose emplear como sustitutos alternativos de las proteínas a las microalgas.

Recientemente, los guisantes y las papas se visualizan como futuros candidatos para producir carne de origen vegetal; aunque estos cultivos se realizan con el propósito inicial de producir harina, se puede extraer, previamente, la composición de proteínas para luego proseguir con la obtención de la harina.

Productos de pescado

El concepto de producir mariscos a partir de cultivos de células y tejidos de peces es muy interesante, ya que se pueden combinar principios de ingeniería biomédica con técnicas modernas de acuicultura. Para realizar la tarea se requiere la optimización de líneas celulares, formulación de medios y diseño de biorreactores. Asimismo, se toma en cuenta que los pescados pueden tener hasta tres tipos de músculos. Un aspecto importante es que los cultivos de células marinas son más tolerables a la temperatura, pH y requisitos de oxígeno en comparación con los cultivos de células de mamíferos relacionado con las características del tejido muscular en peces.

Productos acelulares

Los productos acelulares están hechos de moléculas orgánicas, ya sea proteínas y grasas, y no contienen material celular o vivo en el producto final. Es decir, utilizan organismos o parte de ellos para la obtención de un producto, por ejemplo: levaduras, hongos, bacteria, etcétera. Para la producción de los compuestos acelulares se usa la ingeniería genética, que permite aislar y manipular el ADN para introducirlo a células u organismos pluricelulares. Gracias a esta tecnología es posible modificar el contenido genético de células y organismos. Los productos acelulares se obtienen en procesos

similares a la fermentación tal como en el caso de vinos y quesos. Dos ejemplos importantes acerca de la fabricación de productos acelulares son la caseína y albúmina. La producción se lleva a cabo en fermentadores, se “cosechan” las células y concentran o purifican la caseína y albúmina. Estas proteínas, posteriormente, son mezcladas con otros ingredientes para obtener cremas, helados, clara, productos para panificación, etcétera. Por otro lado, la vainilla es un compuesto utilizado en la industria alimentaria, también se utiliza en fragancias y productos farmacéuticos y polímeros, la cual se considera un producto acelular. Debido a que la mayoría de las proteínas alimenticias producidas por fermentación son enzimas, típicamente están presentes en el producto final. La función de las enzimas como catalizadores implica que una sola molécula puede llevar a cabo una reacción en repetidas ocasiones, por ejemplo, convertir 100 moléculas de almidón en azúcar, en una hora. Por lo tanto, las enzimas que se emplean en el procesamiento de alimentos están presentes en proporciones que oscilan entre 0.1 hasta uno por ciento.

Nanotecnología en los alimentos

La ciencia y la tecnología a escala nanométrica prometen estar entre los campos de mayor innovación durante largo tiempo. La nanotecnología permite controlar y modificar la materia y los sistemas a escala nanométrica con el objetivo de modificar significativamente sus características respecto de las observadas a escala macroscópica. Las dimensiones a *nanoescala* se definen en rango de 1 a 100 nm aproximadamente, siendo el tamaño el parámetro clave para identificar un nanomaterial (NM). El prefijo *nano* es de origen griego y significa diminuto, enano, pequeño, y se utiliza en el Sistema Internacional de Unidades para indicar un factor de 10^{-9} ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$). Los NM difieren en sus propiedades físicas, químicas o biológicas de las sustancias a escala normal. Estos cambios se deben a su tamaño pequeño combinado con la energía superficial, dada la cantidad de átomos en la superficie externa del material y la cantidad reducida en el interior. Por otra parte, los electrones del material se distribuyen en distintos niveles energéticos generando una estructura electrónica diferente a la

original, apareciendo fenómenos cuánticos que modifican las propiedades eléctricas, ópticas y magnéticas del sistema. La nanotecnología ofrece importantes oportunidades para el desarrollo de productos innovadores y de aplicación en producción, procesamiento, preservación y envasado de alimentos. La disponibilidad de productos alimenticios derivados de la nanotecnología ha aumentado notoriamente. La nanotecnología es una actividad productiva y económica, con bajos requerimientos para su implementación. Se ha propuesto que en la industria alimentaria actual y del futuro existan dos dimensiones o ejes fundamentales relacionados entre sí:

- El eje de la **cadena alimentaria**, que se inicia con la producción de la materia prima y finaliza con el envasado y la distribución del producto.
- El eje del **consumidor**, a quien debe considerarse integralmente.

Actualmente, al consumidor no solo le interesa el aporte y biodisponibilidad de los nutrientes, sino también el efecto positivo que se logra al consumir un alimento (saciedad, control de peso, sensaciones agradables por la ingesta, salud, etc.). Los NM utilizados en alimentos se clasifican en 3 grupos diferentes:

- **NM orgánicos:** lípidos, proteínas y polisacáridos; utilizados para encapsular vitaminas, antioxidantes, colorantes, saborizantes y preservadores; formando micelas, liposomas o nanoesferas. Tienen la ventaja de permitir mayor ingestión, absorción, biodisponibilidad y estabilidad en el organismo.
- **NM combinados orgánico/inorgánico:** son agregados a una matriz por funcionalidad específica (antimicrobianos, antioxidantes, reguladores de permeabilidad y rigidez).
- **NM inorgánicos:** son metales y óxido de metales, nanopartículas de plata, hierro, selenio, óxido de titanio; utilizados como aditivos, suplementos alimentarios o en el envasado.

La nanotecnología puede ser utilizada para preparar alimentos innovadores e incorporar nuevos ingredientes y aditivos con funcionalidad determinada, ya sea como antimicrobianos, antioxidantes, mejoradores de textura y enmascaradores de sabor. Además, se puede pensar en aplicarla

al diseño de un alimento con perfil nutricional específico que responda a las necesidades del individuo según sus requerimientos nutrimentales y de salud (alergias, enfermedades crónicas), o preferencias; o bien en la elaboración de alimentos interactivos que liberen colores y sabores de acuerdo con la demanda del consumidor. Actualmente se comercializan suplementos dietéticos destinados a la alimentación, el deporte y al mercado de alimentos saludables. Paralelamente, hay publicados numerosos artículos científicos relacionados con la temática, la cual continúa bajo estudio debido a su potencialidad.

