



Oxígeno bueno, oxígeno malo y antioxidantes

Muchos elementos de la naturaleza tienen influencia sobre nuestro metabolismo y, en consecuencia, en la preservación de la vida. El oxígeno constituye uno de los mejores ejemplos, ya que es un elemento indispensable para los seres vivos. Sin embargo, éste puede generar, bajo ciertas condiciones, especies o sustancias que tienen la capacidad de causar daño. En este trabajo se relata cómo algunos elementos exógenos, conocidos como antioxidantes, podrían ayudar a atenuar los efectos tóxicos de especies reactivas derivadas del oxígeno.

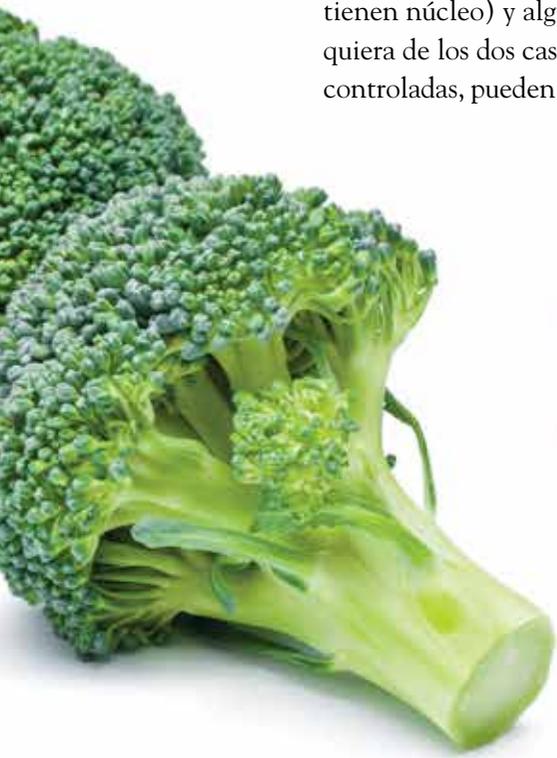
Desde que el oxígeno apareció en nuestra atmósfera, comenzó la dualidad bueno/malo de este elemento. Por un lado, facilita la vida de los organismos aerobios, los cuales necesitan del oxígeno para vivir. Entre éstos se encuentra una gran variedad de seres vivos, desde pequeños microorganismos como las bacterias, hasta organismos más complejos como el ser humano. Por otro lado, el oxígeno tiene la propiedad de formar especies o sustancias con



electrones no apareados –conocidas como especies reactivas de oxígeno o radicales libres–, las cuales llevan a reacciones de oxidación dentro de las células de los organismos.

Aunque el oxígeno se relaciona estrechamente con los animales y las plantas, una de las diferencias entre estos dos grupos es la manera en que lo utilizan para subsistir. Los animales, ya sea a través de un ciclo de reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en la matriz mitocondrial (conocidas como ciclo de Krebs) o por el transporte de electrones a través de un sistema de complejos enzimáticos localizados en la membrana interna de las mitocondrias (llamado cadena respiratoria), liberan dióxido de carbono (CO_2) o transforman el oxígeno en agua (H_2O), respectivamente. Por su parte, las plantas, por medio del proceso conocido como fotosíntesis, toman el CO_2 y lo transforman en carbohidratos, los cuales conforman el sustento alimenticio de las mismas; el agua es transformada en oxígeno y éste es liberado al ambiente. De ahí la importancia de mantener el ciclo biológico de interdependencia que se establece entre los reinos animal y vegetal que forman parte de los ecosistemas.

Asimismo, no deja de asombrar que la mayoría de los organismos aerobios, incluido el ser humano, transformamos los alimentos que consumimos en energía, mediante un proceso conocido como metabolismo. Sin embargo, el oxígeno no sólo produce estos efectos; dentro del metabolismo oxidativo existe una contraparte, misma que también depende del oxígeno y que conforma el aspecto “malo” de este elemento. Este fenómeno comienza dentro del propio sistema que confiere la energía metabólica utilizada para llevar a cabo las funciones celulares, el cual se conoce como cadena de transporte de electrones. Dicho proceso lo llevan a cabo dos tipos de organismos: los eucariontes (cuyas células tienen núcleo) y algunos procariontes (cuyas células no tienen núcleo). En cualquiera de los dos casos, el oxígeno puede originar especies reactivas que, si no son controladas, pueden afectar varios tipos de macromoléculas esenciales para la vida.





