



Nuevas tendencias en la producción y consumo alimentario

❖ Oscar Martínez-Alvarez, Amaia Iriondo-DeHond, Joaquín Gómez-Estaca y María Dolores del Castillo

Resumen: Los autores del artículo señalan que la sostenibilidad y la alimentación saludable son los ejes en torno a los cuales girará el consumo de alimentos en las próximas décadas, y que, para ello, se debe impulsar una producción más eficiente en la que se utilicen menos recursos y se desarrollen procesos de menor impacto medioambiental. Asimismo, señalan la necesidad de aprovechar los subproductos y desechos y desarrollar sistemas de envasado más sostenible, en línea con la economía circular. Finalmente, plantean la conveniencia de cambiar los hábitos de consumo y de trabajar en pro de una mayor integración de la cadena alimentaria. Para todo ello, consideran fundamentales la nutrición de precisión, el desarrollo de alimentos dirigidos a poblaciones con necesidades especiales, la biotecnología, el manejo del Big Data y el apoyo de la inteligencia artificial.

Palabras clave: Alimentación, Biotecnología, Economía circular, Inteligencia artificial, Seguridad alimentaria, Sostenibilidad.

La demanda de alimentos está cambiando hacia nuevos hábitos de compra y hacia el consumo de alimentos más saludables y respetuosos con el medio ambiente y el bienestar animal, cambios que se han acelerado debido a la pandemia Covid-19. Tales cambios pueden abordarse por todos los actores de la cadena alimentaria con el objetivo de disminuir la “huella de carbono”, siendo más eficientes en la fase de producción vegetal y animal, usando energías sostenibles y nuevos materiales de envase y desarrollando modelos de negocio inspirados en la economía circular y en el compromiso con el medio ambiente.

El tránsito hacia una alimentación más saludable y sostenible debe contemplar, además, una mejor vertebración de las relaciones entre los actores de la cadena a fin de lograr una gobernanza alimentaria más eficiente. En este sentido, es necesario que los productores sean también conscientes de la importancia del consumidor en tanto que sujeto activo con derecho a una alimentación sana y de calidad (“ciudadanía alimentaria”).

Asimismo, es un hecho evidente que el envejecimiento de las sociedades desarrolladas, el ritmo de vida y los nuevos modelos familiares, van a influir de manera importante en cómo comemos. Estos cambios sociales conducen a una modificación de los hábitos alimentarios y a una mayor demanda de alimentos *ready to eat* menos procesados, de productos frescos, de temporada y ecológicos, así como de envases más amigables con el medio ambiente.

La innovación tecnológica en la producción y diseño de nuevos alimentos saludables y de envases biodegradables debe realizarse siempre en un marco ético en cuanto a salubridad, seguridad, sensorialidad, sostenibilidad y solidaridad, teniendo en cuenta además los requerimientos de colectivos con necesidades nutricionales, vitales y cognitivas especiales. Conocer lo que desea el consumidor es, por tanto, fundamental para todos los agentes de la cadena alimentaria, al igual que lo es establecer sinergias con otras ramas del conocimiento, como la inteligencia artificial o las neurociencias.

Asimismo, el consumidor actual demanda cada vez más el desarrollo de alimentos con potencial bioactivo (alimentos funcionales), destinados a combatir varias de las patologías que se extienden hoy en las sociedades desarrolladas. Además, para que la alimentación sea saludable y personalizada, es necesario una adaptación a nuestras necesidades individuales y colectivas, lo que implica profundizar en el estudio de nuestro genoma y nuestro microbioma, y en su influencia sobre nuestra salud física y mental. Para ello, es fundamental profundizar en el estudio de las mutaciones que predisponen a determinadas enfermedades, y de cómo la ingesta de determinados alimentos y nuestros hábitos de vida pueden modular la expresión génica y promover (o protegernos de) determinadas enfermedades.

El estudio de la microbiota y los metabolitos que genera, así como su modulación con los alimentos que ingerimos y la comprensión de su relación con nuestro sistema inmune y nuestras emociones, está en sus inicios, pero es necesario si queremos adaptar nuestra alimentación a nuestro genoma y microbioma. Por su complejidad, estos temas hacen que sea clave la colaboración entre las entidades científicas, las autoridades sanitarias y las entidades empresariales, así como el desarrollo de herramientas informáticas para el tratamiento del “big data”.

BIOECONOMÍA PARA LA ALIMENTACIÓN

El aumento continuo de la población mundial lleva parejo un incremento de la producción y consumo de alimentos, que, para 2050, se estima supere los 9 mil millones de personas. Ante ese panorama, satisfacer con los actuales modelos de producción la demanda de alimentos asociada a un crecimiento demográfico de tal magnitud, conduciría a una mayor degradación del medioambiente, al deterioro de los ecosistemas y a un aumento de la emisión de gases de efecto invernadero.

Por eso, se plantean nuevas estrategias para ir caminando hacia modelos más sostenibles de producción y consumo de alimentos. Entre esas estrategias, destacan las que se basan en el principio de eficiencia, que significa hacer más con menos. Ello implica adecuar mejor el uso de los recursos a las necesida-



El consumidor actual demanda cada vez más el desarrollo de alimentos con potencial bioactivo (alimentos funcionales), destinados a combatir varias de las patologías que se extienden hoy en las sociedades desarrolladas. Además, para que la alimentación sea saludable y personalizada, es necesario una adaptación a nuestras necesidades individuales y colectivas, lo que implica profundizar en el estudio de nuestro genoma y nuestro microbioma, y en su influencia sobre nuestra salud física y mental

des fisiológicas de los cultivos y animales, así como desarrollar procesos de producción, conservación y envasado que tengan menos impacto en el medioambiente y reduzcan la generación de residuos, impulsando su reutilización, reciclado y gestión.

Es en este contexto de eficiencia donde se encuadra la “bioeconomía”, un modelo económico basado en la producción de recursos biológicos renovables y su conversión en productos con valor añadido. Implica la búsqueda de estrategias para gestionar co-productos, subproductos y desechos, preferentemente mediante su reciclado para la generación de ingredientes, alimentos, nuevos materiales (alternativos al plástico) o energía. La bioeconomía tiene implicaciones también en relación al desarrollo de procesos más eficientes y ecológicos que consuman menos recursos y generen menos subproductos y desechos.

