

Las microalgas, nuevos caminos hacia alimentos funcionales

José L. Gómez-Ariza¹, Tamara García-Barrera¹, Verónica Gómez-Jacinto¹, Inés Garbayo¹, Carlos Vílchez^{1,2}

Profesor Titular de Química y Ciencias de los Materiales, UHU.

¹Departamento de Química y CCMM, Facultad de CC. Experimentales, Universidad de Huelva, Avda. Tres de Marzo, 21071-Huelva

²CIECEM, University of Huelva, Parque Dunar, Matalascañas, Almonte, 21760 Huelva

La forma presente de entender la nutrición en los países desarrollados considera que los alimentos no deben sólo suministrar los requerimientos básicos del organismo en proteínas, grasas, hidratos de carbono y minerales, sino que además deben proporcionar salud. Los alimentos funcionales constituyen la respuesta a este reto, cubriendo un objetivo específico: mejorar la salud y reducir el riesgo a contraer enfermedades. Para ello se suelen enriquecer en componentes biológicamente activos, como minerales, vitaminas, ácidos grasos, fibras, antioxidantes, etc., que mejoran las funciones gastrointestinales, el aporte de sistemas redox y antioxidantes, y el metabolismo de macronutrientes o micronutrientes.

Se han propuesto diversos alimentos de nueva generación de carácter nutracéutico, que ayudan a reducir el riesgo de afecciones cardíacas (huevos enriquecidos con ácidos grasos esenciales omega 3 y margarinas con fitoesteroles) y los episodios de espina bífida (cereales con ácido fólico), o facilitar la digestión (leche y yogures fermentados con cultivos prebióticos). Pero el mayor esfuerzo se ha hecho, quizás, en la preparación de alimentos de origen vegetal que reduzcan la probabilidad de enfermedades crónicas, en particular el cáncer, por la presencia de compuestos biológicamente activos (fitoquímicos). Los productos de la avena contienen β -glucanos que reducen el colesterol y el riesgo a enfermedades coronarias, la soja posee efecto terapéutico frente a las enfermedades cardiovasculares, el cáncer y la osteoporosis, y la linaza constituye una fuente de ácido graso omega 3, ácido α -linoleico y lignanos que poseen también acción preventiva frente al cáncer de colon y de mama. El tomate contiene licopeno, que se ha mostrado activo en la prevención de ciertos tipos de cáncer, y el ajo (*Allium sativa*) numerosos efectos saludables, como quimiodepresor del cáncer, acción antibiótica o hipotensora, reducción del colesterol y otros. Y así con otros muchos alimentos (1).

Además, los alimentos contienen componentes minerales que proporcionan los elementos esenciales necesarios para el funcionamiento del organismo. Su importancia reside en el papel decisivo de los metales en las proteínas; por ejemplo, la metaloenzima superóxido dismutasa contiene Cu y Zn, la proteína transportadora transferrina, Fe, y las proteínas de respuesta al estrés como las metalotioneinas, contienen Cu, Zn, Cd y Hg. Asimismo, puede citarse la presencia del selenio en la selenometionina, selenocisteína o selenoproteínas, y en enzimas como la selenoglutation transferasa y selenoglutation peroxidasa que constituyen activos agentes de nuestro sistema antioxidativo.

La biotecnología de microalgas ha ganado relevancia en las últimas dos décadas debido al amplio rango de aplicaciones derivado de su uso, desde producción de biomasa para alimentación, su empleo en acuicultura o su uso como biofertilizante, hasta la obtención de productos de valor terapéutico o industrial. Las microalgas son una fuente rica en numerosas moléculas bioactivas y de interés en alimentación y salud humana. El mercado de la biomasa de microalgas genera actualmente un volumen de ventas de 2000 millones de euros anuales. Tan ingente volumen de negocio se sostiene, sin embargo, con menos de una decena de microalgas, entre cianobacterias (*Spirulina*), clorofíceas (*Chlorella*, *Dunaliella* y *Haematococcus*) y algunas otras especies de otros grupos (*Odontella*, *Porphyridium* o *Phaedactylum*) para producir, esencialmente, biomasa y carotenoides. La biodiversidad de microalgas es, sin embargo, enorme; se ha estimado que existen entre medio millón y un millón de especies. En consecuencia, desde el punto de vista biotecnológico la propia naturaleza ofrece un "mercado de microalgas" de dimensiones extraordinarias (2).