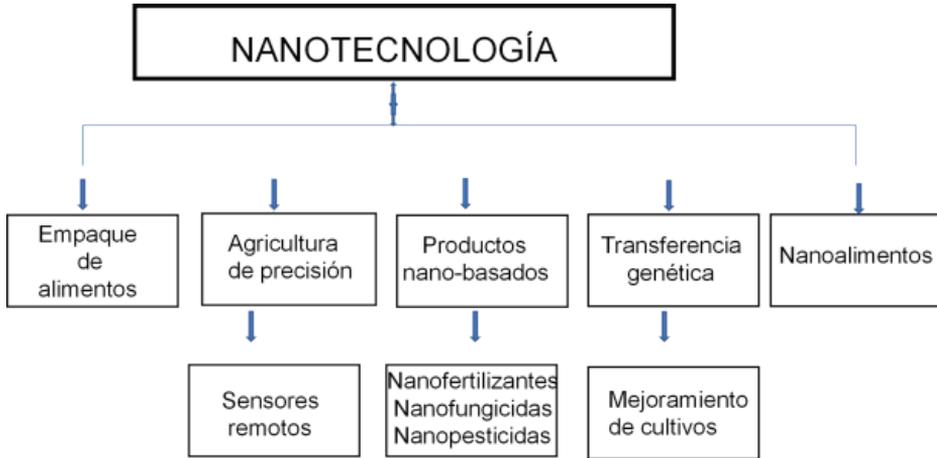
Envasado de alimentos

El principal objetivo del envasado es asegurar la protección y preservación de la calidad del alimento desde el momento de su producción hasta llegar a manos del consumidor. Un envase es un elemento contenedor, facilitador del transporte y la manipulación. Actualmente, la incorporación de nanodispositivos al envasado busca mejorar sus funciones, utilizándose los nanocompuestos como material de envases o recubrimientos. De esta forma, se puede controlar el intercambio de gases, temperatura, humedad, flexibilidad, resistencia mecánica y térmica. En general, los nanocompuestos no producen cambios de densidad o fluidez de la película, ni modificaciones en su transparencia, y tienen la ventaja de ser reciclables, reducen la contaminación ambiental. Admiten la incorporación de compuestos antimicrobianos, antioxidantes, absorbedores de O_2 y vapor de agua, además de detectar y dar información relevante acerca del alimento (frescura, temperaturas de abuso, entre otros).

Nanosensores

La nanotecnología ha surgido como un avance tecnológico-científico que puede transformar sectores de la agricultura proporcionando herramientas novedosas para la detección molecular de estrés biótico y abiótico (véase Figura 24), así como para la detección rápida de enfermedades fitopató-

FIGURA 24. Aplicaciones de la nanotecnología



genas y el mejoramiento en la capacidad de las plantas para absorber el agua, los nutrientes y los pesticidas.

Además de esto, la nanobiotecnología también puede mejorar nuestra comprensión de la biología de los cultivos y, por lo tanto, potencialmente puede incrementar sus rendimientos o valores nutricionales. Los nanosensores pueden aplicarse como indicadores, etiquetas o recubrimientos para adicionar una función inteligente al envase a fin de detectar cambios en el pH, composición gaseosa, liberación de componentes debido al deterioro, falta de integridad del envase, indicadores de variación de temperatura, tiempo o de seguridad microbiana. Además, pueden integrarse a los equipos durante el procesamiento o el almacenamiento en góndolas o cámaras de refrigeración, evitándose el contacto directo de las nanopartículas con los alimentos, y tienen gran aplicación en el campo de la seguridad alimentaria detectando patógenos, micotoxinas o alérgenos. También permiten realizar el control ambiental, además de ser utilizados en la agricultura para detectar pesticidas en frutos, hortalizas y agua. La nanotecnología tendrá un potencial de aplicación increíble en el sector alimentario a lo largo de la cadena alimentaria priorizando los requerimientos del consumidor.

Desventajas de los nanosensores

En la actualidad hay numerosos productos que se ofrecen en el mercado, especialmente aditivos y materiales de contacto con los alimentos, siendo consumidos, generalmente, ignorando su presencia. Uno de los principales problemas de seguridad radica en el desconocimiento del impacto que tienen al ingresar y acumularse en el organismo. Las nanopartículas pueden ser ingeridas en forma directa, al ser incluidas intencionalmente en el alimento como aditivos, complementos, restos de pesticidas, o bien liberadas por contacto con el material de envasado o migración de este. Si bien las nanopartículas tienen propiedades excepcionales que afectan las células microbianas, o incrementan la biodisponibilidad de los bioactivos, podrían ser citotóxicas para las células humanas o causar procesos inflamatorios debido al estrés oxidativo. Por este motivo, es indispensable realizar una correcta evaluación de los riesgos de toxicidad de los nanomateriales a utilizar, y contar con un marco legislativo específico que regule esta tecnología.

Impresión 3D de alimentos: ¿la revolución de la cocina?

Son muchos los laboratorios que han desarrollado equipos capaces de imprimir todo tipo de pastas alimenticias con las formas deseadas. Pero la verdadera revolución de la impresión 3D de comida va más allá, y reside en la posibilidad de imprimir platos completos, que la propia máquina pueda incluso cocinar. Los primeros resultados de la impresión 3D de alimentos no fueron muy espectaculares. Los objetos impresos estaban hechos de una pasta de azúcar y a menudo no eran muy apetitosos para el consumo. Pero el desarrollo de la tecnología ha ayudado a perfeccionar el proceso para que ahora se pueda imprimir en 3D, chocolate, dulces o incluso una comida completa. Una de las principales ventajas es, sin duda, la libertad de diseño, que ya se utiliza ampliamente en otros sectores: las impresoras 3D pueden crear formas muy complejas, que difícilmente se

pueden lograr con los métodos convencionales. Todo lo que necesita es hacer que la comida se pueda extruir. La pasta alimenticia se carga en un recipiente con forma de jeringa y se empuja a través de una boquilla hacia un plato o plataforma de construcción.

El futuro de la impresión 3D de alimentos

Pero, ¿cuál es el futuro de la impresión 3D de alimentos? La impresión 3D es una tecnología relativamente nueva, aún tiene un largo camino para ser completamente democratizada. Si se come algo de los fabricantes de alimentos, prácticamente todo empaquetado en la tienda de comestibles, significa que ya está uno comiendo alimentos impresos en 3D. La comida se lleva a través de una máquina y en un molde. Sin embargo, con la impresora 3D, tiene uno la decisión en cuanto a qué alimentos utiliza (véase Figura 25). Aunque es necesario cocinar la comida por separado después de la impresión, actualmente el trabajo se centra en el uso de láseres para cocinar alimentos durante la impresión 3D. Adicionalmente se están in-

FIGURA 25. Diferentes "tintas" de alimentos a imprimir en 3D



vestigando diferentes láseres para alimentos que se combinarían con la impresión 3D. Se centra en los láseres azules e infrarrojos. Mientras que el láser azul causa una cocción generalizada, el láser infrarrojo se centra en la cocción de la superficie, en combinación estos dos podrían producir un resultado perfecto. Sin embargo, el software que se encuentra detrás requiere un alto grado de control y precisión para moderar la velocidad y la temperatura de cada láser mientras se combina con la impresión 3D. Tanto la tecnología como las personas, aún no están listas para tener una impresora de alimentos en 3D en la cocina, pero para quienes estén realmente interesados, es solo una cuestión de tiempo.

¿Cuáles son las desventajas de la impresión 3D?

En la impresión 3D normal, hay dos componentes clave: fiabilidad y velocidad.

- **Fiabilidad:** desea que cada impresión 3D sea tan precisa como la última. Con la impresión 3D de alimentos, se pueden lograr las tolerancias necesarias. Pero el resultado, generalmente, es limitado en la textura, a menos que pueda imprimir en 3D estructuras frágiles con azúcar.
- **Velocidad:** en general, la impresión 3D de alimentos todavía es demasiado lenta para la producción en masa.