Para maximizar el beneficio para el medio ambiente, la sociedad y la economía, la FAO ha desarrollado un Código de Conducta para la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos, y ha propuesto, mediante una pirámide invertida, establecer prioridades sobre cómo reducir el desperdicio de alimentos y ahorrar recursos naturales (Figura 1).

Materias primas más sostenibles para la obtención de ingredientes y alimentos

Es un hecho que, como resultado de la producción agropecuaria, así como del procesado industrial de materias primas de origen animal o vegetal, se genera gran cantidad de subproductos o desechos. Se trata, por ejemplo, de huesos, pezuñas, vísceras, cuernos, pieles, sangre, plumas, carcasas de aves, cáscaras de huevo, restos del fileteado de pescado (recortes, cabezas, pieles, espinas, escamas...), conchas de moluscos, cefalotórax y cutículas de crustáceos, pieles y pulpas de frutas y hortalizas, cáscaras de frutos secos, subproductos de la producción de vino, cerveza o etanol, residuos de la poda...

FIGURA 1 Código de conducta propuesto por la FAO



Fuente: FAO, 2019

De la distinta naturaleza y composición de los diversos subproductos o desechos se deduce la gran variedad de compuestos que de ellos se pueden extraer. Se trata fundamentalmente de proteínas y péptidos (colágeno/gelatina, proteína miofibrilar, gluten, zeína, péptidos bioactivos, enzimas...), compuestos lipídicos (carotenoides, ácidos grasos, vitaminas...), fibras solubles e insolubles (fructooligosacáridos, quitina/quitosano, alginatos, glucanos, celulosa, lignina...), minerales (hierro, calcio...) y otros compuestos bioactivos (fenólicos, glucosinolatos, glucosaminoglucanos, monoterpenos...).

Sobre la base de su funcionalidad, valor nutricional o propiedades bioactivas, muchos de estos compuestos se pueden emplear como ingredientes para la producción de alimentos. Por ejemplo, los recortes de músculo de pescado o la carne extraída mecánicamente a partir de carcasas de pollo, son una buena base para la producción de productos reestructurados, gracias a la capacidad de gelificación de las proteínas miofibrilares. Además, se trata de proteínas completas en cuanto a su composición de aminoácidos.

Otras funcionalidades tecnológicas de los diversos ingredientes obtenidos a partir de subproductos pueden ser, por ejemplo, la capacidad de emulsión, espumante, saborizante, colorante o estabilizante. Más allá de la funcionalidad tecnológica, algunos de los subproductos generados durante la producción y procesado posterior de alimentos pueden ser muy ricos en compuestos bioactivos, especialmente cuando se trata de subproductos vegetales. Se han asociado multitud de actividades biológicas y/o beneficios asociados al consumo de estos compuestos (péptidos bioactivos, fibras solubles, compuestos fenólicos, carotenoides...), por lo que son candidatos idóneos para su inclusión en la formulación de alimentos funcionales. O, incluso, se pueden emplear como nutracéuticos.

Otras materias primas de interés para la obtención sostenible de ingredientes son los recursos infrautilizados, ya sean de origen animal o vegetal, tales como especies de pescado de descarte o de bajo valor comercial, pseudocereales, plantas halófitas, algas... La promoción de su cultivo y la maximización de su utilización permite reducir la presión sobre otros cultivos o especies, contribuyendo con ello a suplir la demanda de alimentos.

En este grupo destacan especialmente los insectos, presentando un gran potencial de futuro para el aseguramiento alimentario en el contexto de la bioeconomía, debido tanto a los beneficios medioambientales asociados a su cría, como a su gran calidad nutricional. Se ha demostrado que la producción de proteína a través de la cría de insectos es mucho más eficiente (menores requerimientos de espacio, pienso y agua) y menos contaminante (menores emisiones de gases de efecto invernadero) que la del ganado tradicional. En relación a la calidad nutricional de los insectos, la mayoría de ellos proveen cantidades satisfactorias de energía y proteína, tienen una composición en aminoácidos acorde a los requerimientos para los humanos, son ricos en ácidos grasos mono y poliinsaturados y contienen multitud de micronutrientes y vitaminas.

Finalmente, también es destacable en el contexto de la bioeconomía la obtención de ingredientes por biofactorías, empleando microalgas, bacterias, levaduras, hongos o células animales cultivadas, asistidos o no por técnicas genómicas. Estos sistemas de producción de ingredientes son escalables y en general consumen menos recursos hídricos, así como menos espacio y energía, que la producción convencional de alimentos (por ejemplo, de proteína animal). Algunos ejemplos son las micoproteínas obtenidas a partir de *F. venenatum*, empleadas para la formulación de análogos cárnicos de elevada aceptación sensorial y calidad nutricional (Quorn®); las microalgas de diversos géneros (*Haematococcus*, *Chlorella*, *Spirulina*...), a partir de las cuales se obtienen compuestos bioactivos diversos, proteínas de alto valor biológico y grasas insaturadas; o las células musculares cultivadas, empleadas para la formulación de productos cárnicos de muy próxima comercialización (Memphis meats, Bio Tech Foods).

El envase es una parte esencial de todo alimento comercializado al ser el medio para su contención, protección, distribución y presentación, contribuyendo, por ello, a reducir el desperdicio alimentario. No obstante, la generalización del uso de materiales plásticos procedentes de fuentes no renovables (petróleo) ha generado un considerable problema medioambiental, asociado a su baja o nula degradación

Desarrollo de materiales de envasado más sostenibles

El envase es una parte esencial de todo alimento comercializado al ser el medio para su contención, protección, distribución y presentación, contribuyendo, por ello, a reducir el desperdicio alimentario. No obstante, la generalización del uso de materiales plásticos procedentes de fuentes no renovables (petróleo) ha generado un considerable problema medioambiental, asociado a su baja o nula degradación. Además, la inmensa mayoría de los envases plásticos se desechan inmediatamente después del consumo de los alimentos que contienen, participando en un modelo económico lineal no sostenible.

