

# Características químicas nutricionales y funcionales de los alimentos

MARÍA ISABEL MÍNGUEZ MOSQUERA, ANTONIO PÉREZ GÁLVEZ. GRUPO DE QUÍMICA Y BIOQUÍMICA DE PIGMENTOS. DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA DE ALIMENTOS. INSTITUTO DE LA GRASA (CSIC). SEVILLA



*El concepto de calidad sensorial es difícil de definir porque no está ligado exclusivamente a características o propiedades intrínsecas del alimento sino que es el resultado de la interacción entre éste y el consumidor (Figura 1).*



**D**urante los últimos 10-15 años la noción que la industria y el consumidor tenían de los alimentos se ha modificado sustancialmente. Las diversas crisis que arrasaron los mercados alimentarios durante ese periodo habían propiciado una falta de confianza del consumidor en el funcionamiento de la cadena alimenticia. La discusión sobre la aplicación de nuevas tecnologías, como la modificación genética, no hizo sino introducir nuevos temores y mayor confusión. Esta tendencia negativa (el alimento se concibe como un elemento potencialmente peligroso para la salud al contener contaminantes, virus, bacterias y polución orgánica e inorgánica) se incrementaba con la investigación en nutrición y las advertencias de los organismos de salud pública que recomendaban modificar los hábitos dietéticos en la ingesta de macro y micro-nutrientes (grasas, proteínas, azúcares, fibra y constituyentes inorgánicos). A consecuencia de todo esto se produjo una modificación progresiva de la dieta y del concepto de alimento, transformando con ello la percepción del mismo. El consumidor se hace más responsable de su alimentación y muestra su deseo de cambiar los hábitos dietéticos hacia una dieta saludable, pero demandando la introducción de componentes “positivos” que contribuyan a la salud más que la exclusión de ingredientes considerados “negativos”. Conceptos como “antioxidantes”, “regulación del colesterol”, “ $\omega$ -3”, “pro-bióticos”, “enriquecido en fibra” inundan el vocabulario actual con la idea de que con ellos se puede mantener e incrementar la salud.

A este cambio de tendencia han contribuido enormemente los siguientes factores:

1. Los estudios epidemiológicos que demuestran que con una dieta sana y equilibrada, que incluya la mezcla óptima de compuestos fito-químicos, se reduce el

riesgo de contraer una serie de enfermedades crónicas de carácter degenerativo.

2. El envejecimiento de la población mundial. En 1999 la población mayor de 60 años representaba el 19% mientras que para 2050 será un 33%. En España se espera que para 2010 esa población alcance los 7.5 millones de personas con edades entre los 75 y 85 años lo que constituye una nueva redistribución de la vejez. Por sí este he-

rácter neuro-degenerativo que también están relacionadas con la dieta.

4. Aumento de los costes de sanidad que representan actualmente entre el 20% y el 30% del presupuesto total en los países Occidentales.

Ante esta situación el consumidor toma una actitud activa y se hace responsable de su propia salud a través de la alimentación, demandando productos con renovadas características nutriciona-

## Nuestra alimentación se caracteriza por el consumo de productos de alto contenido calórico

cho es suficiente para modificar el concepto y tipo de alimentación ya que aunque la tercera edad requiere una menor contribución energética, necesita mantener su ingesta en micronutrientes lo que implica la demanda de alimentos con un contenido nutricional de mayor densidad (alimentos enriquecidos) y además de mayor digestibilidad (alimentos modificados). Este factor se concatena con los dos siguientes:

3. Aumento en el nivel de dependencia de esa población, por el desarrollo de nuevas enfermedades crónicas de ca-

les, y la industria alimentaria responde ante esta demanda introduciendo dos medidas:

1. La aplicación de tecnologías de procesamiento emergentes para obtener alimentos seguros y saludables implementando la trazabilidad.

2. La creación de productos alimentarios, que ayuden al consumidor a mantener e incrementar su salud: los alimentos con ingredientes funcionales.

La investigación en ciencia y tecnología de alimentos ha contribuido positivamente a estos cambios generando los aspectos tecnológicos necesarios para de-

**TABLA 1: FACTORES LIGADOS AL ESTUDIO DE INGREDIENTES FUNCIONALES Y DISEÑO DE NUEVOS ALIMENTOS**

Factor clave	Causa/Efecto
Investigación Valor añadido – industria – consumidor	<b>Nuevos ingredientes, mecanismo de acción</b>  “Know-how”, ventaja competitiva Promoción de la salud
Diseño y digestibilidad RDA, UL, toxicología	
Aplicaciones	Alternativas
Grupo de población	General, definido, indefinido
Aspectos legales	Definición, dosificación