La oxidación es un proceso natural que ocurre en el cuerpo humano; éste se refiere a la modificación del número total de electrones de una molécula. Desde el punto de vista bioquímico, las células del cuerpo humano están formadas por sustancias, que a su vez se constituyen por átomos, y éstos, por electrones con carga eléctrica negativa, protones con carga eléctrica positiva y neutrones que no tienen carga eléctrica. Muchas moléculas pueden formar radicales libres, que son moléculas inestables y muy reactivas. Para conseguir la estabilidad, éstas modifican a otras moléculas de su alrededor y provocan la aparición de nuevos radicales; se crea una reacción en cadena que daña a muchas células al interactuar con lípidos y proteínas de la membrana celular, lo que ocasiona que las células no puedan realizar sus funciones vitales (transporte de nutrientes, eliminación de desechos, división celular, etc.), y con respecto al ADN se impide que ocurra la replicación celular, lo cual contribuye al envejecimiento celular (Figura 1).

Se ha establecido que los radicales libres tienen una función fisiológica dentro de los seres vivos y, sin embargo, se les ha relacionado con los mecanismos de envejecimiento y muerte celular. Debido a la alta peligrosidad de los radicales libres, los organismos aerobios han desarrollado sistemas de control para equilibrar su producción, lo que se conoce como sistemas antioxidantes. Dentro de ellos se encuentran compuestos de diversas clases, entre las cuales se pueden citar las vitaminas y algunas enzimas cuya función consiste en establecer el equilibrio oxidante/antioxidante. Existen otros compuestos que actúan ayudando a algunas enzimas antioxidantes, de los cuales el glutatión (GSH) resulta uno de los más importantes.

Cuando el equilibrio intracelular existente entre las especies reactivas de oxígeno y los sistemas antioxidantes se rompe, se origina un proceso conocido como estrés oxidativo. Se presupone que este fenómeno participa en una gran cantidad de alteraciones metabólicas, entre las que se encuentran enfermedades como mal de Parkinson, Alzheimer, hipertensión, autoinmunidad, cáncer, diabetes, retinosis, ataxia, hepatopatías, nefropatías, neuropatías, inmunodeficiencias y envejecimiento.

No obstante, el estrés oxidativo no se origina únicamente por los procesos relativos al interior de la célula, ya que los radicales libres también pueden ser produc-