Las instituciones nacionales y europeas han trazado planes para combatir este problema, entre ellos la prohibición de comercializar utensilios plásticos desechables a partir 2021, fijándose como objetivo que en 2030 el 100% de los envases para alimentos sean reciclables, reutilizables o compostables. La consecución de este objetivo requiere de varias acciones, tales como la reducción del uso de materiales plásticos (evitar

el sobre-ensado, reducir el espesor o complejidad de los materiales, fomentar el uso de envases reutilizables), el desarrollo de tecnologías de reciclado mecánico o químico eficientes, y el desarrollo de materiales de envasado más sostenibles. Cabe señalar que un material de envasado puede ser respetuoso con el medio ambiente bien por su origen (a partir de biomasa o de material reciclado) o bien por ser biodegradable.

Existen polímeros procedentes de fuentes renovables que no son biodegradables (ej. biopolietileno obtenido a partir de caña de azúcar), así como otros de origen petroquímico que sí lo son (ej. policaprolactona, poliesteramidas, copoliésteres). Si bien todos ellos son útiles para determinadas aplicaciones y son alternativas más ecológicas a los plásticos convencionales, en principio aquellos materiales que cumplen ambas características (fuente renovable y biodegradable) son los más interesantes. Dentro de este grupo encontramos los polímeros extraídos directamente de biomasa (proteínas, polisacáridos, lípidos), los polímeros obtenidos mediante síntesis química a partir de monómeros de biomasa (ácido poliláctico y otros poliésteres) y los polímeros producidos por microorganismos (polihidroxialcanoatos, celulosa microbiana).

De todos ellos, los que presentan mayor interés para el fomento de la economía circular son los obtenidos a partir de productos de desecho, subproductos o materias primas infrautilizadas. Con ello se gestiona y se le da uso a estos recursos a la vez que se reduce el uso de materiales no biodegradables procedentes de fuentes no renovables, siempre y cuando el proceso de obtención sea respetuoso medioambientalmente y económico. Si bien el ácido poliláctico ha sido el paradigma del bioplástico, su producción compite con la producción de alimentos (se elabora a partir de granos ricos en almidón), por lo que desde el punto de vista de la bioeconomía no es la opción más ventajosa.

Lo ideal es la producción de biomateriales a partir de subproductos, o en todo caso a partir de materias primas infrautilizadas. Algunos ejemplos son los bioplásticos obtenidos por síntesis microbiana utilizando como sustrato subproductos alimentarios o de otro origen (polihidroxialcanoatos), o aquellos producidos a partir de proteínas, como el colágeno (extraído por ejemplo de las pieles de animales), el gluten de trigo o la zeína de maíz (obtenidos como co-producto de la producción de etanol), o a partir de hidratos de carbono, como el almidón o, especialmente, la celulosa.

El principal inconveniente de los materiales bipoliméricos con vistas al desarrollo de envases, son sus peores propiedades físicas y de barrera, en comparación con los polímeros petroquímicos. Diversas estrategias, como la modificación de las matrices mediante entrecruzamiento (químico, físico, enzimático) o el desarrollo de materiales híbridos mediante la mezcla de polímeros, o la inclusión de agentes de relleno micro o nanoestructurados (biocomposites, nanobiocomposites) permiten la mejora de estas propiedades. Entre ellos las estrategias basadas en la nanotecnología son, sin duda, las que presentan una mayor proyección de futuro, gracias



a las propiedades físicas únicas que presentan las nanoestructuras, debido a su gran relación superficie-volumen. Además, las nanoestructuras (nanofibras, nanocristales, nanopartículas, nanocápsulas...) permiten la vehiculización de compuestos activos, aportando protección y/o control de su liberación, expandiendo los usos y aplicaciones de los envases activos, y contribuyendo, por tanto, a mejorar la calidad y seguridad de los alimentos y a extender su vida útil.

ALIMENTACIÓN Y REDUCCIÓN DE ENFERMEDADES CRÓNICAS NO TRANSMISIBLES (ECNT)

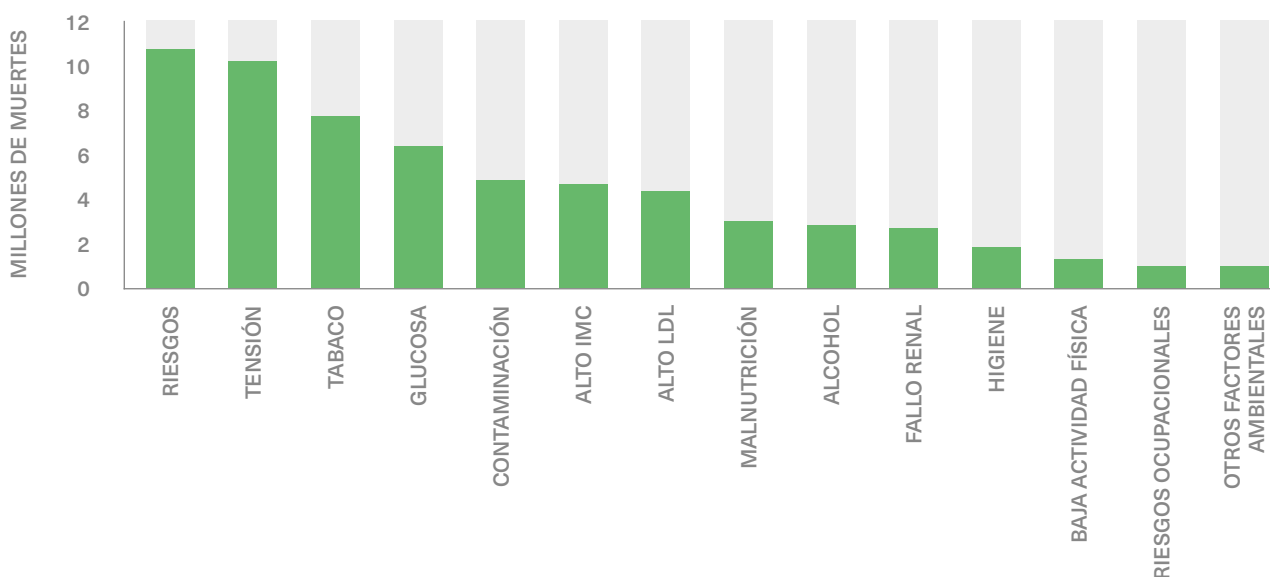
Uno de los mayores retos a los que se enfrenta en la actualidad la industria alimentaria es ofrecer alimentos que cumplan las necesidades nutricionales, de salud, bienestar y conveniencia de los consumidores. Una alimentación y nutrición adecuadas previenen el desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT), que son la principal causa de mortalidad en el mundo actual.