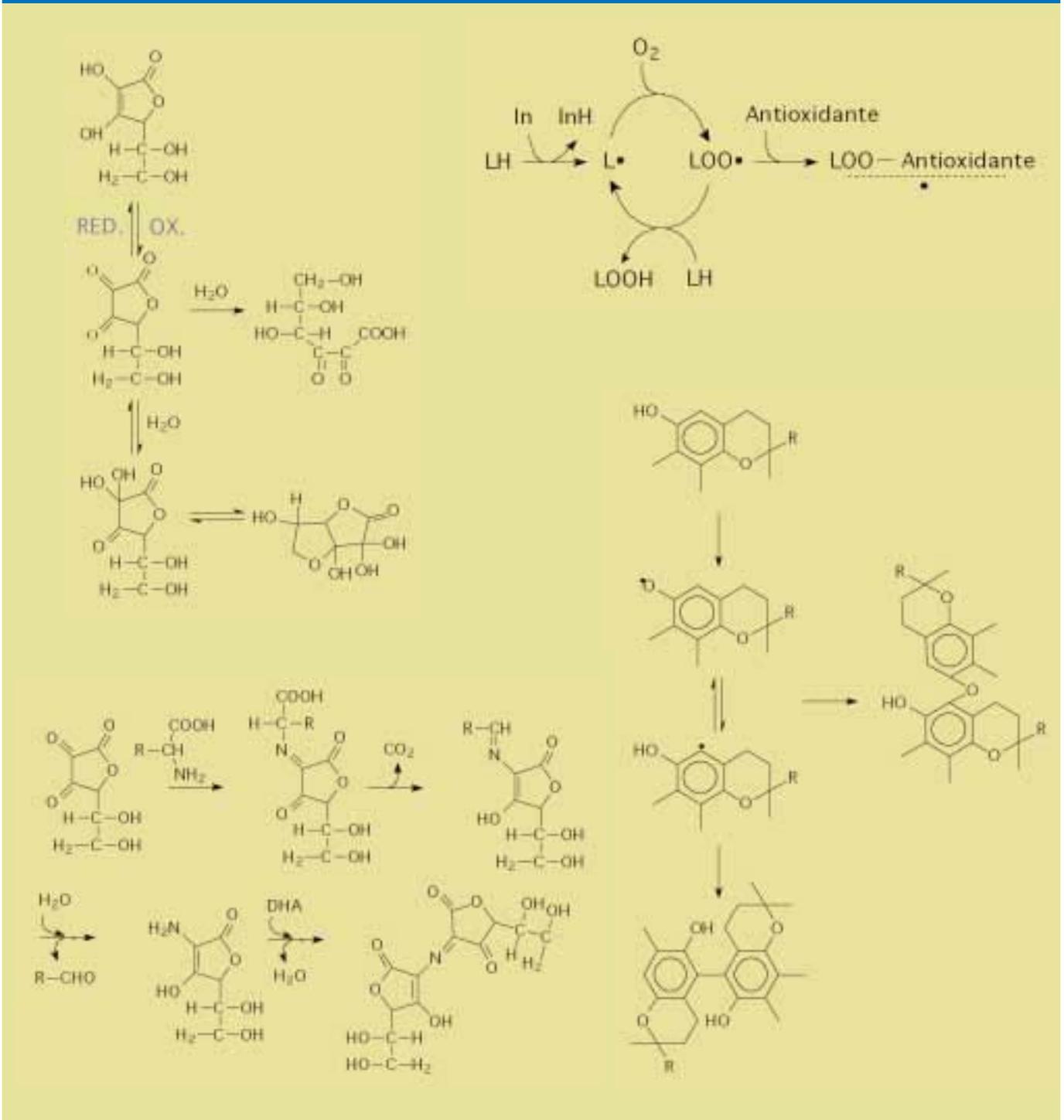
sarrollar nuevos procesados, y delimitando los beneficios y riesgos de nuevos ingredientes alimentarios, recurriendo a la biomedicina. Para ello ha sido, es y será necesario que la investigación en ciencia de alimentos sea multidisciplinar y con ello capaz de aunar las características químicas, nutricionales y funcionales de los ingredientes de los alimentos para concretar los siguientes elementos:

1. El empleo de técnicas de procesado que aseguren el contenido nutricional del alimento modificando su funcionalidad en su sentido tecnológico: *proceso y funcionalidad*.
2. El *diseño de alimentos funcionales* más que introducir ingredientes funcionales en la dieta por el mero hecho de serlos.
3. La *evaluación de las características nutricionales* y funcionales de los ingre-

dientes alimentarios.

Como se ha mencionado existen dos acepciones del término funcional, y que incluyen su significado "*tecnológico*" y su significado "*fisiológico*". Ambas acepciones, junto con la propiedad nutricional surgen a partir de las características químicas de los ingredientes que componen los alimentos, principalmente por la estructura y presencia de grupos reactivos

FIGURA 1. REACCIONES REDOX PARA ANTIOXIDANTES TIPO Y ESQUEMA DE LOS PROCESOS DE AUTOOXIDACIÓN LIPÍDICA





característicos de dichos componentes. De las características químicas se derivan, el valor nutricional del producto y su atractivo sensorial, y son el origen del desarrollo, durante y después del procesado del alimento, de cambios tanto convenientes como indeseables. Y posteriormente, cuando dichos ingredientes son ingeridos, éstos participarán en las actividades metabólicas del organismo por las que tienen un valor nutricional determinado, y en ocasiones un beneficio extra del cual se deriva su carácter funcional en el sentido fisiológico.

### Procesado y funcionalidad

El concepto de funcionalidad tecnológica implica que a partir de la interacción

## La microencapsulación evitaría los problemas de inestabilidad de AGPI

de los constituyentes en el alimento, interacción propiciada o acentuada por las condiciones de procesado, emergen las características, tanto organolépticas como nutricionales, adecuadas para satisfacer la demanda del consumidor pero también cambios negativos. El análisis y aplicación de la funcionalidad tecnológi-

ca hace posible el desarrollo de técnicas que favorezcan los cambios positivos y minimicen los negativos.