Las microalgas, debido a su vida fototrófica, están expuestas a estrés por oxígeno y radicales. Como resultado, las microalgas han desarrollado numerosos sistemas antioxidantes frente a radicales libres y especies reactivas de oxígeno, que promueven una acumulación de complejos antioxidantes altamente efectivos en la disipación de especies oxidantes. Entre las moléculas con capacidad antioxidante más significativa cabe citar el b-caroteno (carotenoide), la astaxantina y la zeaxantina (xantofilas) y la vitamina E. Su capacidad antioxidante suscita creciente interés en la terapia de enfermedades relacionadas con la oxidación, como la degeneración macular o diverso tipo de inflamaciones, así como en la prevención de ciertos desarrollos tumorales (de piel, de mama y de colon, entre otros), lo que confiere a estas moléculas valor como aditivos alimentarios. El valor comercial de los antioxidantes varía dependiendo, en esencia, del grado de pureza. El mercado de los carotenoides y xantofilas varía entre 300 y 500 millones de euros/año. Por tanto, actualmente crecen las posibilidades que presentan las algas como fuente de sustancias funcionales y como base para la producción de suplementos alimentarios. Como ejemplo, en este campo se han utilizado las microalgas *Chlorella spp.*, *Dunaliella spp.* y *Scenedesmus spp.*, y la cianobacteria *Spirulina spp.*, como alimentos ricos en nutrientes y sustancias de interés fisiológico, ya que acumulan cantidades importantes de lípidos, proteínas, clorofila, carotenoides, vitaminas minerales y pigmentos, a lo que se le une la posibilidad de su producción masiva y manipulación con técnicas biotecnológicas (3).

Son muy escasos los productos de algas comercializados, que prácticamente se limitan a biomasa, b-caroteno y astaxantina, y también muy escasas las microalgas cultivadas para tales fines, prácticamente puede asegurarse que *Dunaliella salina*, *Haematococcus pluviales* y *Chlorella* copan la mayor parte de dicho mercado (www.cyanotech.com; www.merapharma.com). Sin embargo, las microalgas también acumulan de forma natural otros lípidos de valor comercial en la industria de la alimentación e incluso de los combustibles. Así, las microalgas pueden sintetizar diferentes ácidos grasos poliinsaturados, destacando como más relevantes el EPA (eicosapentanoico) y el DHA (docohexanoico), útiles en la formulación de alimentos como, por ejemplo, leches infantiles y leches ricas en EPA. La implantación industrial de aceites de microalgas está limitada por el precio de las materias primas. Los costes de producción masiva de microalgas deben

descender para competir en el mercado. La obtención de lípidos saturados para la producción de biodiesel es otro de los campos que actualmente atrae mayor atención empresarial, especialmente de las grandes petroleras, interesadas en la búsqueda de nuevos recursos energéticos obtenidos a partir de materias primas naturales renovables y mediante procesos sostenibles desde la perspectiva ambiental y energética.

Conseguir que las microalgas acumulen uno u otro tipo de biomoléculas estriba, esencialmente, en el conocimiento exhaustivo de las rutas bioquímicas de síntesis de los compuestos de interés y de los factores que las regulan. En general, todos los factores que producen estrés oxidativo sobre los cultivos de microalgas, entre ellos la alta radiación PAR, la radiación UV, las carencias de nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo, azufre) o la presencia (o ausencia) de metales o distintos agentes químicos oxidantes, suelen producir como respuesta fisiológica en la microalga el incremento, en distinto grado, de la concentración de moléculas antioxidantes, sobre todo carotenoides. Utilizar la herramienta química de alterar condiciones *normales* de cultivo buscando una adaptación del material biológico al estrés producido, generalmente conduce a cambios en la actividad catalítica de numerosas enzimas y a alteraciones en las cantidades intracelulares de intermediarios metabólicos de las rutas afectadas. Está bien documentado el efecto de condiciones de estrés nutricional y ambiental sobre la acumulación de b-caroteno en *Dunaliella salina*, astaxantina en *Haematococcus pluvialis*, luteína y fitoeno. El mercado para estos isoprenoides y xantofilas existe y el ocuparlo dependerá de poder encontrar una adecuada combinación de condiciones y métodos de producción y extracción óptimos, y una formulación adecuada y estable de los productos.