Las ECNT son enfermedades que pueden afectar a cualquier persona y en cualquier lugar, independientemente de su edad o sexo. En 2016, las ECNT fueron responsables del 71% (41 millones) de los 57 millones de muertes que ocurrieron en todo el mundo. Las principales ECNT responsables de estas muertes fueron las enfermedades cardiovasculares (31% de las muertes mundiales), cánceres (16% de las muertes mundiales), enfermedades crónicas respiratorias (7% de las muertes mundiales) y diabetes (3% de las muertes mundiales) (WHO, 2018). Existe evidencia científica sólida de que los patrones de alimentación saludables se asocian con un riesgo reducido de padecer enfermedades cardiovasculares, obesidad y diabetes tipo 2. Estas ECNT se pueden prevenir potencialmente mediante elecciones de estilos de vida saludables, incluida la dieta y la actividad física.

Uno de los mayores retos a los que se enfrenta en la actualidad la industria alimentaria es ofrecer alimentos que cumplan las necesidades nutricionales, de salud, bienestar y conveniencia de los consumidores. Una alimentación y nutrición adecuadas previenen el desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT), que son la principal causa de mortalidad en el mundo actual.

La obesidad es un factor de riesgo importante para la diabetes. El sobrepeso y la obesidad están asociados con un mayor riesgo de enfermedad o muerte por diabetes, enfermedades cardiovasculares y varios tipos de cáncer al aumentar la presión arterial, el colesterol en sangre, la resistencia a la insulina y la inflamación, así como los niveles hormonales. Tanto la obesidad como la diabetes se consideran las verdaderas pandemias del siglo XXI. Una dieta deficiente, definida por un grupo de riesgos dietéticos, es la principal causa de muerte y uno de los mayores factores de riesgo de padecer ECNT (Figura 2). De estos riesgos dietéticos, los más importantes son el bajo consumo de cereales integrales, el alto consumo de sodio o el bajo consumo de frutas, nueces y semillas o verduras (Branca et. al, 2019).

Algunos componentes alimentarios (fibra dietética, compuestos fenólicos, vitaminas, minerales, proteínas) que componen

FIGURA 2 Muertes mundiales por factor de riesgo para todas las edades, ambos sexos, 2017

IMC=Índice de Masa Corporal; LDL=Lipoproteínas de baja densidad.
Fuente: BMJ 2019; 365: I296).

verduras, frutas, cereales integrales, legumbres, nueces y semillas se consideran saludables. Otros, por el contrario, son dañinos cuando se consumen en grandes cantidades, como ocurre con las grasas saturadas, el sodio y los azúcares simples, aumentando el riesgo de enfermedades cardiovasculares y diabetes. Por tanto, al aumentar la ingesta de aquellos alimentos con compuestos protectores y reducir la de los nocivos, se puede reducir el riesgo de ECNT.

Una dieta saludable para reducir el riesgo de ECNT debe estar compuesta de muchas plantas (verduras, frutas, legumbres, cereales integrales, frutos secos y semillas); de proteínas adecuadas (de origen vegetal como legumbres, alimentos a base de soja, nueces y semillas); de alimentos mínimamente procesados (los alimentos integrales son los protagonistas de una dieta saludable) y de pocas grasas saturadas, azúcares añadidos y sodio, debiendo ser, además, equilibrada (obtener los nutrientes necesarios sin consumir muchas calorías).

Los sistemas alimentarios actuales no ofrecen dietas de suficiente calidad nutricional, seguras, asequibles y sostenibles; es más, favorecen la malnutrición, ya sea por deficiencia o exceso de ingesta de alimentos. Para prevenir el progreso de las ECNT relacionadas con la dieta, es necesaria una transformación radical de los sistemas alimentarios para que todos los consumidores tengan acceso a dietas nutritivas, seguras, asequibles y sostenibles.

Los sistemas alimentarios y la infraestructura de la que dependen deben reestructurarse (Branca et al., 2019). Se necesitan reformas para mejorar la disponibilidad de dietas saludables y sostenibles, desde la investigación y la producción hasta el procesamiento, el almacenamiento, el transporte, la comer-

cialización y la venta al por menor. Las políticas alimentarias, agrícolas y comerciales que, a menudo, se diseñan para garantizar la cantidad en lugar de la calidad de los alimentos, deben eliminar los incentivos para producir alimentos menos saludables y crear incentivos para producir alimentos diversos y nutritivos utilizando prácticas sostenibles.

Se debe invertir, además, en el transporte ecológico, almacenamiento e infraestructura de distribución, para brindar acceso a alimentos perecederos y ricos en nutrientes, como frutas y verduras. Se necesitan con urgencia medidas que afecten a la demanda de determinados alimentos: qué compramos, cómo lo preparamos y qué comemos o tiramos. Estas medidas deben incluir acciones para crear entornos alimentarios saludables, respaldados por la educación nutricional, especialmente en los colegios, para garantizar que incluso las personas más vulnerables puedan acceder a dietas saludables. A pesar de que cada vez está más claro lo que debemos hacer, menos de un tercio de los países ha implementado completamente las medidas recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), tales como restringir la comercialización de alimentos no saludables para los niños, gravar las bebidas azucaradas o prohibir las grasas trans industriales.

En resumen, las estrategias para lograr una salud global deben basarse en garantizar una nutrición suficiente, de calidad, segura y saludable, y en educar a la población en hábitos nutricionales saludables. Una dieta saludable es la mejor medicina para reducir el riesgo de ECNT en todo el mundo. De hecho, la dieta también puede utilizarse como tratamiento para aliviar sus síntomas. Esta es una de las razones por las que los consumidores exigen dietas saludables para una salud sostenible.

ALIMENTACIÓN DE PRECISIÓN

En un mundo caracterizado por un abrumador aumento de la prevalencia de la obesidad y las alteraciones metabólicas asociadas, como la diabetes tipo 2 y las enfermedades cardiovasculares, la prescripción nutricional personalizada representa un enfoque prometedor, tanto para la prevención como para el tratamiento de ciertas ECNT. Uno de los principales desafíos actuales de la nutrición clínica es la traducción del creciente aumento de los conocimientos de nutrición básica, en consejos dietéticos aplicables y clínicamente relevantes. Es necesario un esfuerzo conjunto de los científicos y los profesionales de la salud para establecer un marco que permita la implementación de estos nuevos hallazgos a nivel poblacional.