En la mayoría de los casos estos últimos afectan principalmente a los componentes clave del alimento, modificando entonces la estructura química de micronutrientes como antioxidantes, vitaminas, minerales y compuestos fitoquímicos. Nuestra alimentación está caracterizada por el consumo de productos con alto contenido calórico que se ha incrementado a lo largo de la historia, con productos deficientes en los micronutrientes anteriormente mencionados bien porque la selección de la materia prima sea inadecuada bien por el impacto negativo del procesado. El desarrollo de las tecnológi-

as emergentes hace y hará posible un procesado más suave, el descenso tanto en el

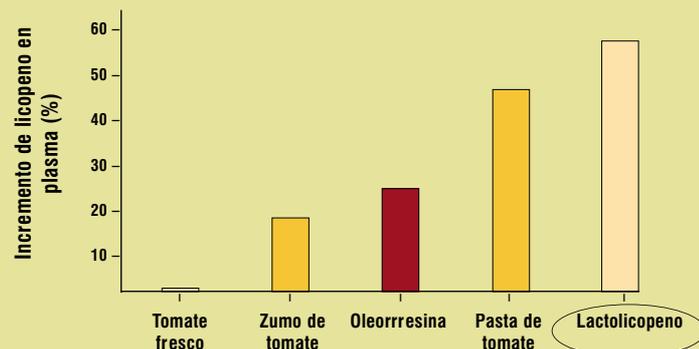
empleo de aditivos como en el uso de grasas y azúcares, y el uso más acertado de los envasados. Estas expectativas se pueden hacer realidad sin afectar a la estabilidad del producto mediante el desarrollo de las mencionadas técnicas emergentes aplicadas a la estabilidad biológica (preservación) y química (conservación).

Durante estos procesados, las características químicas de los componentes de los alimentos, grupos funcionales de mayor o menor reactividad, de carácter electrófilo o nucleófilo, se modifican al interaccionar los distintos constituyentes entre sí, siendo alguna de las modificaciones más representativas las que se presentan en la Figura 1. Estas reacciones son generalmente procesos redox como las que afectan a distintos antioxidantes, por las que se transforman los grupos funcionales de la molécula o su estructura cambiando completamente las propiedades originarias que de ellas se derivaban. Entre las reacciones que afectan negativamente a las cualidades organolépticas y nutricionales de los alimentos se describen a las reacciones de autooxidación lipídica y las de Maillard.

Una estrategia bastante frecuente para evitar estos procesos es la aplicación de métodos endógenos, es decir, *disminuir* la susceptibilidad a la oxidación de la fracción lipídica modificando el contenido en ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) y su distribución en los triglicéridos, o *modificar* la interfase de la matriz lipídica. La década pasada implicó cambios sustanciales en el tipo de aceite comestible que



**FIGURA 2. PORCENTAJE DE INCREMENTO DE LICOPENO EN PLASMA TRAS LA INGESTA DE TOMATE CRUDO, ZUMO DE TOMATE, OLEORRESINA DE TOMATE, PASTA DE TOMATE Y LACTOLICOPENO.**





se procesaba gracias a la introducción de nuevas especies vegetales con proporciones de AGPI más adecuadas, considerando su estabilidad. La hidrogenación reduce el contenido en AGPI del aceite de soja desde el 61% hasta el 2% incrementando el 100% en grasa saturada y el 50% en forma *trans*, ambas cuestionables desde el punto de vista nutricional. El caso de los aceites de pescado resulta más llamativo ya que el 90% de su producción es sometida a hidrogenación para producir margarinas y aceites de fritura. La investigación debe proporcionar herramientas adecuadas para el procesado y conservación de este tipo de aceites ricos en ácidos grasos  $\omega$ -3. En este sentido se definen dos líneas de investigación: el diseño de lípidos estructurales y la modificación de la matriz alimenticia.

La esencialidad en nutrición de algunos ácidos grasos de la familia  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 se contraponen a la generación de procesos degradativos que tienen su origen en la naturaleza poliinsaturada de los ácidos grasos. Ambos aspectos se pueden conciliar mediante el uso de lípidos estructurales, aquellos que presentan una composición en ácidos grasos y una distribución de esos ácidos en glicerol, definidas. Un

ejemplo de ellos son los triglicéridos con ácidos grasos de cadena media (AGCM) que al presentar un metabolismo distinto son fuente de energía directa. Estos lípidos se aplican para cubrir las necesidades nutricionales de pacientes hospitalizados o aquellos con problemas en la digestión de grasas. También se utilizan

en la elaboración de alimentos de bajo contenido calórico. Para no faltar a la provisión de ácidos grasos poliinsaturados, esenciales para el organismo, se combinan de forma específica AGCM y AGPI en triglicéridos como el que les presenta en esta transparencia. La colocación de AGCM en las posiciones 1 y 3 y del AGPI en 2 es la más ventajosa para favorecer la absorción de estos componentes y sus efectos beneficiosos en la salud. Además se disminuye la proporción de AGPI con lo que aumenta la estabilidad oxidativa del alimento del cual forman parte. Tanto la aplicación, como los beneficios de los lípidos estructurales están muy definidos, por lo que el aporte de la investigación incide sobre los aspectos relacionados con la elaboración de estos lípidos, que se pueden producir por