Agricultura urbana

Una ciudad de 10 millones de habitantes debe importar 6 000 toneladas de alimento por día, que viajan en promedio 1 500 kilómetros. Las implicaciones ecológicas de dicho sistema alimentario, en términos de uso de energía y emisiones de gases de invernadero, son enormes, y su vulnerabilidad es obvia si se produjera una interrupción importante de la distribución de alimentos. Dado este escenario sombrío, la agricultura urbana (AU) se enarbola como una alternativa para mejorar la seguridad alimentaria en un planeta urbanizado. Se argumenta que la producción de frutas

frescas, verduras y productos de origen animal en ciudades, puede mejorar la seguridad alimentaria y la nutrición locales, especialmente en las comunidades marginadas. La agricultura urbana y periurbana existe en el mundo desde tiempos inmemoriales, pero durante el siglo xx, con el incremento de la población urbana, fue alcanzando un gran progreso, tanto en países desarrollados como en los subdesarrollados, si bien no por igual en todos ellos, en dependencia de factores sociales, económicos y productivos. Aunque se ha estimado que la AU puede proporcionar entre 15 y 20% de los alimentos globales, una pregunta persiste: ¿qué nivel de autosuficiencia alimentaria pueden obtener las ciudades a través de la AU? Se calcula que para proporcionar 300 g/día per cápita de verduras frescas, 51 países tendrían un área urbana insuficiente para cumplir con este objetivo nutricional. Además, la AU requeriría que 30% del área urbana estuviera disponible para satisfacer la demanda mundial de verduras, algo difícil dado los problemas de acceso a la tierra y al agua, y a la expansión urbana. Para ello es crucial reducir drásticamente las pérdidas y el desperdicio de alimentos, que son especialmente elevados en las zonas urbanas. Esto incluye medidas como la redistribución de alimentos no utilizados y aún comestibles, y el uso de los desechos como abono o para generar energía.

Parques agrícolas

Mucho se dice acerca de la agricultura periurbana, su contexto y los modelos agrícolas convencionales; sin embargo, queda pendiente resolver cómo podrían protegerse los suelos productivos, tipificándolos según su aptitud para un uso específico y privilegiando la producción de alimentos sanos y de cercanía, en vez de priorizar el crecimiento en extensión de una ciudad sin límites. La implementación de un parque agrario puede convertirse en una estrategia de gestión ambiental interesante que pone un nuevo orden entre lo territorial y lo productivo, y que tiene múltiples beneficios. Los parques agrarios sirven para alimentar a las ciudades de cercanía, organizar la productividad, formar empleo digno y calificado, generar arraigo y respeto por las culturas ancestrales, de manera sustentable y de un modo amigable con el ambiente. Sin embargo, los parques agrarios

afrontan desafíos, como la preservación del espacio, su gobernanza y el aspecto ambiental. Asimismo, el aspecto ambiental debe acompañar todo el proceso de planificación, conformación y gobernanza de un parque para evitar pérdidas innecesarias de energía, la generación de residuos y efluentes y su disposición racional. Otro aspecto para tener en cuenta es la contaminación ocasionada por el uso indebido de insumos de síntesis química y el uso eficaz de los recursos, en especial su aptitud y disponibilidad. A medida que los ciudadanos se hacen más conscientes de los impactos ambientales de la producción y transporte de los alimentos, además de interesarse por el origen y la calidad de lo que consumen, la agricultura urbana está destinada a multiplicarse y atraer la atención pública y política. Acercar la producción de alimentos, además de sostenible, es pedagógico. Sin embargo, las consideraciones del cultivo de alimentos al interior de las ciudades difieren de la agricultura tradicional (véase Figura 26).

FIGURA 26. *Parque agrícola*



Aplicación de la permacultura urbana

La permacultura urbana se practica en las ciudades, y observa e incorpora la simbiosis que ya existe en los ecosistemas de la naturaleza. Traduce estos ejemplos en mejores prácticas para la planificación y el diseño de ciudades sostenibles. El objetivo de la permacultura urbana es crear comunidades más sostenibles. Alienta a los gobiernos y residentes de las ciudades a nutrir y rehabilitar los espacios públicos y privados con técnicas que duplican los armoniosos sistemas de autorregulación de la naturaleza. Los principios fundamentales son cuidar la Tierra, las personas, limitar el consumo de recursos y distribuir los excedentes de manera equitativa. Los principios de la permacultura urbana requieren la conservación de recursos y la implementación de estrategias que rehabiliten los ecosistemas en áreas urbanas a través de un diseño intencional. Requiere que las personas respeten y trabajen con la naturaleza para crear un entorno que sostenga a los seres humanos, los animales y las plantas. Sus mejores prácticas emplean el uso de suelo multipropósito como piedra angular de la planificación urbana. Estas técnicas de diseño crean ciudades inteligentes que integran actividades como el trabajo, las compras y la recreación, con la vivienda. La permacultura incorpora técnicas de construcción ecológica para los usos residencial, comercial y público; estos incluyen materiales reciclados, sistemas de calefacción y enfriamiento amigables con el carbono, y sistemas de agua que recolectan agua de lluvia o reducen el uso de agua dulce. Estrategias como los techos verdes aumentan la cantidad de vegetación disponible para ayudar a limpiar el aire urbano, y también reducen la utilización de energía al proporcionar aislamiento natural tanto en climas fríos como calientes; del mismo modo, fomenta el regreso de la vida silvestre que busca alimento en la vegetación local, y disminuye la necesidad de pesticidas para controlar las plantas y malezas no nativas. Esto apoya la rehabilitación de los sistemas de escorrentía de aguas pluviales urbanas. El paisajismo comestible y los jardines comunitarios son estrategias de permacultura que promueven la seguridad alimentaria en las zonas urbanas. También brindan oportunidades para enriquecer y reponer el suelo urbano mediante el compostaje de los desechos postcosecha en lugar de depender de fertilizantes químicos.

Huertas urbanas

Las huertas urbanas pueden ocupar una infinidad de lugares y tener escalas variadas, utilizando marcos de ventanas y balcones, terrenos baldíos, patios de escuelas, parques públicos e incluso en lugares improbables, como en túneles del transporte subterráneo. También pueden ser comunitarias o individuales. La jardinería vertical es reconocida desde hace unos 2 500 años, principalmente con los Jardines Colgantes de Babilonia, referenciados por el poeta griego Antípatro de Sidón en el siglo II antes de nuestra era, al describirlos como una de las siete maravillas del mundo. Aunque son llamados colgantes, la verdad es que los griegos y los romanos al darle tal denominación, quisieron expresar que eran de varios pisos, contruidos los unos sobre los otros. Cada uno de sus 20 pisos tenía una capa de tierra, suficiente para sostener toda clase de árboles. A diferencia de los cultivos tradicionales, donde se realizan fertilizaciones continuas con agroquímicos y aspersiones con fungicidas, en la agricultura urbana se puede prescindir de estos, ya que se puede usar como sustrato la composta, y el fungicida no se hace indispensable debido a la extensión reducida de los cultivos. Esto, además de ser un ahorro económico, también lo es ambiental, y se toma como ejemplo el caso del fósforo como nutriente esencial de todas las plantas y animales, que junto con el nitrógeno y el potasio son los componentes básicos para la fertilización agrícola. Otro concepto que se debe involucrar en el desarrollo de la AU es el de bienestar, no solo alimentario y económico, sino también emocional y medicinal. La AU ha intervenido en el fomento de la medicina casera con el cultivo de plantas aromáticas, medicinales y productos derivados como infusiones, extractos y esencias en los hogares, con lo cual se podría pensar en reducir el gasto que los hogares pobres efectúan en salud y medicina.