Asimismo, se prevé que, en España, en 2050, las personas mayores de 65 años representen más del 30% del total de la población. Actualmente, este aumento de la proporción de individuos mayores de 65 años constituye una de las transformaciones demográficas más significativas. Además, la vejez se caracteriza por una mayor prevalencia de ECNT y comorbilidades metabólicas asociadas, y está acompañada de numerosos cambios fisiológicos, bioquímicos, biológicos y psicológicos, que alteran los hábitos y las conductas alimentarias y sociales. Por tanto, es necesario encontrar estrategias nutricionales eficaces que establezcan pautas dietéticas adecuadas y adaptadas a las necesidades particulares del adulto mayor y que reduzcan el riesgo de padecer las ECNT más comunes, promoviendo así un envejecimiento saludable.

En los últimos años, la respuesta a la búsqueda de estas estrategias nutricionales eficaces ha sido el concepto de “nutrición personalizada”, que consiste en desarrollar pautas nutricionales específicas para cada individuo según su genética. Sin embargo, a pesar de que, cada vez existen más conocimientos en nutrigenómica, nutrigenética, epigenética o metabolómica, actualmente no existe una base racional para una nutrición que sea verdaderamente personalizada para la mayoría de las personas y que esté basada en las diferencias genéticas interindividuales (aunque cada día estamos más cerca de conseguirlo).

Por el contrario, la “nutrición de precisión”, basada en el estilo de vida de cada persona, puede proporcionar una base más sólida para ajustar la dieta de forma dinámica, adaptándola a las diferentes demandas y requisitos fisiológicos a lo largo del tiempo. La nutrición de precisión se centra en los factores modificables del individuo: aspectos psicológicos y de comportamiento, aspectos culturales o religiosos, situación social y económica... Todos ellos pueden influir en la dieta elegida, el estrés diario y finalmente en las medidas antropométricas.

Todo esto también supone un gran reto para la industria alimentaria, que debe mejorar el perfil nutricional de sus productos afectando de manera positiva en la salud pública global, ya que existe la necesidad de desarrollar alimentos personalizados dirigidos a grupos poblacionales en función de su entorno y necesidades nutricionales especiales por edad, actividad física, estado de salud... En este sentido, ya



La “nutrición de precisión”, basada en el estilo de vida de cada persona, puede proporcionar una base más sólida para ajustar la dieta de forma dinámica, adaptándola a las diferentes demandas y requisitos fisiológicos a lo largo del tiempo. La nutrición de precisión se centra en los factores modificables del individuo: aspectos psicológicos y de comportamiento, aspectos culturales o religiosos, situación social y económica... Todos ellos pueden influir en la dieta elegida, el estrés diario y finalmente en las medidas antropométricas

existen “alimentos para grupos específicos de población”, que se destinan a satisfacer las necesidades nutritivas de grupos específicos, tales como los lactantes y los niños de hasta tres años, las personas con problemas de sobrepeso y obesidad, y las personas con determinadas afecciones (por ejemplo, las que padecen trastornos del metabolismo). La composición y etiquetado de estos alimentos son factores clave para garantizar la salud de estos consumidores, y está regulado por el Reglamento (UE) nº 609/2013.

Existe otro tipo de alimentos destinados a grupos poblacionales con requerimientos específicos que no están bajo este reglamento, como ocurre con los alimentos para personas intolerantes al gluten o intolerantes a la lactosa. En el caso particular de los alimentos libres de gluten, el cambio en la formulación de alimentos que normalmente contienen gluten,

tiene un gran impacto en la calidad nutricional y sensorial del alimento, lo que implica la solución de muchos problemas tecnológicos hasta lograr un producto final de calidad. En general, los nuevos productos desarrollados por la industria alimentaria para este grupo poblacional contienen un alto contenido en almidón y azúcares añadidos con el fin de lograr una calidad sensorial aceptable para el consumidor. El consumo habitual de alimentos con elevado índice glicémico supone un riesgo de padecer trastornos metabólicos, tales como obesidad y diabetes tipo 2, de tal manera que existe una necesidad de desarrollar alimentos libres de gluten seguros y de elevada calidad nutricional y sensorial.

En consecuencia, se prevé que prosperen las empresas que apuesten por la calidad, la innovación, la honestidad y la evidencia científica. La comunidad científica y las empresas del sector deben ser capaces de aprovechar estos avances para desarrollar desde el conocimiento una nueva cadena agroalimentaria más sana, segura y sostenible que mejore la salud y la calidad de vida de los consumidores.

INMUNONUTRICIÓN

Casi un año después de que la Covid-19 se declarase pandemia mundial, los datos de ingresos y muertes indican que las ECNT agravan el pronóstico de Covid-19. Por este motivo la Covid-19 se considera una “sindemia” (Horton, 2020), definida como una interacción sinérgica entre factores socioecológicos y biológicos que provoca resultados adversos para la salud. El virus SARS-CoV-2 y sus interacciones con las ECNT (diabetes, obesidad, cáncer, enfermedades cardíacas e hipertensión) están causando millones de muertes en el mundo. Por tanto, mantener una dieta saludable también es de gran importancia durante una infección. La “inmunonutrición”, el potencial de modular la actividad del sistema inmunológico mediante intervenciones con nutrientes específicos, podría tener un importante papel preventivo ayudando al organismo a luchar contra virus potencialmente letales, como el SARS-CoV-2.

En este contexto, se prevé que la industria se centre en la elaboración de alimentos de elevada calidad sensorial, nutricional y sostenibles, enriquecidos en compuestos para fortalecer

el sistema inmune y reducir el riesgo de ECNT. Es de especial interés en inmunonutrición disponer de alimentos de calidad ricos en proteínas, fibra dietética, prebióticos, probióticos y micronutrientes.