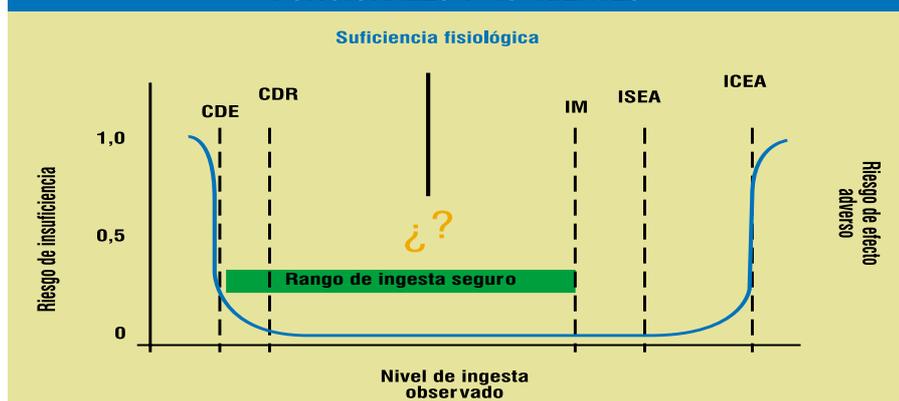
métodos enzimáticos o químicos. Los métodos químicos generan mezclas al azar de triglicéridos utilizando condiciones de procesado muy drásticas con un impacto negativo sobre los AGPI. Es el procesado enzimático, que ofrece una

## Los consumidores varían sus hábitos hacia una dieta saludable

mayor selectividad en la composición y en la distribución, el de mayor futuro y en el que se centran los estudios actuales.

La segunda línea de investigación propone la modificación de la interfase de la matriz lipídica como alternativa para prevenir las interacciones negativas entre lípidos y los productos derivados de su oxidación, y el resto de componentes del alimento. Con técnicas como la microencapsulación se evitarían los problemas referentes a la inestabilidad de AGPI, su desplazamiento por grasas saturadas, así como el excesivo uso de la hidrogenación. Actualmente se desarrollan materiales de recubrimiento adecuados no solo para ácidos grasos sino también para vitaminas y minerales. Un ejemplo de completa actualidad es el uso de liposomas en nutrición por sus adecuadas pro-

**FIGURA 3. COMPARACIÓN DE LOS EFECTOS FISIOLÓGICOS DURANTE EL AUMENTO EN LA INGESTA DE INGREDIENTES FUNCIONALES Y NUTRIENTES**



propiedades como distribución de tamaños, eficiencia en la encapsulación y capacidad de emulsión. Además de la contribución a una mayor estabilidad del material encapsulado se deriva otra función muy interesante y que les quiero reseñar: el aumento de la biodisponibilidad de micronutrientes insertados en liposomas. Los nutrientes encapsulados en liposomas son absorbidos más eficientemente al mejorarse aspectos como su solubilización y estabilización, mayor grado de micelarización, o entrada directa en el torrente sanguíneo. La evolución de esta línea de investigación pasa por el desarrollo de materiales de encapsulación adicionales para estabilizar los liposomas en el tracto intestinal, como los polímeros, y la mejora de los métodos de obtención de estas partículas lipídicas.

Relacionado con este campo de trabajo y con los micronutrientes en los que se centran nuestras tareas de investigación, los carotenoides, se expone el siguiente ejemplo que reúne los elementos comentados hasta este punto: la eficiencia en el control de la interacción química de diversos componentes, y el diseño e innovación en el procesado de ingredientes clave modificando la matriz en la que se incorporan. En concreto se trata de una reciente formulación que utiliza a licopeno como ingrediente nutricional: el lacto-licopeno. Esta formulación aumenta significativamente la estabilidad de licopeno al preservarlo del contacto con compuestos oxidantes. Pero además incrementa considerablemente la biodisponibilidad de este caroteno en comparación con las fuentes naturales y productos derivados caracterizados por la presencia de licopeno. Como se observa en la Figura 2 el incremento de licopeno en plasma respec-

to al nivel basal es significativamente superior cuando se suministra a este caroteno encapsulado en comparación con cualquier otra fuente de licopeno. A falta de delimitar la estabilidad de esta preparación al interactuar con otros componentes del alimento, la mejor solubilidad junto con el incremento en biodisponibilidad que presenta posibilitan su uso en el diseño de formulaciones de alimentos como los zumo-lácteos.

Nuestra contribución actual a los aspectos relacionados con el procesado y funcionalidad se basa en el signo contrario de las interacciones químicas que he expuesto hasta el momento, cuando a través de ellas se producen cambios *positivos*. En concreto se trata de las modi-



## Se da un efecto positivo en la salud humana ante la presencia de algunos ingredientes de los alimentos

ficaciones del potencial antioxidante de alimentos de origen vegetal durante el procesado. Las condiciones de procesado pueden producir diversos efectos sobre esta capacidad: ningún cambio, una disminución o un aumento, siendo este último caso el más interesante y que tendría lugar a través de reacciones redox que modificarían el estado de oxidación que presenta inicialmente el compuesto al que se le atribuyen propiedades antioxidantes. Por ejemplo, los antioxidantes fenólicos con un estado intermedio de oxidación muestran una mejor eficiencia antioxidante en comparación con estados no oxidados. Promoviendo una oxidación, bien enzimática bien química, se puede aumentar la capacidad antioxidante inicial. En qué medida se produce dependerá de las condiciones de proce-

sado y a variables intrínsecas del alimento (actividad de agua, pH, tiempo, temperatura, disponibilidad de oxígeno). Más interesante resulta la formación a partir de las interacciones químicas, de nuevos compuestos con actividad antioxidante. Ejemplo de ello son los productos de reacciones de Maillard, que a pesar de que son consumidos en grandes cantidades en nuestra dieta todavía se desconocen datos acerca de su efecto en la salud humana lo que será una línea de investigación de futuro.