Hidroponía

La hidroponía es la técnica de cultivar plantas sin una superficie de tierra, donde las raíces reciben una solución nutritiva balanceada que contiene

agua y todos los nutrientes esenciales para el desarrollo de la planta. Aunque la mayoría de las personas piensan que la hidroponía es una técnica muy moderna, pensando en grandes instalaciones y complejos invernaderos, la verdad es que es una técnica muy antigua usada por varias culturas a lo largo de la historia de la humanidad. Algunos de los ejemplos son los Jardines Colgantes de Babilonia o los Jardines Flotantes desarrollados por los aztecas que fueron los cultivos en las chinampas, verdaderas islas flotantes en el gran lago mexicano de unos cinco metros de profundidad como máximo. Para construir una chinampa, primero se colocaban hileras de árboles y arbustos en el agua formando grandes áreas rectangulares. Estos rectángulos se rellenaban con tierra y material vegetal, sobresaliendo unos dos metros sobre el nivel de las aguas. Allí se plantaban las distintas especies de maíz y otros productos vegetales, lográndose un rendimiento excepcional de cuatro cultivos anuales. Ello era posible gracias a la permanente reposición del suelo de la chinampa con limo vegetal sacado del fondo de los canales laterales del lago. Esta técnica permitió a los aztecas utilizar continuamente estos suelos sin necesidad de dejarlos en barbecho, como ocurría en la agricultura europea, cuyos terrenos debían descansar entre uno y cinco años para evitar la erosión. Sin embargo, no es hasta la década de los años treinta que se define hidroponía como la entendemos hoy en día. Fue el profesor William Frederick Gericke (1937) quien le dio nombre a esta práctica que deriva del griego *hidro* (agua) y *ponos* (cultura/cultivo). Sin embargo, la popularidad y la integración masiva de la hidroponía es nueva. Muchos consideran la utilización masiva de la hidroponía como el futuro de la agricultura. Estudios recientes han demostrado que la agricultura hidropónica tiene muchos beneficios.

Estos son algunos de los beneficios más impresionantes de la hidroponía:

- Menor consumo de agua (por ejemplo, una ensalada simple en la producción tradicional requiere aproximadamente de 20 a 30 litros de agua, con hidropónicos solo 2 litros)
- Aprovechamiento óptimo del potencial genético de una especie vegetal
- Mejor control del suministro de nutrientes
- Mejora el rendimiento y la calidad

- Crecimiento más corto para diferentes variedades
- Uso más eficiente del espacio disponible
- Ahorros considerables o incluso renuncia completa a los fertilizantes
- No se requieren herbicidas.

Contaminación alimentaria

La contaminación alimentaria se define como la presencia de cualquier materia anormal en el alimento que comprometa su calidad para el consumo humano. La contaminación puede ser química, física o biológica. Esta última, causada por microorganismos, que incluye las denominadas toxiinfecciones alimentarias, es la que origina un mayor número de casos de enfermedades. El alimento es, por sus factores intrínsecos, un caldo de cultivo ideal para el crecimiento de microorganismos. La presencia de determinados agentes microbianos, unida a condiciones de manipulación y conservación no adecuadas produce una enfermedad poco después (horas o días) de haber consumido un alimento o una bebida no aptos para el consumo. El origen del cuadro puede estar en la ingestión de un alimento contaminado con microorganismos que se multiplican y dan lugar a la enfermedad (infección); el consumo de un alimento contaminado por toxinas que se han producido por una proliferación de microorganismos en el sustrato (intoxicación); o bien una combinación de ambas cosas (toxiinfección). El principal factor que interviene en el origen y el desarrollo de las infecciones es la falta de higiene. La higiene alimentaria se ocupa de la manipulación adecuada de los diversos tipos de alimentos y bebidas, de los utensilios y la maquinaria utilizados en su preparación, servicio y consumo, y del cuidado y el tratamiento de los alimentos contaminados por bacterias productoras de intoxicaciones alimentarias que proceden del animal productor del alimento.

Factores que condicionan la proliferación microbiana

El origen de los microorganismos presentes en los alimentos cuya proliferación va a ser causante de la enfermedad, puede estar en origen (zoonosis)

o puede ser posterior y debida a una manipulación incorrecta en los procesos de preparación, fabricación, transformación, elaboración, envasado, almacenamiento, transporte, distribución, venta, suministro o servicio. Los gérmenes tienen su reservorio natural en el intestino de personas y animales, expulsados al exterior a través de las heces; y en los diferentes órganos, expulsados al exterior mediante la orina, saliva, mucosidades, aire mediante tos y estornudos, y en las infecciones y heridas. Las principales vías de contaminación del alimento son el aire, polvo o tierra, contacto con utensilios, superficies u otros alimentos contaminados, manos sucias, agua contaminada, insectos; y otras causas como las siguientes:

- **Tipo de alimento.** Las características intrínsecas del alimento son determinantes en el desarrollo de las contaminaciones por la proliferación de bacterias. Los sustratos de alto contenido proteico, como la carne, el pescado, los huevos, la leche y derivados, son alimentos considerados de alto riesgo.
- **Temperatura.** Es uno de los factores clave, ya que es determinante en el crecimiento de los microorganismos. La multiplicación de las células bacterianas se produce en la denominada zona de peligro, entre los 5 y los 65 °C. La temperatura óptima para el crecimiento se sitúa alrededor de los 37 °C. Fuera de este rango establecido las posibilidades de contaminación son más bajas.
- **Actividad del agua o humedad.** A mayor humedad mayor posibilidad de desarrollo bacteriano. Por ello, cualquier tratamiento que reduzca la humedad puede evitar la proliferación microbiana (salado, confituras).
- **Tiempo.** La existencia de un sustrato adecuado, una temperatura y humedad idónea unidos, puede hacer que en 20 min el número de microorganismos sea el doble, pasadas 6 h tendríamos millones.

El control de los diversos factores puede evitar la contaminación del alimento y el desarrollo de los gérmenes en él. Por otra parte, la utilización de algunos de ellos, como pueden ser la temperatura y el tiempo combinados, pueden llevar a su destrucción.

Normas y estándares de seguridad alimentaria

La agricultura orgánica es un sistema holístico de gestión de la producción que fomenta y mejora la salud del agroecosistema, particularmente de la biodiversidad, los ciclos biológicos, y la actividad biológica del suelo. Hace hincapié en el empleo de prácticas de gestión prefiriéndolas al empleo de insumos externos a la finca. Esto se consigue empleando, siempre que sea posible, métodos biológicos y mecánicos, en contraposición al uso de materiales sintéticos, para cumplir cada función específica dentro del sistema.

Los fines de un sistema de producción orgánica son, entre otros:

- a) aumentar la diversidad biológica del sistema en su conjunto
- b) incrementar la actividad biológica del suelo
- c) mantener la fertilidad del suelo a largo plazo
- d) reutilizar los desechos de origen vegetal y animal a fin de devolver nutrientes a la tierra, reduciendo al mínimo el empleo de recursos no renovables.

El concepto de contacto estrecho entre consumidor y productor se adopta ya como práctica afirmada. La mayor demanda del mercado, el creciente interés económico en la producción, y la distancia cada vez más grande entre productor y consumidor han estimulado la introducción de procedimientos de control externo y certificación. Un componente integral de la certificación es la inspección del sistema de gestión orgánica. Los procedimientos para la certificación del productor denominado *Codex Alimentarius* se basan fundamentalmente en una descripción anual de la empresa agrícola, preparada por el productor mismo en cooperación con un organismo inspector. De igual modo, en el plano de la producción, se formulan normas que sirven de patrón para la inspección y verificación de las operaciones de elaboración y las condiciones de la planta.