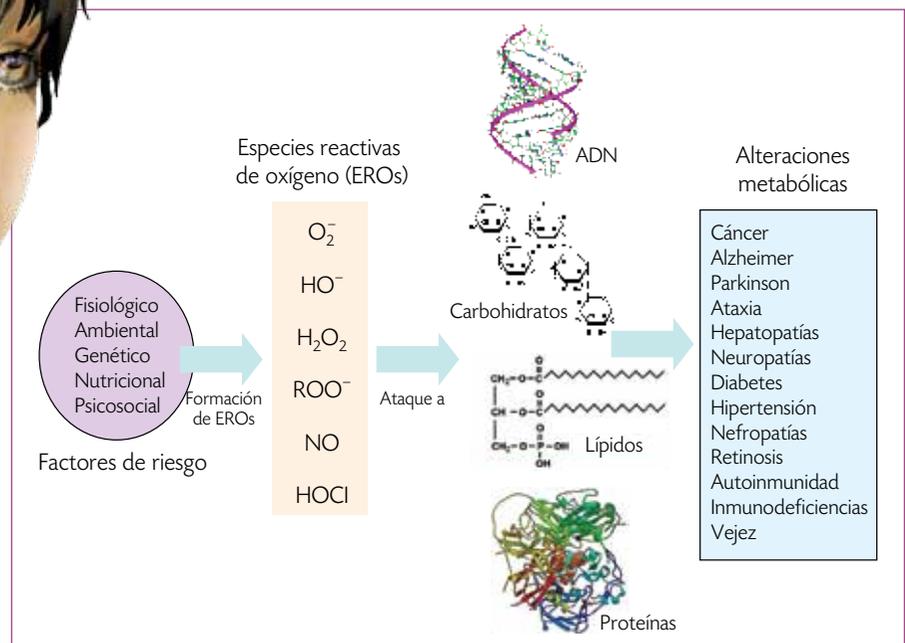
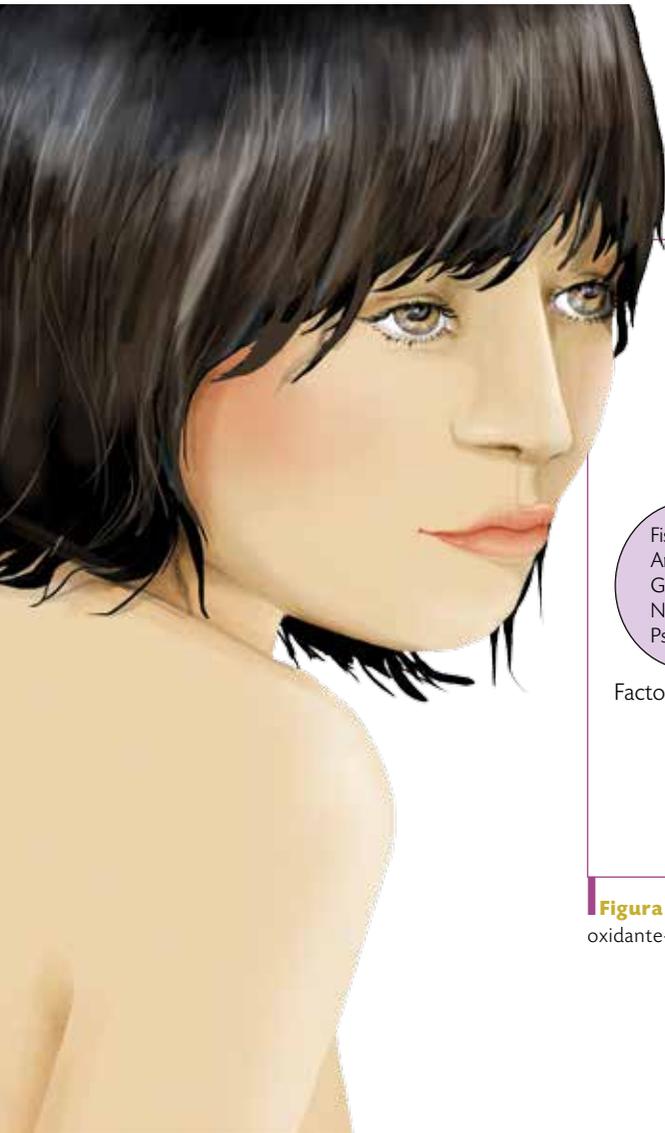


Figura 1. Generación de especies reactivas de oxígeno y consecuencias del rompimiento del balance oxidante-antioxidante, observadas como alteraciones metabólicas.

to de procesos exógenos, los cuales pueden interactuar con un organismo cuando éste se somete a irradiaciones con rayos X, UV y gamma; también pueden surgir de las acciones de muchos agentes contaminantes para los seres vivos. Bajo estas condiciones, el nivel de radicales libres puede ser superior a los procesos celulares que se han diseñado para regularlos (como las enzimas antioxidantes). Esto ocasiona el rompimiento del equilibrio celular y como consecuencia provoca daños celulares y fisiológicos severos, entre los que se encuentran las enfermedades mencionadas anteriormente.

Los antioxidantes

Los antioxidantes son compuestos que previenen el daño celular debido a que estabilizan los radicales libres actuando como donadores de electrones a las moléculas antes de que éstas traten de recuperar el electrón perdido y lo tomen de otras moléculas funcionales. La acción de los antioxidantes consiste en que después de donar un electrón propio se pueden mantener estables sin provocar daño.