El tratamiento térmico también produce efectos desiguales sobre la capacidad antioxidante de la matriz alimentaria. Para tratamientos cortos se produce una reducción de la actividad antioxidante total debido a la pérdida de antioxidantes o a la formación de compues-





tos con propiedades prooxidantes. Un tratamiento térmico prolongado podría minimizar la pérdida e incluso aumentar la originaria capacidad antioxidante. La investigación en este tema debería abordar aspectos como la identificación de nuevos compuestos formados durante el procesado que muestren actividad anti-prooxidante, los mecanismos de reacción responsables de ello, y su efecto en la capacidad antioxidante global. Determinar su biodisponibilidad y acción en sistemas *in vitro* completaría información sobre la contribución de estos nuevos compuestos al binomio alimento-salud.

### Diseño de alimentos funcionales

Una mejora en el procesado, modulando tanto el efecto de las condiciones físicas aplicadas como la interacción química que da origen a la funcionalidad

tecnológica está dando paso a un cambio en la producción y gama de alimentos disponibles, con renovadas propiedades nutricionales y funcionales. Como se indicaba en la introducción, los estudios epidemiológicos demuestran el efecto positivo en la salud humana de ciertos ingredientes de los alimentos, que incluyen no solo las 30 vitaminas y minerales requeridos básicamente en nutrición, sino otros como antioxidantes, AGPI, probióticos etc, ingredientes que son utilizados en la fabricación de alimentos. Para hacer efectiva la potencial aplicación de las características funcionales de los alimentos es necesario que la industria agroalimentaria modifique su cadena de producción. Actualmente ésta elabora la

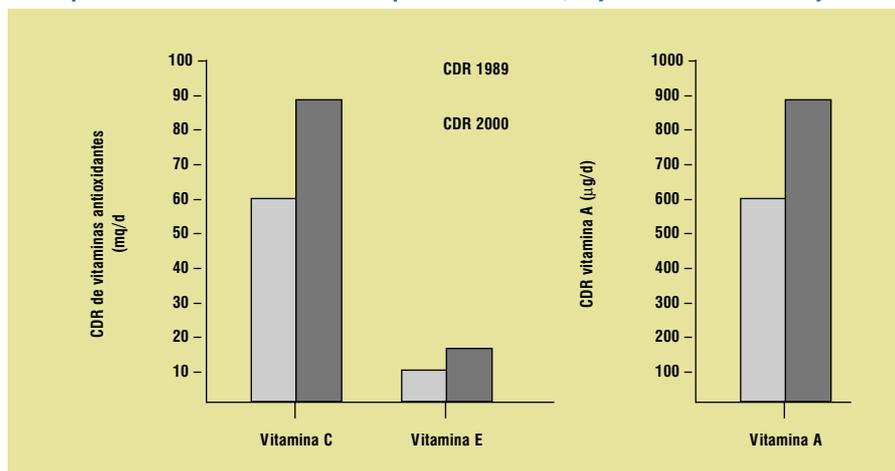
materia prima para la obtención de productos estándar que llegan al consumidor, prestando especial atención a la reducción de costes y aumento de la producción. La nueva cadena de producción agroalimentaria, estará condicionada por la introducción de ingredientes funcionales y la mejora en la calidad, elaborando productos intermedios que se utilizarán posteriormente en la fabricación del alimento final que satisfaga la demanda del consumidor.

La introducción de los ingredientes funcionales, en este proceso de innovación en la industria agroalimentaria tiene su origen en los factores expuestos en la tabla 1. En primer lugar la investigación dedicada a éste área de trabajo, que aporta los conocimientos básicos sobre los aspectos nutricionales y funcionales de los ingredientes. El valor añadido de esos ingredientes se utiliza en la industria agroalimentaria como una ventaja competitiva, promocionando los efectos beneficiosos para la salud del consumidor. Otros aspectos no menos importantes son la diversidad de aplicaciones que sean posibles, los grupos de población a los que el producto está dirigido y los aspectos legales. Pero el factor clave a destacar es el papel del diseño y digestibilidad de los alimentos (con características funcionales o no) en el que existe un vacío de información tanto en el ámbito de investigación como de uso en la producción. Aspectos no considerados como los toxicológicos, la dosis adecuada que

## La producción agroalimentaria condicionará la introducción de alimentos funcionales y su calidad

FIGURA 5

Comparación de los niveles de CDR para vitaminas A, C y E en los años 1989 y 2000.



ejerce el efecto beneficioso en la salud, y la interacción durante la digestión y absorción de los distintos componentes del alimento, son de especial importancia, y sobre los que la investigación debe afrontar una necesaria labor en un futuro inmediato.