Codex Alimentarius

El *Codex Alimentarius* es una colección de normas alimentarias y textos afines aceptados internacionalmente y presentados de modo uniforme. El objeto de estas normas alimentarias y textos afines es proteger la salud del consumidor y asegurar la aplicación de prácticas equitativas en el comercio de alimentos. La finalidad de su publicación es que oriente y fomente la elaboración y el establecimiento de definiciones y requisitos aplicables a los alimentos para favorecer su armonización y, de esta forma, facilitar el comercio internacional. El comercio internacional de alimentos existe desde hace miles de años, pero hasta no hace mucho los alimentos se producían, vendían y consumían principalmente en el ámbito local. Durante el último siglo, el volumen de alimentos comercializados a escala internacional ha crecido exponencialmente y, hoy en día, una cantidad y variedad de alimentos nunca imaginada recorre todo el planeta. El punto de referencia global para los productores de alimentos, procesadores, consumidores, agencias nacionales de seguridad alimentaria y el comercio internacional de alimentos es el *Codex*, elaborado por primera vez en 1961.

Los Gobiernos deberían tener en cuenta la necesidad de todos los consumidores en cuanto a la seguridad alimentaria y en la medida de lo posible, adoptar las normas de la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas y el *Codex Alimentarius* de la Organización Mundial de la Salud (FAO y OMS, s/f).

El *Codex* se ha convertido en el referente global para la tipificación de las prácticas y estándares de seguridad y calidad alimentaria entre los organismos nacionales, y también para el comercio internacional. Sus estándares son reconocidos por la Organización Mundial de Comercio para la resolución de disputas comerciales. El *Codex* ha animado a los países a introducir una nueva legislación alimentaria y las normas, basadas en él, así como a establecer o fortalecer los organismos encargados de vigilar el cumplimiento de las regulaciones. Las normas del *Codex* se basan en datos científicos sólidos. Desde sus comienzos, las actividades del *Codex* han tenido un fundamento científico. Expertos y especialistas de una gran variedad de disciplinas han contribuido a todos los aspectos de las actividades

del *Codex* para asegurar que sus normas sean capaces de superar el examen científico más riguroso. El *Codex* tiene dos tipos de disposiciones:

- a) **Normas alimentarias:** para ser aceptadas sin alteraciones en el ámbito internacional. Su objetivo es proteger la salud del consumidor y garantizar la aplicación igualitaria de sus prácticas en el comercio internacional.
- b) **Acuerdos de naturaleza recomendable:** para orientar y promover la elaboración e imposición de los requisitos aplicables a los alimentos.

Las normas del *Codex* son de adopción voluntaria. Sin embargo, la mayoría de los países las están incorporando. La aceptación de las normas para alimentos del *Codex* debe estar de acuerdo con los procedimientos legales y administrativos establecidos, referentes a la distribución del producto en cuestión, sea este importado o nacional, dentro del territorio de su jurisdicción. Dicha aceptación puede ser total, programada o con restricciones específicas.

IV. Epílogo

Todos los seres humanos tenemos ideas sobre lo que está bien y lo que está mal, sobre lo justo y lo injusto. Cuando esas ideas surgen internamente, y creemos en ellas a conciencia, entonces forman parte de ese enigmático y a la vez maravilloso mundo que constituye la moral. La ética es la rama de la filosofía que ha sentido fascinación por el mundo de la moral y ha reflexionado sobre las razones de unos y otros, intentando descubrir qué argumentos son más sólidos y en qué radica esa solidez. Después de siglos de reflexión, la ética, con la humildad que la caracteriza, pero con la firmeza de saber que no debemos dar pasos atrás sobre lo ya conseguido, nos exige defender y promocionar a nivel universal valores como la libertad, la igualdad, la solidaridad, el respeto activo, el diálogo, la responsabilidad y la justicia, pues son los valores que articulan la convivencia pacífica entre los seres humanos, algo que a todos nos interesa si es que realmente aspiramos a vivir de acuerdo a nuestras ideas morales particulares. Los sistemas alimentarios sólidos, sostenibles e inclusivos son fundamentales para alcanzar los objetivos de desarrollo a nivel mundial. El desarrollo agrícola constituye uno de los medios más importantes para poner fin a la pobreza extrema, impulsar la prosperidad compartida y alimentar a una población que se espera llegue a 9 700 millones de habitantes en 2050. Asimismo, la agricultura es esencial para el crecimiento económico; sin embargo, dicho crecimiento económico, la reducción de la pobreza y la seguridad alimentaria se encuentran en riesgo: múltiples conmociones —desde alteraciones relacionadas con las pandemias hasta fenómenos meteorológicos extre-

mos, plagas y conflictos— están afectando los sistemas alimentarios, y generan un aumento de los precios de los alimentos y del hambre. La aceleración del cambio climático podría disminuir aún más los rendimientos de los cultivos, especialmente en las regiones con mayor inseguridad alimentaria. Además, las actividades agrícolas y forestales, y los cambios en el uso de la tierra son responsables de buena parte de las emisiones de gases de efecto invernadero. Las medidas de mitigación en el sector de la agricultura son parte de la solución para el cambio climático. Los actuales sistemas alimentarios también amenazan la salud de las personas y del planeta, y generan niveles insostenibles de contaminación y desechos. Un tercio de los alimentos producidos en el mundo se pierde o se desperdicia, y es imperioso abordar este problema para mejorar la seguridad alimentaria y nutricional, así como para contribuir a alcanzar los objetivos relacionados con el clima y a reducir las presiones sobre el medioambiente. Los riesgos asociados con las dietas deficitarias también son la principal causa de muerte en todo el mundo. Millones de personas no comen lo suficiente o consumen alimentos inadecuados, una doble carga de malnutrición que puede conducir a enfermedades y crisis sanitarias. La inseguridad alimentaria puede empeorar la calidad de la dieta y aumentar el riesgo de diversas formas de malnutrición, lo que podría generar desnutrición, así como sobrepeso y obesidad. Muchos hogares padecen inseguridad alimentaria por falta de ingresos para comprar alimentos, lo que es una causa principal del hambre. La dificultad estriba en cómo hacerlo, y las soluciones planteadas varían según las causas que lo producen. Así, casi nadie dudaría de que el envío de comida es crucial en una hambruna, pero muchos añadirían que el envío de comida, como modo de afrontar la desnutrición endémica, sería desastroso para la economía mundial. Acabar con la desnutrición endémica por motivos estructurales es tan urgente como acabar con una hambruna ocasional producida por una sequía. Cada persona que muere es, en ambos casos, un ser digno de seguir viviendo, y ese debe ser el criterio determinante para la acción. Es posible producir suficiente comida en el mundo para que nadie muera de hambre, y es posible producir esa comida cerca de las personas que la necesitan, con políticas agrícolas apropiadas que respeten la cultura y las tradiciones de los países en las que se lleven a cabo. Por otro lado, es nece-