Entre las diferentes terapias o tratamientos que se ha intentado establecer para evitar el daño por los radicales libres se encuentra la ingesta de compuestos que se cree que poseen actividad antioxidante. Lo anterior se ha establecido bajo la idea de que si los radicales libres ocasionan estrés oxidativo, el suplemento con compuestos externos podría ayudar a disminuir la cantidad de dichas especies.

Los antioxidantes se clasifican en endógenos y exógenos. De los primeros, se pueden citar las proteínas con actividad catalítica (enzimas), entre las que se encuentran la superóxido dismutasa, la glutatión peroxidasa, la catalasa y la peroxidasa, mismas que forman el sistema antioxidante celular. La función principal de este sistema consiste en eliminar los radicales libres formados a partir de la molécula de oxígeno. Estos radicales son formados dentro de las células y conocidos como iones superóxido (O_2^-) e hidroxiperoxilo (OH^-), los cuales son transformados enzimáticamente en peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y posteriormente en agua (H_2O). De esta manera, el sistema antioxidante contribuye a disminuir los daños que estas especies reactivas de oxígeno causan a las moléculas esenciales del metabolismo.

Los productos naturales como antioxidantes

Desde hace relativamente poco tiempo se ha comenzado a utilizar una gran cantidad de productos extraídos de plantas debido a que se cree que cuentan con propiedades curativas para varias patologías. Basta con visitar las tiendas naturistas y comprobar que prácticamente para todas las enfermedades existen remedios hechos a base de toda clase de hierbas con supuestas propiedades medicinales.

Las plantas deben sus propiedades curativas a ciertos principios activos (sustancias responsables del efecto que se les atribuye) y al alto contenido de vitaminas que poseen. Entre estos principios activos se encuentran los antioxidantes exógenos, mismos que se absorben en nuestro cuerpo tras el proceso de la digestión. Dentro de los principios activos que se pueden detectar en las plantas se encuentran los flavonoides, los taninos, los fenoles, y derivados del colesterol como las saponinas. Recientemente se han encontrado compuestos antioxidantes en varias frutas, por lo que algunas industrias alimentarias las han incluido dentro de sus fórmulas comerciales.

En este artículo se hablará de tres compuestos a los que se les han conferido propiedades antioxidantes y que se han incluido en preparados comerciales de uso medicinal. Estos compuestos son las bayas de *açaí* (pronunciado "asaí", también conocido como *acai berry*), el *goji* (pronunciado "goyi") y la coenzima Q10. Los tres son extraídos de productos naturales y, además, el tercero forma parte del proceso de respiración en los organismos vivos.

Açaí

La palma de *açaí* (*Euterpe oleracea*) es cultivada por su fruto y por el corazón de la palma. Existen ocho especies nativas en el centro y sur de América; su producción se extiende desde Belice hasta Brasil y Perú. Las palmas de *açaí* crecen principalmente en zonas pantanosas y en planicies lluviosas; son delgadas, con alturas de entre 15 y 30 metros.

La fruta es una drupa pequeña y redonda de alrededor de 12 mm de circunferencia; es similar en apariencia pero más pequeña que una uva, y con menos pulpa. El epicarpio o piel de la fruta es de color púrpura

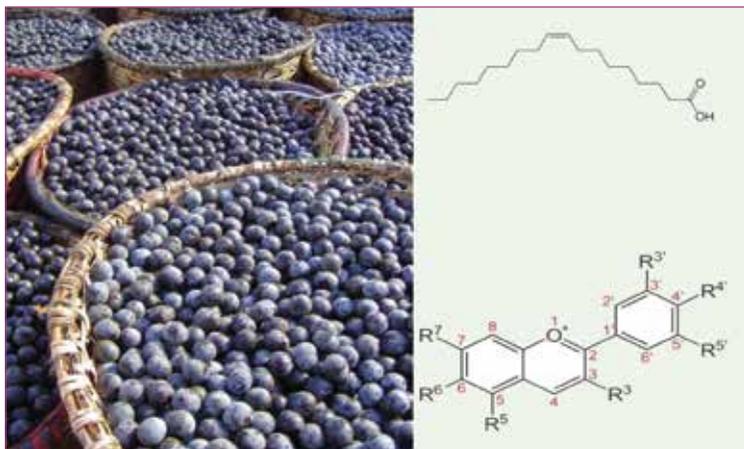


Figura 2. Canastos de la cosecha del açaí berry; en la parte superior derecha la estructura química del ácido oleico y en la parte inferior derecha la estructura química básica de las antocianinas.