Para ello se considera el concepto de funcionalidad desde su sentido fisiológico. Los componentes que forman parte de los alimentos, una vez ingeridos, absorbidos y metabolizados interaccionarán con biomoléculas, interacción de la que se deriva un efecto fisiológico concreto: reducción del colesterol, disminución del azúcar en sangre, regulación de la presión arterial o reducción del riesgo de desarrollar enfermedades degenerati-



vas (cáncer, cardiovasculares, neuronales). Estos efectos que provocan un beneficio en la salud y los ingredientes que los realizan han llevado a la creación del concepto alimento funcional que se define como aquel alimento o ingrediente que tiene un impacto positivo en la salud del individuo más allá de su valor nutritivo, mediante mecanismos de acción que mejoran el estado salud y bienestar. Desde un punto de vista práctico, un alimento funcional puede ser: un *alimento natural*, un alimento del que un ingrediente se ha eliminado, alimento en el que la naturaleza de uno o más ingredientes se ha modificado, alimento en el que la biodisponibilidad de uno o más componentes se ha modificado, o cualquier combinación entre las posibilidades anteriores. En estos ejemplos se puede apreciar la importancia de la funcionalidad tecnológica.

La estrategia para desarrollar los alimentos funcionales parte de la evaluación de ingredientes considerando sus propiedades. Y en este punto se puede realizar un primera clasificación de ingredientes funcionales: aquellos presentes, o específicamente adicionados, en los alimentos que producen su efecto fisiológico funcional pero que no muestran características nutricionales, y aquellos en los que ambas características (nutrición y funcionalidad) coexisten. La posibilidad de que ingredientes alimentarios clásicos, en los que el aspecto nutricional era el que los definía más claramente, tengan características funcionales es actualmente punta de lanza en investigación y está revolucionando y renovando todos los aspectos relacionados con la nutrición.

### Evaluación de características nutricionales y funcionales

La evaluación de ingredientes con características nutricionales y funcionales se realiza en función de su incremento en la ingesta, estableciendo un paralelismo entre ambas características y el efecto que producen (Figura 3). Desde el punto de vista nutricional se ha establecido la ingesta recomendada para alcanzar la suficiencia

nutricional, evitando los efectos negativos derivados de un consumo deficiente así como los niveles de ingesta máximos tolerables, deducidos a partir de los efectos adversos en la salud que produce un consumo superior. Cuando el ingrediente presenta además propiedades funcionales, lo deseable sería que tanto la suficiencia nutricional como la suficiencia fisiológica (derivada a partir del efecto funcional de ese ingrediente) coincidieran, obteniendo un máximo beneficio para la salud. Sin embargo no es esta la situación habitual y existe un desajuste entre el efecto fisiológico funcional y el estatus nutricional adecuado ya que el primero se alcanza normalmente con una ingesta superior a la recomendada, desajuste que se puede ilustrar con ingredientes funcionales y nutricionales como las vitaminas.

Para las vitaminas, reconocidas como elementos básicos en la nutrición, están establecidos aquellos niveles de ingesta adecuados que producen una suficiencia nutricional (Figura 4). Esta cantidad es muy inferior a aquella fijada como nivel de ingesta máximo, a partir del cual su

consumo en exceso provoca efectos adversos en la salud. Entre ambos niveles de ingesta (recomendada y máxima) existe un amplio rango de concentración, en el que evidentemente no se detectan efectos negativos, pero sí efectos fisiológicos positivos para la salud. En ese punto, cuya posición exacta se desconoce, es donde aparecen las características funcio-

### Se considera el concepto de funcionalidad desde su sentido fisiológico

nales de las vitaminas. El descubrimiento de nuevas acciones fisiológicas a dosis superiores que provocan beneficios en la salud, a través de determinados mecanismos en estudio, está produciendo una extensa revisión de la CDR, que como se aprecia en la Figura 5 se ha incrementado significativamente. El caso contrario es el de la vitamina A que se comenta particularmente más adelante. Otro ejemplo es la suplementación de cereales con ácido fólico que se va a promover en Estados Unidos a consecuencia de las acciones positivas que una ingesta superior de esta vitamina ejerce en la salud.

Más interés suscita la investigación acerca de los mecanismos que posibilitan estos beneficios, no solo revisando los ya establecidos, introduciendo en ellos aspectos novedosos, sino también definiendo aquellos que surgen de la interacción de estos nutrientes, con propiedades funcionales, con lípidos, proteínas, ADN, etc como el caso de las vitaminas. La determinación de estos mecanismos de acción sólo es posible, si en esta área de trabajo se es capaz de integrar a grupos con especialidades diferentes para originar una



investigación de carácter multidisciplinar.