Por ejemplo, en proteínas, es de gran importancia alcanzar la cantidad diaria recomendada de ingesta (0,80-0,83 gr/Kg de peso corporal) para garantizar el correcto funcionamiento del sistema inmune. Las fibras, los prebióticos y los probióticos contribuyen al equilibrio en la microbiota intestinal, que está conectada con el sistema inmune, de tal forma que un desequilibrio en la microbiota está asociado con procesos inflamatorios, translocación bacteriana e infecciones secundarias. Por su parte, determinados micronutrientes (cobre, ácido fólico, hierro, selenio, zinc, vitaminas A, B12, B6, C y D) tienen el reconocimiento por las autoridades sanitarias de que “contribuyen a la función normal del sistema inmune”. Por todo ello, la industria de los alimentos debe trabajar en formular alimentos enriquecidos en estos nutrientes para poder luchar contra la COVID-19 y otras enfermedades ligadas con el sistema inmune.

MICROBIOTA Y ALIMENTACIÓN

En los últimos años, la comunidad científica se ha volcado en el estudio de la microbiota y su implicación en diferentes patologías y en la salud humana en general. La microbiota corresponde al conjunto de microorganismos que se encuentran en el cuerpo humano, principalmente en la cavidad oral, el tracto gastrointestinal, el tracto urinario y la piel.

Una alimentación saludable implica necesariamente el mantenimiento de una microbiota sana y diversa. Numerosos estudios científicos confirman la importancia de la alimentación en el mantenimiento de la salud de comunidades microbianas del intestino. La modulación de la microbiota intestinal a través de la intervención dietética se ha convertido en una estrategia terapéutica y preventiva de enfermedades asociadas a la disbiosis intestinal (un desequilibrio en la microbiota), entre las que se encuentran las ECNT.

De la mano de los científicos, la industria alimentaria debe centrarse en el desarrollo de ingredientes o alimentos con funcionalidades concretas, que sobrevivan a su paso por el tracto gastrointestinal para ser capaces de tener efectos positivos sobre la microbiota y la salud. Asimismo, el apoyo nutricional con probióticos es de gran interés para mantener un equilibrio en la microbiota. Según la OMS, los probióticos se definen como “microorganismos vivos que, cuando se administran en cantidades adecuadas, confieren un beneficio para la salud del huésped”. Los probióticos más utilizados son *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, seguidos de *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Propionibacterium*, *Bacillus* y *Escherichia*.

Además de los probióticos, el apoyo nutricional con prebióticos y fibra dietética es importante para mantener una microbiota saludable. La fibra dietética está formada por polímeros de carbohidratos, que no son digeridos ni absorbidos y están sujetos a fermentación bacteriana en el tracto gastrointestinal



De la mano de los científicos, la industria alimentaria debe centrarse en el desarrollo de ingredientes o alimentos con funcionalidades concretas, que sobrevivan a su paso por el tracto gastrointestinal para ser capaces de tener efectos positivos sobre la microbiota y la salud

y, por lo tanto, tienen un efecto en la microbiota gastrointestinal. Algunas fibras dietéticas también pueden clasificarse como prebióticas, es decir, que ayudan a incrementar la cantidad de bacterias beneficiosas en el intestino.

Como consecuencia, recientemente han cobrado gran interés los alimentos fermentados, alimentos transformados mediante el crecimiento controlado de microorganismos, como bacterias, levaduras e incluso ciertos mohos. Algunos ejemplos de alimentos fermentados son el kéfir, kombucha, yogur, pan de masa madre... Los alimentos fermentados contienen prebióticos o probióticos, y su consumo está

relacionado con beneficios para la salud, tales como mejoras en la digestión y en el sistema inmune.

MODERNIZACIÓN DE LOS SISTEMAS Y PROCESOS PRODUCTIVOS

Hoy en día, las exigencias normativas en materia de seguridad y calidad, las propias exigencias del consumidor, la creciente demanda de alimentos, la aparición de nuevos alimentos y productos, y los intereses de los actores intervinientes, exigen una modernización de los sistemas y procesos productivos. Dicha modernización afecta tanto a los actores implicados en las diferentes fases de producción (productores, industria y cadena de distribución) como a las actividades, incluida la adquisición de materias primas, el procesado y transformación del producto (si fuera necesario), su almacenamiento, su transporte y su oferta al usuario final.

Así, la modernización no afecta solamente a las organizaciones, sino también a las personas, actividades y recursos implicados en transferir el producto final del proveedor al cliente. La modernización debe ir relacionada con una óptima trazabilidad del sistema, que permita la transferencia de información a lo largo de la cadena, así como con el control de la calidad del producto en todo momento. Los actores implicados deben, por tanto, estar conectados, de manera que ellos y las actividades estén vinculados, tanto verticalmente dentro de la cadena como ho-

LO HACEMOS POR TI

FORMA PARTE DE UN GRAN PROYECTO

- CALIDAD GARANTIZADA
- SABOR DE VERDAD
- INCREMENTAMOS TUS CLIENTES EN PUNTO DE VENTA
- CONTRIBUYES A UNA ESTRUCTURA SOSTENIBLE
- TE GARANTIZAMOS UN SERVICIO PREMIUM



Uno de los grandes retos para el futuro es el aprovechamiento de aquellas especies marinas capturadas accidentalmente por la flota pesquera que no sobreviven y que deben ser llevadas a puerto, así como el de especies presentes de manera desproporcionada en determinadas zonas del litoral en forma de plaga. En acuicultura, un gran reto es aumentar la cantidad de especies cultivables, pero de manera sostenible desde el punto de vista medioambiental y económico, promoviendo los cultivos multitróficos y la utilización de piensos ecológicos



rizontalmente, de tal modo que no haya actores que funcionen de manera aislada.

La modernización de los procesos, materiales y sistemas implicados en la cadena alimentaria supone una mejora en la producción y calidad de las distintas especies vegetales, así como de los derivados de las especies animales (leche, huevos, miel, carne, pescado...) e incluso de los productos de la extracción de minerales y de sales de uso en alimentación. La modernización puede establecerse en la fase primaria de la cadena, en la fase de transformación y distribución o en la fase minorista, que, como sabemos, incluye las actividades de venta o servicio al detalle directamente al consumidor final, lo que implica su transporte, su almacenaje, y su manipulación previa a su venta.

Independientemente de la fase en la que se implante, la modernización ha de ser sostenible. En este sentido, las modificaciones en la producción, transformación y distribución de alimentos deben llevarse a cabo de acuerdo con las nuevas normativas que surgirán para minimizar su impacto sobre el medio ambiente y que conducirán a una transición desde una economía lineal hacia una economía circular.