o verde, dependiendo del tipo de *açaí* o de su madurez. El mesocarpio de la fruta es una delgada pulpa, con un espesor consistente de aproximadamente 1 mm, que rodea un voluminoso y duro endocarpio, o hueso, que consiste de una sola semilla de entre 7 y 10 mm de diámetro y que representa alrededor del 80% de la fruta (Figura 2).

Contenido nutricional del açaí

De acuerdo con reportes publicados, una muestra en polvo de 100 g de *açaí*, incluyendo la pulpa y piel de la fruta, contiene 533.9 calorías, 52.2 g de carbohidratos, 8.1 g de proteínas y 32.5 g de grasas totales. La porción de carbohidratos incluye 44.2 g de fibra dietética y bajos valores de azúcares. Adicionalmente, la muestra contiene 1002 U de vitamina A, vitamina B1 (0.36 mg), B2 (0.01 mg), B3 (0.43 mg), vitaminas K, D y E (45 mg) y pequeñas cantidades de vitamina C. También contiene betacaroteno y minerales, como calcio (260 mg), hierro (4.4 mg), potasio (932 mg), manganeso (174 mg), trazas de cromo, cobre (1.7 mg) y zinc (7 mg). Asimismo, se ha detectado la presencia de ácido aspártico y ácido glutámico.

En estudios publicados por la revista *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* se reporta que aproximadamente 71% de la grasa del *açaí* está constituida por ácido oleico; así como que su contenido de polifenoles es en promedio de 36.1 mg, el de taninos es de 10.35 mg y el de antocianinas es de 11.65 mg por cada 100 g. En

estas publicaciones se afirma que la capacidad antioxidante del *açaí* es de 87.97% en promedio.

Goji

Desde el comienzo de este siglo, las bayas de *goji* y su jugo se venden en los países occidentales como productos alimentarios para el bienestar y la salud, como un remedio antienvjecimiento. La palabra *goji* es un nombre relativamente nuevo dado a las especies muy próximas a *Lycium barbarum* y *Lycium chinense*, las cuales son un tipo de arbusto de hoja caduca con bayas de color rojo brillante. También llamada *wolfberry*, *gou qi*, *zi*, rojo diamante, espina del desierto, el duque de argyle o planta del té, la baya de *goji* es una fruta dulce. Originaria del Tíbet y Mongolia, ha sido usada durante más de 5 000 años por los expertos en medicina tradicional de China, India y Tíbet para proteger el hígado, resolver problemas de fertilidad, aumentar la visión, reforzar el sistema inmunológico, mejorar la circulación y promover la longevidad en general (Figura 3).

El *goji* contiene altos niveles de antioxidantes que pudieran estar involucrados en sus supuestos efectos sobre la salud. Estos compuestos son el betacaroteno y la zeaxantina. El betacaroteno se encuentra en el pigmento amarillo o naranja presente en muchas frutas y verduras; y el cuerpo humano lo puede convertir fácilmente en vitamina A. Hoy se sabe que las personas con un alto nivel de betacaroteno en su dieta tienen menos probabilidades de desarrollar ciertos tipos de cánceres