El desconocimiento de los niveles de ingesta, que producen los efectos fisiológicos funcionales, de ingredientes básicos en nutrición conduce a la suplementación de la dieta con esos ingredientes. Pero también se pueden producir efectos negativos derivados de una suplementación irregular que muestra deficiencias en tres frentes: excesiva individualización, abuso en la concentración y estado. El primer factor surge cuando se ignora el hecho de que los ingredientes que consumimos se integran en un complejo sistema metabólico en el que muchas de las acciones están concatenadas y requieren la presencia de varios elementos. El ejemplo más claro es el sistema de antioxidantes de naturaleza bifásica (hidrofílica e hidrofóbica) que implica a diferentes compuestos. La carencia de alguno de ellos provoca irregularidades en el desarrollo de la actividad antioxidante del conjunto. Para los carotenoides se está demostrando que el desarrollo de su acción antioxidante presenta un flujo en cadena donde el potencial redox pasa de unos a otros hasta llegar a carotenos que frenan el proceso autooxidativo sin pro-

## Efectos fisiológicos: reducción del colesterol, disminución del azúcar en sangre, etc.

vocar daño biológico en otras moléculas de su entorno. Si se rompe el flujo se regenera el potencial oxidativo. De igual forma para otros antioxidantes como polifenoles, ácido ascórbico y vitamina E también se conoce la necesidad de complementación entre ellos para evitar los riesgos derivados de su acción.

Pero no sólo a través de mecanismos redox se producen efectos negativos a escala fisiológica sino también mediante interacciones y procesos más complejos que están actualmente en fase de estudio. Un ejemplo de ello son las rutas de señalización que producen efectos muy variados en el ciclo de diferenciación y proliferación celular y su modulación por los retinoides. Cuando se genera un exceso de estos compuestos o bien otros similares estructuralmente, como los derivados a partir del proceso autooxidativo de carotenoides, se interfiere en las rutas de señalización celular lo que puede tener consecuencias negativas. La validez de esta hipótesis podría establecer la existencia de grupos de población sensibles a las deficiencias de una suplementación irregular como los fumadores. Todo esto lleva al esfuerzo necesario que hay que realizar para concretar los niveles de ingesta adecuados para grupos de población específicos. En el caso de la vitamina A, por ejemplo, recientes estudios demuestran que existe una correlación entre su ingesta excesiva y un aumento del riesgo de fractura de cadera en la tercera edad. Algunos autores establecen hipótesis

sobre un antagonismo con la vitamina D. De hecho las recomendaciones actuales sobre la ingesta adecuada de vitamina A son ligeramente inferiores a las establecidas en 1989.

En un punto intermedio entre la valoración de ingredientes nutri-funcionales y estrictamente funcionales se encontrarían ciertos grupos de compuestos como

los carotenoides en los que se pueden distinguir elementos que pertenecen a uno u otro grupo. Aquellos carotenoides con actividad de provitamina A entrarían en el primero ya que además de mostrar dicha actividad, su estructura química les permite desarrollar otras acciones biológicas como la comunicación intercelular y la potenciación del sistema inmune. Estas dos acciones son las que caracterizan al resto de carotenoides que no presentan actividad provitamínica y que serían ingredientes estrictamente funcionales. Entre ellos tienen una especial relevancia licopeno, zeaxanteno luteína y astaxanteno. La investigación en estos componentes está evolucionando a través del estudio de las acciones de los metabolitos oxidados. Esta línea tiene su origen cuando se descubrió que la actividad de la enzima 15,15'-β-caroteno dioxigenasa produce roturas en otros puntos de la cadena, apareciendo metabolitos oxidados que tienen acciones biológicas diversas y que puso de manifiesto el desconocimiento que se tiene sobre el metabolismo de carotenoides. Para luteína y zeaxanteno, su presencia en el pigmento macular es un factor que disminuye la degeneración macular relacionada con la edad, la causa líder de ceguera en los países occidentales. En otros casos como licopeno y astaxanteno estos metabolitos están implicados en el aumento de la comunicación intercelular y su presencia se ha empezado a detectar en plasma.

En cuanto a la evaluación de ingredientes estrictamente funcionales, originarios del concepto de alimento funcional en la década de los 80, no cabe duda que sigue siendo un terreno en ex-

pansión. Generalmente, su presencia en los alimentos es obviada cuando se evalúan datos epidemiológicos y estudios de intervención en los que los efectos beneficiosos del consumo de ciertos alimentos se atribuyen frecuentemente a otros componentes que los caracterizan. Particularmente, quisiera destacar a los glucosinolatos como ingredientes funcionales a los que en un futuro se debería prestar más atención, presentes en vegetales del género *brassica* muy consumidos en nuestra dieta. Estos componentes están reconocidos como anticancerígenos cuyo mecanismo de acción podría ser la inducción de apoptosis en células tumorales. Su determinación en vegetales, estabilidad y modificaciones estructurales durante el procesado, biodisponibilidad y mecanismo de acción biológica son aspectos en los que en estos componentes, todavía queda bastante trabajo de investigación. Por tanto, la lista de ingredientes estrictamente funcionales, es decir aquellos que específicamente producen un efecto saludable en el consumidor, podrá aumentar en un futuro. Los problemas particulares que presentan estos ingredientes son el desconocimiento de las dosis a añadir en

los alimentos que producen el efecto fisiológico deseado, y el reducido rango de concentración entre la ingesta segura y los niveles máximos tolerables (en la mayoría de los casos también desconocidos), por lo que el riesgo de efectos adversos puede ser elevado. La toxicología tiene un campo enorme de trabajo, que debería afrontar con urgencia. La industria agroalimentaria europea maneja 650 billones de € y emplea a más de 3 millones de personas. La enorme presión para el desarrollo de nuevos productos y su corto ciclo en el mercado se contraponen a los estudios epidemiológicos y toxicológicos que resultan caros y prolongados. Es habitual que en algunos productos funcionales todavía no esté claro cuál es su efecto, qué ingrediente lo ejerce y a qué grupo de población debe ir dirigido.