Las estrategias a emplear en este ámbito son muchas y muy variadas; pueden estar interrelacionadas, y conducen a la implantación de las tecnologías "verdes" en cualquiera de las fases de la cadena alimentaria. Algunas mejoras en los procesos productivos podrían ir orientadas a una reducción en el consumo de agua, siendo un ejemplo la aplicación de mejoras en los sistemas de riego sustituyéndose los métodos tradicionales por otros más eficientes (goteo, micro-aspersión...). El uso de cultivos hidropónicos y la producción de animales y vegetales con menores requerimientos hídricos serían otros ejemplos, así como la utilización a nivel industrial de microorganismos fermentadores con menores requerimientos de calor/frío, lo que se traduciría en un menor consumo de agua en los sistemas de calentamiento o refrigeración empleados.

Otras estrategias "verdes" estarían orientadas a aumentar la eficiencia en la utilización de la energía con el mínimo coste

medioambiental y económico, siendo el anteriormente mencionado un claro ejemplo. La disminución de tiempos de procesado, el uso de tecnologías más eficientes energéticamente que las tradicionales (ej. procesado no térmico) o la aplicación de sistemas de reaprovechamiento hídrico y energético, tanto en industrias alimentarias en tierra como en barcos factoría de procesado de pescado, serían otros ejemplos, así como la sustitución de energías fósiles por alternativas de origen renovable.

La sustitución de agentes químicos contaminantes por alternativas más limpias y seguras sería otra manera de abordar la modernización de determinados procesos productivos desde una perspectiva "verde". Un ejemplo sería la sustitución de conservantes sintéticos por extractos naturales, o de disolventes orgánicos por nuevos disolventes más respetuosos con el medioambiente, como los disolventes eutécticos profundos naturales (NADEs), procedentes de fuentes renovables, o incluso la disminución de su uso gracias a la implantación de técnicas limpias de extracción, tales como los fluidos supercríticos, el uso de microondas...

Igualmente, la modernización debe implicar una mayor valorización de los subproductos generados, tales como las proteínas del suero de quesería, los recortes de músculo de carne o de pescado, las plumas, los caparzones de crustáceos, las valvas de moluscos, y también los subproductos vegetales, como pulpas o cáscaras. Todos ellos deberán ser reincorporados al proceso productivo dentro de una política de "residuos cero", ya sea en su reutilización para obtener productos comercializables, dentro o fuera del proceso productivo, y/o para obtener energía. Esto conlleva un mayor conocimiento de la composición de estos residuos, así como de su calidad y seguridad, y de sus potenciales aplicaciones tecnológicas y/o funcionales, además de modificar los procesos y sistemas a aplicar para su aprovechamiento.

En pesca, es necesario vislumbrar cómo podemos hacer un mejor uso de los mares y océanos y sus recursos, pero cumpliendo con su conservación y utilización sostenible, para lo cual será necesario un cambio en la política de explotación de

las especies marinas. Uno de los grandes retos para el futuro es el aprovechamiento de aquellas especies marinas capturadas accidentalmente por la flota pesquera que no sobreviven y que deben ser llevadas a puerto, así como el de especies presentes de manera desproporcionada en determinadas zonas del litoral en forma de plaga. En acuicultura, un gran reto es aumentar la cantidad de especies cultivables, pero de manera sostenible desde el punto de vista medioambiental y económico, promoviendo los cultivos multitróficos y la utilización de piensos ecológicos.

Sin dejar de lado los aspectos medioambientales anteriormente mencionados, la modernización de los procesos y sistemas productivos deberá, además, tener en cuenta en todo momento las reglamentaciones técnico-sanitarias dictadas por las autoridades nacionales y europeas, y no conducir a mermas en la calidad organoléptica y sensorial del producto final. Asimismo, el nuevo escenario asociado al cambio climático, con un aumento de las temperaturas y de los periodos de sequía, hará necesario adaptar los sistemas primarios terrestres y acuáticos a estas nuevas condiciones.

En este sentido, la modernización de los procesos y sistemas no solamente deberá orientarse a la aplicación de procesos más respetuosos con el medio ambiente. Hay que tener presente que hoy en día la gran demanda de alimentos implica la necesidad de diversificar el origen de las materias primas, con lo que los esfuerzos deben centrarse, además, en profundizar en todos los aspectos relacionados con el cultivo y cría de especies alternativas, animales y vegetales, infrautilizadas. Esto cobra especial relevancia en zonas geográficas desfavorecidas y afectadas por la pobreza, la sequía o la escasez de recursos naturales, en los que el fomento del cultivo de especies vegetales ancestrales o modificadas genéticamente (más adaptadas a las nuevas condiciones ambientales), así como la crianza de especies animales autóctonas más resistentes a plagas y enfermedades, o incluso de insectos, serán algo necesario a corto o medio plazo. Las plantas halófitas y marinas, capaces de crecer en terrenos salinos y en agua dulce o salada respectivamente, son cultivos que a medio-largo plazo cobrarán especial relevancia dada la progresiva desertificación de los terrenos cultivables.

En los países desarrollados, tanto el ritmo de vida como la inversión paulatina de la pirámide poblacional, asociada a un aumento en la esperanza de vida y a un descenso de la natalidad, conducen a cambios en la demanda de determinados alimentos y productos que deben ser tenidos en cuenta por las empresas del sector. La creciente demanda de productos *ready to eat*, orgánicos, veganos, para alérgicos, funcionales... puede llevar a la sustitución de determinados ingredientes o aditivos por otros más saludables. Asimismo, puede conducir a la reducción de su contenido y/o a modificaciones en la fase de producción primaria o en fases más avanzadas, afectando a procesos como el lavado, el pelado, el cortado, el triturado, la extracción de diversos componentes (ej. zumos, o grasas), la refrigeración, la congelación, el secado, la esterilización, el mezclado, los tratamientos culinarios, el envasado, el transporte...

La modernización puede estar también orientada a la utilización de nuevos materiales. En este ámbito, la nanotecnología tiene y tendrá un impacto muy relevante para la cadena alimentaria, desarrollando nanomateriales con los que fabricar nanosensores y nanosondas, con aplicaciones por ejemplo en el campo de los envases, y que aumentan la sensibilidad y exactitud de los sensores habitualmente utilizados por la industria alimentaria.