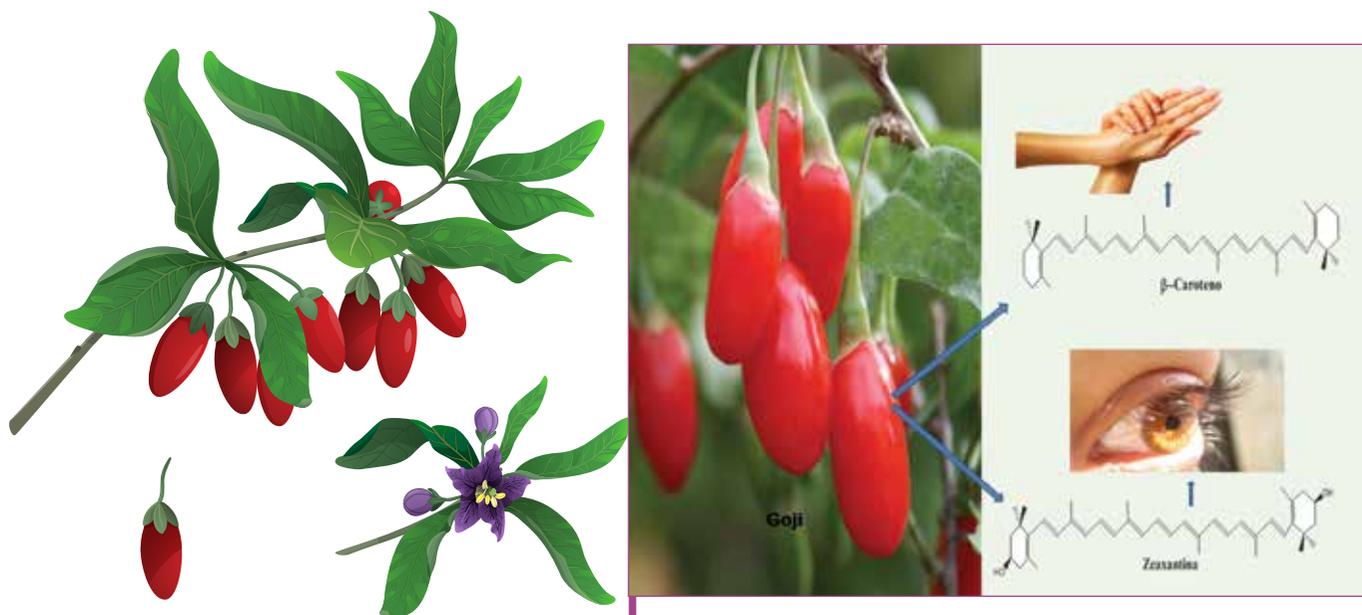


Figura 3. Bayas de goji: β -caroteno y de zeaxantina, y algunos de los órganos donde están involucrados estos dos antioxidantes.

en comparación con otras personas con inferiores ingestas de este nutriente. Se cree que el betacaroteno participa en la inactivación de formas de oxígeno de gran energía llamadas oxígeno singulete. Esto significa que tiene la capacidad de proteger los delicados contenidos celulares frente a posibles daños. El único efecto secundario que se relaciona con niveles altos de betacaroteno es la carotenemia, una afección inocua en la que la piel adquiere un tono ligeramente anaranjado. Por su parte, la zeaxantina es uno de los principales carotenoides (pigmentos naturales rojos, amarillos y naranjas) encontrados en la mácula y la retina, lo que sugiere que podrían proporcionar protección a los ojos y actuar contra la degeneración macular.

Coenzima Q10

La coenzima participa en procesos metabólicos clave para la supervivencia, dado que es un antioxidante citoplasmático que protege del daño oxidativo a los fosfolípidos y a las proteínas de las membranas celulares, así como a las lipoproteínas de baja densidad. Por otro lado, es una fuente natural de radicales libres.

Como consecuencia del uso del oxígeno en la respiración aeróbica se producen de manera natural radicales de oxígeno en todas las células de los mamíferos. El ion superóxido, mencionado anteriormente, es generado dentro de la mitocondria y es reducido secuencialmen-

te a peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y radicales hidroxilo. Estos radicales pueden generar daños en el ADN en forma de mutaciones, por lo que se caracterizan por ser especies iniciadoras de tumores.