sario establecer un organismo internacional al que todos los países deben adherirse por principios morales, encargado de detectar los lugares en los que se padece la malnutrición crónica y de aplicar los fondos económicos necesarios para acabar con esa malnutrición lo antes posible. Pero solo habrá verdadero desarrollo de los pueblos si se fomenta la libertad de las personas y la organización democrática de las sociedades. Desde el año 1700 hasta la actualidad, millones de hectáreas se han transformado en tierra para el cultivo. Una gran parte a expensas de los bosques, que han decrecido en millones de hectáreas en el mismo periodo. La erosión del suelo dedicado a la agricultura elimina los nutrientes, y cada año se pierden por este motivo miles de millones de toneladas de suelo en el mundo. Si el suelo, la base más importante de la agricultura, se degrada en una proporción que excede su capacidad de regeneración, como parece estar ocurriendo en la actualidad, entonces las prácticas que resultan de esa degradación son insostenibles. Para una agricultura sostenible es necesario valorar las “externalidades” del actual modo de producir alimentos. Aquellos de nosotros, privilegiados con poder adquisitivo pueden disfrutar cocinando de manera inteligente. Hornos basados en IA, personalizando nuestras dietas con nuestro ADN, rastreando el desperdicio de alimentos de nuestro hogar a través de sensores inteligentes de basura, comprando en mercados “no tripulados”. Del aprovisionamiento de la comida y el cocinar, hasta el comer y desechar, nuestras mundanas prácticas alimentarias se convierten en eventos basados en datos que se pueden rastrear, cuantificar y gestionar “en línea”.

Bibliografía

- Álvarez, C., López, I., Sanz, S. y Álvarez-Nieto, C. (2021). Salud planetaria: Educación para una atención sanitaria sostenible. *Educación Médica*, 22(6), 352-357.
- Ballesteros, M. y López, T. (2017). *El nexo entre el agua, la energía y la alimentación en Costa Rica: El caso de la cuenca alta del río Reventazón*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Banco Mundial. (2019). *World development indicators*. <http://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/>
- Bays, J. C. (2015). *Comer atentos: Guía para redescubrir una relación sana con los alimentos*. Shambala.
- Bernard, C. (1994). *Introducción al estudio de la medicina experimental* (3ª ed.). Universidad Nacional Autónoma de México. https://books.google.com.mx/books?id=VG-mxWxFVp5wC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Binford, L. R. (1983). *In pursuit of the past: Decoding the archaeological record*. Universidad de California.
- Bowman, B. A. y Russell, R. M. (Eds.). (2003). (2019). *Conocimientos actuales sobre la nutrición* (8ª ed.; Publicación Científica y Técnica, núm. 592). Organización Panamericana de la Salud e Instituto Internacional de Ciencias de la Vida. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/3150>
- Braidwood, R. J. y Braidwood, L. (1937). *Montículos en la llanura de Antioquía: Un estudio arqueológico* (publicación núm. 48). Instituto Oriental. <https://es.thetopknowledge.com/robert-john-braidwood>

- Cannon, W. B. (1929). Organization for physiological homeostasis. *Physiological Reviews*, 9(3), 399-431.
- Cartín-Rojas, A. y Ortiz, P. (2018). Ventajas y desventajas del cultivo de carne *in vitro*: Perspectivas desde la seguridad alimentaria. *Revista de Medicina Veterinaria*, 36, 135-144.
- Childe, V. G. (1936). *El hombre se hace a sí mismo*. Watts & Company.
- Churchill, W. (1952). De aquí a cincuenta años. *Revista Mecánica Popular*, 10(3).
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2012). *Sistema Nacional de Información del Agua*. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>
- De Castro, J. y Plunkett, S. (2002). A general model of intake regulation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26(5), 581-595.
- EAT (2019). *Dietas saludables a partir de sistemas alimentarios sostenibles: Informe Resumido de la Comisión EAT-Lancet*. EAT. https://eatforum.org/content/uploads/2019/01/Report_Summary_Spanish-1.pdf
- Flannery, K. (1968). *Archaeological systems theory and Early Mesoamerica*. Anthropological Society of Washington.
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). (2022, junio 21). *¿Por qué sigue habiendo hambre en el mundo?* <https://www.unicef.es/blog/por-que-sigue-habien-do-hambre-en-el-mundo>
- Gericke, W. F. (1937). Hydroponics: Crop production in liquid culture media. *Science*, 85(2198), 177-178.
- Gustavsson, J., Cederberg, C. y Sonesson, U. (2012). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo: Alcance, causas y prevención*. FAO.
- Hamilton, A. (2015, octubre 13). From the archive, 13 October 1978: Günter Grass on his new book *The Flounder*. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/books/2015/oct/13/gunter-grass-the-flounder>
- Hartmann, A., Rothballer, M. y Schmid, M. (2008). Lorenz Hiltner, a pioneer in rhizosphere microbial ecology and soil bacteriology research. *Plant and Soil*, 312(1), 7-14. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9514-z>
- Hoekstra, A. y Mekonnen, M. (2012). The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(9), 3232-3237.
- International Food Policy Research Institute (IFPRI). (2016). *Disminuir la pobreza y el hambre por medio de la investigación sobre políticas alimentarias: Aspectos destacados de la investigación sobre políticas alimentarias en América Latina y el Caribe*. IFPRI. <http://ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/131057>

- International Renewable Energy Agency. (2015). *Renewable energy in the water, energy & food nexus*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_Water_Energy_Food_Nexus_2015.pdf
- Mahlknecht, J. González-Bravo, R. y Loge, F. J. (2020). Water-energy-food security: A nexus perspective of the current situation in Latin America and the Caribbean. *Energy*, 194, 116824. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219325198>
- Maldonado, A. (2017). Los océanos también son fuente de alimentos. *Claustronomía: Revista Gastronómica Digital* (Universidad del Claustro de Sor Juana, Ciudad de México). <https://claustromia.elclaustro.mx/>
- Miquel, J. y Fleming, J. E. (1986). Theoretical and experimental support for an oxygen radical-mitochondrial damage hypothesis of cell aging. En J. E. Johnson Jr., R. Walford, D. Harman y J. Miquel (Eds.), *Free radicals, aging and degenerative diseases* (pp. 51-74). Nueva York: Alan R. Liss.
- Mollison, B. y Holmgren, D. (1978). *Permaculture one: A perennial agriculture for human settlements*. Trasworld.
- “Motivos por los cuales comemos” (s/f). *Tu porción justa*. <https://www.arcor.com/ar/tu-porcion-justa/motivos-por-los-cuales-comemos>
- Navarrete, P., Loayza, J., Velasco, J., Huatuco, Z. y Abregú, R. (2016). Índice de masa corporal y niveles séricos de lípidos. *Horizonte Médico*, 16(2). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-558X2016000200003&lng=es&nrm=iso
- Neri Calixto, M., Ayllón Álvarez, D., Vieyra Reyes, P., Hernández-González, M. M., Jiménez-Garcés, C., y Flores Ocampo, P. M. (2015). Influencia de ghrelina y leptina sobre alteraciones psiquiátricas en sujetos con obesidad. *Revista de Medicina e Investigación*, 3(2), 152-161. <https://doi.org/10.1016/j.mei.2015.02.017>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2013). *El desperdicio masivo de alimentos, un problema no solo de los países ricos*. <https://news.un.org/es/story/2021/03/1489102>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Objetivos del Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2019, octubre 16). *Mensaje del Secretario General en el Día Mundial de la Alimentación*. <https://www.un.org/sg/es/content/sg/statement/2019-10-16/secretary-generals-message-world-food-day-scroll-down-for-french-version>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2021). *Informe de los Objetivos de Desarrollo*