Por su parte, los bioplásticos tienen grandes aplicaciones en el envasado de alimentos y productos, como se ha visto anteriormente, para elaborar recubrimientos comestibles o como sistemas de liberación controlada de compuestos activos. Los bioplásticos pueden obtenerse a partir de fuentes renovables y biodegradables derivadas de procesos de transformación de alimentos, y tienen su interés en otros ámbitos dentro de la cadena alimentaria.

La Inteligencia Artificial (IA) o el Machine Learning se van abriendo sitio en la cadena alimentaria, dadas sus múltiples aplicaciones. Por ejemplo, en el desarrollo de alimentos personalizados, con combinaciones de nutrientes y vitaminas acordes a las necesidades de cada consumidos. La IA tiene, además, otras aplicaciones dentro del proceso productivo, como, por ejemplo, para evitar excedentes de producción o para buscar sustitutos de algunos ingredientes o para combinarlos de manera adecuada para conseguir sabores y texturas determinados

Para que estos cambios en los procesos productivos sean exitosos, y en línea con el desarrollo sostenible, con las demandas del consumidor y con las legislaciones técnico-sanitarias existentes, será necesario que estén reforzados por el impulso de distintas áreas del conocimiento, como la genética, la biotecnología, la inteligencia artificial (IA) o la nanotecnología. La modernización debe además ir asociada a la implementación de un modelo de industria 4.0, con la integración de procesos automatizados y la digitalización, y apoyándose en el desarrollo de redes de quinta generación (internet de las cosas), en la utilización de robots colaborativos, de herramientas robotizadas y en el aprovechamiento del Big Data.

La Inteligencia Artificial (IA) o el *Machine Learning* se van abriendo sitio en la cadena alimentaria, dadas sus múltiples aplicaciones. Por ejemplo, en el desarrollo de alimentos personalizados,



con combinaciones de nutrientes y vitaminas acordes a las necesidades de cada consumidos. La IA tiene, además, otras aplicaciones dentro del proceso productivo, como, por ejemplo, para evitar excedentes de producción o para buscar sustitutos de algunos ingredientes o para combinarlos de manera adecuada para conseguir sabores y texturas determinados. Igualmente, la IA puede ser útil para recopilar información sobre las tendencias, necesidades y preferencias de los consumidores, lo que puede ayudar a disminuir el desperdicio de alimentos y a ofrecer los productos de acuerdo a su respuesta conductual y fisiológica. La IA tiene también importantes aplicaciones de utilidad para el comercio minorista y consumidor, por ejemplo, mediante aplicaciones con las que se puede monitorizar la calidad de los alimentos. En la fase primaria, la IA podrá ayudar a realizar una agricultura de precisión, determinando qué especies vegetales de cultivo y qué variedad de semillas son las más adecuadas para cultivar en función del tipo de suelo, resistencia a plagas determinadas, necesidades del mercado... ayudando a seleccionar los insumos agrícolas más adecuados, o desarrollando herramientas que permitan la clasificación de productos agrícolas por técnicas basadas en sensores ópticos según los estándares de calidad...

Asimismo, la modernización puede conllevar la implantación en los procesos productivos de distintas herramientas de gestión. Por ejemplo, el Análisis del Ciclo de Vida (LCA) es una herramienta que permite evaluar el impacto medioambiental de un proceso o incluso de un producto a lo largo de toda su vida útil. La implementación de otras herramientas de gestión, como los sistemas avanzados de trazabilidad que cubran todas las fases de la cadena, es otro aspecto que, aunque a día de hoy se va implantando, tiene también un largo recorrido por delante, dado su gran interés económico para los distintos actores de la cadena. Su implantación permite, además, atender las deman-

das del consumidor, cada vez más demandante de información acerca del alimento o producto antes de su compra.

CONCLUSIONES

Las nuevas tendencias en alimentación y, como consecuencia, la adaptación y modernización de la industria alimentaria para satisfacer las demandas de los consumidores requieren de un trabajo multidisciplinar. Ello implica la participación de expertos en ciencia y tecnología de los alimentos, salud, biotecnología, ciencias medioambientales, inteligencia artificial, sociología y economía.

Todos ellos han de trabajar de manera coordinada para lograr una alimentación variada, equilibrada, respetuosa con el medio ambiente, sostenible, más saludable, de precisión, encaminada a reducir enfermedades crónicas, fortalecer el sistema inmune y asegurar la salud holística, de elevada calidad sensorial, segura, suficiente para todos y al alcance de todos los bolsillos. El reto es grande y ambicioso, pero viable con la implicación de todos estos actores.

AGRADECIMIENTOS

Los conocimientos que se aportan en este trabajo son fruto de la experiencia acumulada por los autores del mismo y derivada del desarrollo de los siguientes proyectos de investigación en fase de ejecución: "Utilización de nanoestructuras obtenidas a partir de desechos como estrategia de mejora de matrices biopoliméricas aplicadas al envasado activo y biodegradable de miosistemas" (PID2019-108361RB-I00) y "Nuevas bebidas de subproductos de café para una óptima salud del eje cerebro-intestinal" (COFFEE4BGA, PID2019-111510RB-I00), financiados ambos por el Ministerio de Ciencia e Innovación; "Unlocking novel product possibilities and barriers for commercial utilization of whitefish residual raw materials onboard factory trawler" (WHITEFISH), financiado por el Gobierno de Noruega. ■

NOTAS

1 Oscar Martínez-Alvarez y Joaquín Gómez-Estaca son investigadores del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición (ICTAN, CSIC). Este Centro ha implementado y posee actualmente la certificación de su Sistema de Gestión de Calidad bajo la norma ISO 9001:2015. Amaia Iriondo-DeHond y María Dolores del Castillo son investigadores del Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación (CIAL, CSIC-UAM).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- World Health Organization (WHO) (2018), *Noncommunicable Diseases Country Profiles 2018*; ISBN 9789241514620.
- Branca, F.; Lartey, A.; Oenema, S.; Aguayo, V.; Stordalen, G. A.; Richardson, R.; Arvelo, M.; Afshin, A. (2019), "Transforming the food system to fight non-communicable diseases", *BMJ*, 364, doi:10.1136/bmj.l296.
- Horton, R. (2020) (offline): "COVID-19 is not a pandemic", *Lancet*, 396, 874, doi:10.1016/S0140-6736(20)32000-6.