Puesto que se ha establecido una distinción entre ingredientes nutri-funcionales y estrictamente funcionales también se están comenzando a fijar las distinciones entre los diversos tipos de alimentos, con características beneficiosas para la salud, que existen en el mercado. Sólo el uso de una terminología adecuada que tenga en cuenta las diferencias y

similitudes entre unos tipos de alimentos y otros, puede aclarar y orientar la investigación a realizar en esta área teniendo en cuenta factores como el carácter de la sustancia, el efecto fisiológico que realiza, presencia en el alimento, grupo de población al que va dirigido y procesado. El objetivo será siempre el mismo: demostrar los efectos beneficiosos que para la salud tiene el consumo de ciertos ingredientes.

En paralelo a esta distinción entre ingredientes se establece también una distinción entre los efectos beneficiosos que producen: tipo A y tipo B. Ambos están basados en observaciones biológicas, datos epidemiológicos y estudios de intervención. Los efectos tipo A son aquellos basados en ingredientes o alimentos que proporcionan efectos específicos en la salud sin incluir funciones nutricionales. Teniendo en cuenta las dificultades sobre estos ingredientes, como el desconocimiento de niveles de ingesta adecuados máximos tolerables y toxicidad, la estrategia de investigación utilizada en esta línea de trabajo es emplear el alimento como base para realizar el estudio. Los efectos tipo B están basados en ingredientes o alimentos incluidos en la dieta habitual y que reducen el riesgo de desarrollar una enfermedad específica, más allá de sus propiedades nutricionales. El conocimiento que ya se tiene sobre estos ingredientes permite que se pueda trabajar directamente con ellos. En estos casos es donde se puede establecer una más directa correlación entre la estructura del ingrediente y su función. ■

## Referencias

Baba S, Furuta T, Fujioka M, Goromaru T. *Studies on drug metabolism by use of isotopes*. XXVII. Urinary metabolites of rutin in rats and role of intestinal microflora in the metabolism of rutin. *J. Pharm. Sci.* 1983 72 1155-1158.

Bokkenheuser BD, Shackleton CHL, Winter J. Hydrolysis of dietary flavonoid glycosides by strains of intestinal *Bacteroides* from humans. *Biochemistry* 248 1987 953-956.

Bornscheuer UT, Adamczak M and Soumanou MM. Lipase-catalysed synthesis of modified lipids. In *Lipids for functional foods and nutraceuticals*. Gunstone FD ed. The Oily Press Brigdwater, England 2003. Chapter 6 149-182.

Bosscher D, Caillie-Bertrand M, Cauwenbergh R, Deelstra H. Availabilities of calcium, iron, and zinc from dairy infant formulas is affected by soluble dietary fibers and modified starch fractions. *Nutrition* 19 2003 641-645.

Diederich A and Edmadfa I. Über die physiologische bedeutung der phytosterine. *Ernährungs-Umschau* 36 1989 436-441.

European Commission. A request for the safety assessment of the use of phytosterol esters in yellow fat spreads. 6 April 2000.

Ling WH and Jones PJ. Dietary phytosterols: a review of metabolism, benefits and side effects. *Life Sciences* 57 1995 195-206.

McGuigan S. Total health care expenditure in the UK, in *OHE compendium of health statistics*. London; Office of Health Economics; 1997, 14.

Milner JA. Functional foods: the US perspective. *American Journal of Clinical Nutrition* 71 2000 1654-1659.

Ottley C. Nutritional effects of new processing technologies. *Trends in Food Science and Technology* 11 2000 422-425.

Roberfroid MB, Delzene N. Dietary fructans. *Annu Rev Nutr* 18 1998 117-143.

Roberfroid MB. Fructo-oligosaccharide malabsorption: benefit for gastrointestinal functions. *Curr Opin Gastroenterol* 16 2000 173-177.

Rucker RB, Suttie JW, McCormick DB, Machlin LJ. *Handbook of vitamins*. 3rd edition Marcel Dekker New York 2001.

Slavin J. Impact of the proposed definition of dietary fiber on nutrient databases. *Journal of Food Composition and Analysis* 16 2003 287-291.

United Nations. 2002. Population Ageing [www.un.org/esa/population](http://www.un.org/esa/population).

Verrips T, Warmoeskerken MMCG and Post JA. General introduction to the importance of genomics in food biotechnology and nutrition. *Current Opinion in Biotechnology* 12 2001 483-487.



**CENTRO DEL CSIC:** Instituto de la Grasa. Avda. Padre García Tejero, 4. 41012 Sevilla.

**Web:** [www.ig.csic.es](http://www.ig.csic.es)

**Departamento:** Biotecnología de Alimentos.

**Nombre Investigador:** María Isabel Mínguez Mosquera (Profesor de Investigación).

**E-mail:** [minguez@cica.es](mailto:minguez@cica.es)

**Tendencias de Investigación:**

1. Biosíntesis y catabolismo de pigmentos clorofílicos y carotenoides durante el desarrollo y maduración de los frutos.
2. Transformaciones de pigmentos durante el procesado y almacenamiento de alimentos de origen vegetal.
3. Influencia de la estructura y entorno bioquímico y físico-químico de clorofilas y carotenoides en sus propiedades antioxidantes y nutricionales.