La coenzima Q es un componente soluble en lípidos que se encuentra en todos los organismos eucarióticos y varios procarióticos. Se relaciona principalmente con el proceso de la respiración celular y es una molécula que puede llevar a cabo reacciones de transferencia de electrones conectando el complejo I con el complejo III de la cadena de transporte de electrones en un proceso conocido como respiración mitocondrial. La función de este proceso es la transformación del oxígeno en agua; se genera un gradiente de protones que impulsa la síntesis de la energía celular en forma de ATP (adenosín trifosfato) dentro de las mitocondrias de las células de los organismos aerobios.

Esta coenzima debe su nombre al hecho de que dentro de su estructura existe un motivo estructural (similar al isopreno) que se repite diez veces en la cadena que se une a una quinona central (Figura 4). En los animales superiores se encuentra preferentemente la Q10; en especies microscópicas, como las bacterias *E. coli* y *C. elegans*, se puede encontrar como Q6 o Q9.

En investigaciones realizadas por varios científicos se relacionan los efectos que esta molécula puede tener al ser alterada o al ser suministrada *in vitro* en varios

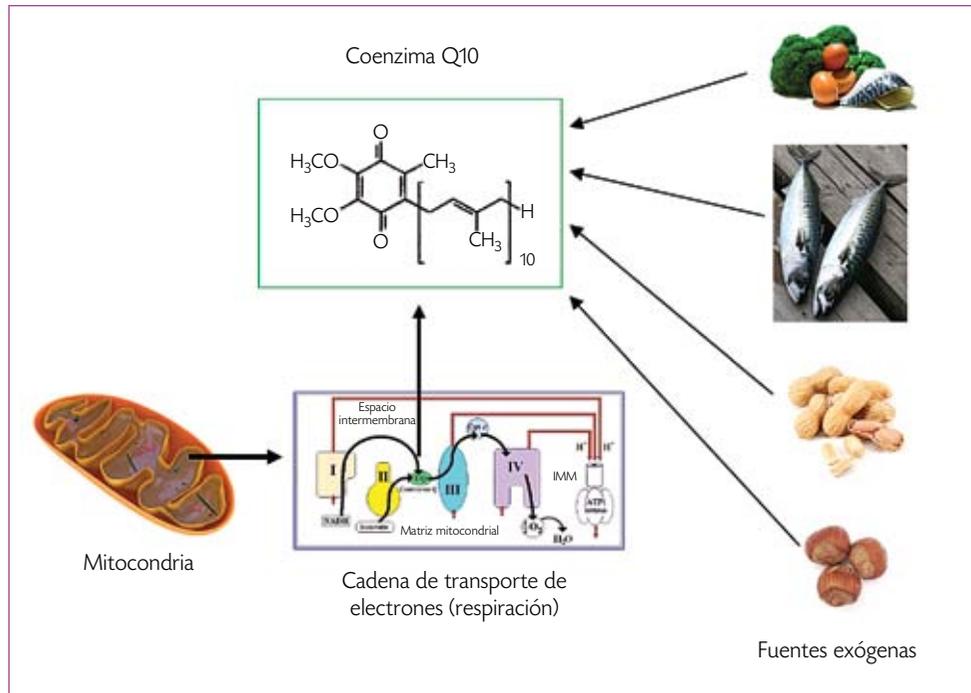


Figura 4. Fuentes endógenas y exógenas de Coenzima Q10.

modelos experimentales, entre ellos los seres humanos. Cuando el nivel de coenzima Q10 disminuye por la administración de medicamentos como pravastatina y simvastatina (que se usan para disminuir los niveles de colesterol en la sangre), se observa que las personas cursan por una disminución en la función mitocondrial, misma que se ha relacionado con la generación de enfermedades, la posible inducción de algunos tipos de cáncer y una supuesta participación en afecciones cardiovasculares. Sin embargo, y de forma contraria, se ha visto que la administración de coenzima Q10 en células en cultivo puede disminuir la presencia de células cancerosas. Lo anterior ha ocasionado que muchas empresas la comercialicen y que su uso se encuentre en auge como un potencial anticancerígeno.