Los metales, en cantidades traza en la materia viva, soportan buena parte de la actividad química de la célula al actuar como cofactores de muchas enzimas en el metabolismo. El selenio es un elemento esencial para los seres vivos que presenta un rango estrecho entre deficiencia y toxicidad. En niveles de traza posee propiedades biológicas muy destacables, especialmente una acción demostrada en la quimiopreención del cáncer y en la protección frente al daño oxidativo, mediante enzimas como la glutatión peroxidasa. El uso de suplementos con Se reduce la incidencia y mortalidad del cáncer, especialmente en cáncer de próstata y piel. Pero el selenio también mejora la respuesta inmunológica de los organismos y se ha comprobado su relación con procesos graves de pérdida de las defensas como el SIDA. En gran medida, esta bioactividad del selenio está relacionada con las formas químicas o especies en que dicho elemento se encuentra, cuya identificación y cuantificación es crucial para comprender su metabolismo, toxicología e importancia en la nutrición. Entre las especies de mayor significación en los procesos metabólicos que implican la participación del selenio pueden citarse dimetilseleniuro (DMSe), dimetildiseleniuro (DMDSe), selenourea, selenato, selenito, trimetilselenonio (TMSe), Se-proteínas, Se-cisteína (Se-Cis), Se-cistina (Se-(Cis)₂), Se-metionina (Se-Met) y otras. Disponer de procedimientos analíticos adecuados, que permitan la evaluación de Se y los demás elementos en la muestra y asegurar la correcta identificación de las especies, resulta esencial para comprender cómo actuar sobre el metabolismo de una microalga y poder, así, intentar estimular la acumulación de selenomoléculas bioactivas en humanos. El selenito es la forma inorgánica con la que las microalgas pueden incorporar el selenio con mayor facilidad. La vía más común es la reducción del selenito a seleniuro para su incorporación posterior a cisteína y a continuación

a metionina. La metilación de la selenometionina bajo la acción de la metiltransferasa la convierte en metilselenometionina, producto que inicia una serie de transformaciones bioquímicas que conducen a la formación de DMSE volátil. Las condiciones del medio de cultivo pueden conducir a la acumulación de Se-Met que favorece la volatilización, o por el contrario de Se-Cis que incrementa la incorporación del selenio a las proteínas y por tanto al enriquecimiento en este elemento, en una forma asimilable, de la biomasa que se está produciendo. Hoy se sabe que el selenio es biodisponible para el hombre en la forma de selenoaminoácidos, especialmente selenometionina y selenocisteína. Las microalgas son un vehículo de alto valor nutricional para suministrar al hombre las formas saludables del selenio, ya que además de producir selenometionina y selenocisteína, son ricas en proteínas y aminoácidos libres, ácidos grasos insaturados y agentes antioxidantes necesarios para el metabolismo como las vitaminas (4).

(1) Plaza M, Cifuentes A, Ibáñez E (2008) Trends Food Sci & Technol 19: 31

(2) Pulz O, Gross W (2004) Appl Microbiol Biotechnol 65: 635

(3) Kay RA (1991) Crit Rev Food Sci Nutr 30: 555

(4) Morlon H, Fortín C, Floriani M, Adam C, Garnier-Laplace J, Boudou A (2005) Aquatic Toxicol 73: 65

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado con la siguiente financiación pública: Proyectos de Excelencia P09-FQM-4659 y AGR-4337, Junta de Andalucía.