- llo Sostenible 2021*. https://unstats.un.org/sdgs/report/2021/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2021_Spanish.pdf
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2022). *Hasta 20 millones de personas del Cuerno de África pueden pasar hambre por la sequía*. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/tags/hambre>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1996). *Cumbre Mundial de la Alimentación*. <https://www.gob.mx/firco/articulos/seguridad-alimentaria-y-nutricional>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2002). *Perspectivas por sectores principales*. <https://www.fao.org/3/y3557s/y3557s08.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2011a). *La seguridad alimentaria: Información para la toma de decisiones*. <https://www.fao.org/3/al936s/al936s00.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2011b). *Women: Key to food security*. <https://www.fao.org/3/am719e/am719e00.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020). *The state of world fisheries and aquaculture 2020: Sustainably in action*. <https://www.fao.org/publications/sofia/2020/en/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). *La sequía en el Cuerno de África: Nuevos análisis advierten de riesgos al alza y de la necesidad de apoyar a las familias rurales*. <https://www.fao.org/newsroom/detail/drought-in-the-horn-of-africa-new-analyses-flag-mounting-risks-need-to-support-rural-families/es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s/f). *Objetivo 2: Hambre Cero*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), Programa Mundial de Alimentos (PMA) y Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo: Fomentando la resiliencia climática en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición*. <https://www.fao.org/3/I9553ES/i9553es.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), Organización Mundial de la Salud (OMS), Programa Mundial de Alimentos (PMA) y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). (2019). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo*

- 2019: *Protegerse frente a la desaceleración y el debilitamiento de la economía*. FAO. <http://www.fao.org/3/ca5162es/ca5162es.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Organización Mundial de la Salud (OMS). (s/f). *Codex Alimentarius: Normas internacionales de los alimentos*. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/home/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2018). *Políticas y programas alimentarios para prevenir el sobrepeso y la obesidad: Lecciones aprendidas*. <http://iris.paho.org/xmlui/handle/123456789/34941>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Organización Panamericana de la Salud (OPS) y Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). *Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional en América Latina y el Caribe*. <http://www.fao.org/3/ai7914s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Organización Panamericana de la Salud (OPS), Programa Mundial de Alimentos (PMA) y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). (2018). *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe 2018*. <https://www.fao.org/3/CA2127ES/CA2127ES.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2014, mayo 1). *Food, genetically modified*. <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/food-genetically-modified>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2016). *La doble carga de la malnutrición: Un fenómeno emergente en salud*. <https://www.ovsalud.org/>
- Pinel, J. P. J. (2007). *Biopsicología* (6ª ed.). Pearson. https://www.academia.edu/41091575/Biopsicologia_6e_John_P_J_Pinel_2007
- “¿Qué comeremos en el año 2050?: La salud y la sostenibilidad irán de la mano para una mejor alimentación”. (s/f). *Iberdrola*. <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/alimentos-del-futuro>
- Ramírez Treviño, A., Sánchez Núñez, J. M., y García Camacho, A. (2003, julio-diciembre). El desarrollo sustentable: Interpretación y análisis. *Revista del Centro de Investigación de la Universidad La Salle*, 6(21). <https://repositorio.lasalle.mx/handle/lasalle/991>
- Roll-Hansen, N. (1983). The death of spontaneous generation and the birth of the gene: Two case studies of relativism. *Social Studies of Science*, 13(4), 481-519.
- Rojas, G. (2008, 24 de julio). *Información de la FAO para España y Andorra vinculaciones*

- entre agua, alimentos y salud*. Mesa redonda sobre agua y objetivos de desarrollo del milenio, Zaragoza, España. <https://www.europarl.europa.eu/cmsdata/181139/20080806ATT35196ES.pdf>
- Schifter, I. y González, C. (2005). *La Tierra tiene fiebre*. Fondo de Cultura Económica.
- Schifter, I. y González, C. (2021). *El Reloj del Apocalipsis: ¿La antesala de un colapso ecológico?* (Col. Conocimiento). Comunicación Científica.
- Soto, M. (2018). *La humanidad necesita 1,7 planetas para satisfacer su ritmo de consumo*. LatinClima. <https://latinclima.org/articulos/humanidad-necesita-17-planetas-para-satisfacer-su-ritmo-de-consumo#:text=Según%20los%20datos%20de%20Globalplanetas%20similares%20a%20la%20Tierra>
- Steiner, R. (2011). *La ciencia oculta*. Autor.
- Vizcarra, I. (mayo-agosto, 2008). Entre las desigualdades de género: un lugar para las mujeres pobres en la seguridad alimentaria y el combate al hambre. Universidad Autónoma Metropolitana *Argumentos*, 21(57), 141-170 <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=59511124007>
- Wackernagel, M. y Rees, W. (2001). *Nuestra huella ecológica: Reduciendo el impacto humano sobre la Tierra*. IEP y Lom. <https://journals.openedition.org/polis/7216>
- Westreicher, G. (2020). *Monocultivo*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/monocultivo.html>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C. y Bogaardt, M. (2017). Big data in smart farming: A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
- Zizumbo Villarreal, D. y García Marín, P. (2008). El origen de la agricultura, la domesticación de plantas y el establecimiento de corredores biológico-culturales en Mesoamérica. *Revista de Geografía Agrícola*, (41), 85-113. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75711472007>

Sobre los autores

Isaac Schifter es Doctor en Química por la Universidad Claude Bernard de Lyon, (Francia) y Químico Farmacéutico Biólogo por la Facultad de Química de la UNAM. Desde 1970 su actividad profesional la ha realizado fundamentalmente en el Instituto Mexicano del Petróleo como investigador y en puestos gerenciales. Es investigador emérito del Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt.

María del Carmen González Macías es Doctora en Conservación de Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR); Maestra en Ciencias por la Facultad de Ciencias de la UNAM, y Bióloga por la Universidad Autónoma Metropolitana. Desde 1982, ha realizado su actividad profesional en el Instituto Mexicano del Petróleo como jefa de proyectos y líder de especialidad en estudios de contaminación por petróleo en ecosistemas marinos. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Conacyt.

Índice de figuras y tablas

Figura 1. Danza de Cogul, España	21
Figura 2. El ciclo del nitrógeno	31
Figura 3. El ciclo del fósforo	33
Figura 4. La agricultura consume y absorbe más de 70% de las extracciones mundiales	40
Figura 5. Uso del agua en México (Conagua)	41
Figura 6. Agua para el cultivo	42
Figura 7. Agua gastada en la producción	44
Figura 8. Porcentaje de energía gastada en la producción de alimentos	46
Figura 9. Seguridad alimentaria. La iniciativa de seguridad Alimentaria	56
Figura 10. La inseguridad alimentaria	57
Figura 11. Agricultura con enfoque de género	59
Figura 12. Crecimiento y proyecciones de la población en el mundo (miles de millones)	62
Figura 13. Los mayores emisores de gases invernadero en la agricultura y ganadería	63
Figura 14. Ciclo de vida de un producto	65
Figura 15. Porcentajes por región de pérdida de alimentos	69
Figura 16. Esquema del sistema de microbioma	78
Figura 17. Tecnologías digitales para una agricultura “más inteligente”	90

Figura 18. La agricultura robotizada	93
Figura 19. Insectos comestibles	107
Figura 20. Medusas comestibles	108
Figura 21. Esquema general de la metodología para la obtención de un cultivo celular primario	112
Figura 22. Esquema de producción de alimentos a partir de células madre	113
Figura 23. Hamburguesa de laboratorio	114
Figura 24. Aplicaciones de la nanotecnología	120
Figura 25. Diferentes “tintas” de alimentos a imprimir en 3D	122
Figura 26. Parque agrícola	125
Tabla 1. Algunos datos sobre el desperdicio de alimentos	59
Tabla 2. Huella de carbono para distintos productos alimenticios. ...	71

Índice general

<i>Resumen</i>	9
<i>Prefacio</i>	11
I. Hambre cero en el planeta	17
¿Por qué comemos?	17
El punto de ajuste	18
Teoría glucostática	19
Teoría lipostática	20
Teoría del incentivo positivo	20
El hombre carnívoro	21
El hambre	23
¿Por qué sigue habiendo hambre en el mundo?.	24
Desplazamientos e inestabilidad política	24
Medir el hambre	25
Malnutrición	25
Desnutrición	26
Sobrepeso y obesidad	27
Iniciativas para lograr el hambre cero	27
Teorías sobre el origen de la agricultura	29
La importancia del nitrógeno.	31
El fósforo: su impacto en la agricultura	33
La revolución agrícola	34
La agricultura y sus aportes	35
La agricultura en Latinoamérica	37
La vinculación alimentos, energía y agua	38
El nexo del agua	39
¿Hay agua suficiente?	41

El crecimiento demográfico y el desarrollo socioeconómico son el motor de la escasez de agua	43
La huella hídrica o del agua	43
El sistema energético.	45
La huella ecológica.	47
¿Realmente vamos a dejar de existir?	49
¿Hasta qué punto es grave la degradación de la tierra?	50
La deforestación	51
Consecuencias de la deforestación	53
Sustentabilidad y sostenibilidad	53
La seguridad alimentaria	54
Elementos básicos para tener seguridad alimentaria y nutricional	55
Inseguridad alimentaria.	56
La huella de carbono y el análisis del ciclo de vida	57
Las desigualdades de género	60
¿Por qué se debe invertir en el enfoque de género?.	60
¿Cómo lograr una mayor participación de la mujer en la agricultura?.	61
¿Cómo producir más alimentos?.	61
El clima y las actividades agrícolas y ganaderas.	64
Los fertilizantes y su futuro	65
Los plaguicidas y sus problemas	67
Pérdidas y desperdicio de alimentos	68
II. Dietas sostenibles.	72
Alimentos y ética.	72
Perspectivas para los cultivos principales	73
La agricultura orgánica	75
La biodinámica.	76
El microbioma	77
La permacultura	78

Las dietas sostenibles	80
La salud planetaria	81
Los nuevos alimentos	83
¿Qué son los antioxidantes?	84
Teoría del envejecimiento asociada a los radicales libres	85
III. Fuentes de alimentos y sistemas de producción	86
Un paso más allá de la agricultura de precisión.	87
¿Qué tecnologías han permitido llegar a la agricultura 4.0?	88
Robots agrícolas	91
La percepción remota	93
La biotecnología	94
Hibridación y variabilidad natural	95
Ingeniería genética.	96
Edición genética	97
Los riesgos de la biotecnología	98
Los alimentos transgénicos	99
Debate en torno a los alimentos transgénicos.	100
Las ciencias ómicas	101
La proteómica	102
La metabolómica.	103
La nutrigenómica	103
Alimentación para el cerebro	104
Futuras fuentes de proteínas	105
Los insectos.	106
Las medusas	108
Algas.	109
Legumbres	110
Cultivos celulares.	110
Productos celulares	112
Escalamiento de productos celulares.	113
Carne de origen vegetal	115

Productos de pescado	116
Productos acelulares	116
Nanotecnología en los alimentos	117
Envasado de alimentos	119
Nanosensores	119
Desventajas de los nanosensores	121
Impresión 3D de alimentos:	
¿la revolución de la cocina?	121
El futuro de la impresión 3D de alimentos	122
¿Cuáles son las desventajas de la impresión 3D?	123
Agricultura urbana	123
Parques agrícolas	124
Aplicación de la permacultura urbana	126
Huertas urbanas	127
Hidroponía	127
Contaminación alimentaria	129
Factores que condicionan la proliferación microbiana	129
Normas y estándares de seguridad	
alimentaria	131
Codex Alimentarius	132
 IV. Epílogo	 134
 <i>Bibliografía</i>	 <i>137</i>
<i>Sobre los autores</i>	<i>143</i>
<i>Índice de figuras y tablas</i>	<i>145</i>

Un planeta hambriento en el futuro ¿Habrá suficientes alimentos para todos?, de Isaac Schifter y María del Carmen González Macías, en los talleres de Litográfica Ingramex S.A. de C.V., Centeno 162-1, Granjas Esmeralda, 09810, Ciudad de México. Se publicó en formato PDF, Epub3 y HTML5 en enero de 2023. El tiraje fue de 150 ejemplares impresos en papel cultural ahusado de 75 gr.

El acceso físico, social y económico a una alimentación suficiente y segura es crucial para los habitantes de la Tierra. Se estima que para 2050 se debe duplicar la producción de alimentos; sin embargo, la tierra fértil y el agua cada día escasean más. Por lo demás, el acceso económico y físico a los alimentos en sí no garantiza la seguridad alimentaria a nivel de los hogares.

La humanidad se encuentra en un momento crítico en donde se cuestiona cómo sobrevivir sin comprometer irreversiblemente las condiciones ambientales y biofísicas de las que depende. La presión antropogénica en el sistema terrestre ha alcanzado un punto en el cual se temen cambios ambientales abruptos, por lo que la sustentabilidad podría ser una mera utopía.

En particular, la interdependencia entre los alimentos, el agua y la energía son temas centrales que deben integrarse de una forma beneficiosa. La agricultura en el siglo XXI afronta múltiples retos: producir más alimentos y fibras a fin de alimentar a la población con menor mano de obra. Para ello deberá emplear materias primas para satisfacer un mercado en el que la bioenergía será preponderante. Si bien la producción mundial de calorías procedentes de alimentos ha mantenido generalmente el ritmo de crecimiento de la población, millones de personas todavía carecen de alimentos suficientes y muchos consumen dietas de baja calidad o demasiados alimentos. La presente obra concluye que lo importante no es la producción de alimentos, sino su disponibilidad y el consumo, ambos relacionados con el tipo de alimentación que se lleva a cabo en las diferentes regiones del planeta.



Isaac Schifter es Doctor en Química por la Universidad Claude Bernard de Lyon, Francia. Desde 1970 es miembro del Instituto Mexicano del Petróleo, donde ha coordinado estudios de investigación y desarrollo tecnológico. Es investigador emérito del Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt y coautor del libro *El Reloj del Apocalipsis: ¿La antesala de un colapso ecológico?*



María del Carmen González Macías es Bióloga por la Universidad Autónoma Metropolitana y Doctora en Conservación de Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste (CIBNOR). Desde 1982 y hasta la fecha ha realizado su actividad profesional en el Instituto Mexicano del Petróleo coordinando proyectos de especialidad en contaminación de ecosistemas marinos. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt.



**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA** PUBLICACIONES
ARBITRADAS

HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS
www.comunicacion-cientifica.com



[DOI.ORG/10.52501/CC.059](https://doi.org/10.52501/CC.059)

ISBN-13: 978-607-59425-1-3



9 786075 942513