Además de formar parte constitutiva de los seres humanos, la coenzima Q10 se encuentra de manera exógena en productos de origen animal, como pollo, res y pescado. Algunas nueces y semillas contienen cantidades respetables de coenzima Q10; estos alimentos han sido clasificados como saludables para el corazón por la Asociación Americana del Corazón debido a su contenido de grasa no saturada. Las grasas no saturadas son conocidas por disminuir los niveles de colesterol y

proteger la salud cardiovascular, por lo que son buenas fuentes dietéticas de coenzima Q10. Las versiones asadas de cacahuates, pistaches y semillas de sésamo están incluidas dentro de esta categoría. Los dos tipos de grasas que contienen las cantidades más ricas de coenzima Q10 son los aceites de soja y de canola. Finalmente, entre las verduras que la contienen están el brócoli y la coliflor; de las frutas se incluyen las fresas y naranjas.

Para reflexionar

A medida en que la vida evolucionó en el planeta, fue apareciendo el oxígeno y, con él, la vida de los organismos aerobios. La dualidad de funciones del oxígeno surgió en el momento en el que éste se volvió indispensable para muchos de los seres que comenzaron a poblar la Tierra.

Como se ha expuesto en este escrito, el oxígeno es fuente de vida, pero también lo es de riesgo al generar especies dañinas para los organismos. Sin embargo, aún con este trasfondo dañino, el oxígeno puede seguir siendo parte fundamental de la vida, ya que existen sistemas que ayudan a los diferentes organismos a lograr el equilibrio entre las especies reactivas de oxígeno y

los sistemas de amortiguamiento. Estos últimos pueden ser endógenos (producidos por el mismo individuo) o exógenos (ingeridos por alguna de las vías de entrada que tienen los diferentes seres vivos). Los segundos se pueden consumir ya sea a partir de sus fuentes naturales, o bien, en forma de extractos completos o semipurificados de origen vegetal.

En este artículo se habló sobre el *açaí*, el *goji* y la coenzima Q10, a los cuales se les podría adjudicar la función de atenuar los efectos de las formas reactivas del oxígeno y diversos tipos de radicales libres al convertir el oxígeno malo en oxígeno bueno.

Es importante señalar, a manera de conclusión, que el principal responsable de mantener el equilibrio entre agentes oxidantes y sistemas antioxidantes en el cuerpo es el mismo ser humano. No obstante, en ocasiones y de manera normal no se puede lograr dicho equilibrio, por lo que entonces la ingesta de antioxidantes es recomendada. Finalmente, debemos ser claros en que conservar el equilibrio oxidante/antioxidante es la clave para mantener la homeostasis celular y, por consecuencia, la salud individual.

Leticia Guadalupe Navarro Moreno cursó la licenciatura de Químico Farmacéutico Biólogo: Bioquímico-Microbiólogo en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México; hizo la maestría y el doctorado en Ciencias con la especialidad de Bioquímica en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Es profesora-investigadora en la Universidad del Papaloapan, Campus Tuxtepec, Oaxaca. Sus líneas de investigación son: caracterización química y bioquímica de proteínas del estrés, degradación de polímeros e investigación educativa. Cuenta con diez años de experiencia en trabajo comunitario con niños de primaria, adquirida mediante un proyecto educativo de enseñanza de las ciencias. En el área de bioquímica toxicológica ha investigado sobre las proteínas de estrés por metales pesados. Es miembro de la Sociedad Mexicana de Bioquímica, la Asociación Mexicana de Profesores de Bioquímica y la Asociación Mexicana de Profesores de Ciencias Naturales.
lgnavarrom@hotmail.com

Aurelio Ramírez Hernández hizo la maestría en Ciencias Químicas en la Universidad de Guanajuato. Es profesor-investigador en la Universidad del Papaloapan, Campus Tuxtepec, Oaxaca. Realiza

investigación en macromoléculas biológicas y sintéticas: síntesis de polímeros biodegradables, reciclado de polímeros y determinación de parámetros termodinámicos de polímeros de uso común.

chino_raha@hotmail.com

Jorge Conde Acevedo tiene el doctorado en Ciencias con especialidad en Óptica. Sus líneas de investigación son: degradación química de polietileno tereftalato (PET), antioxidantes naturales y estrés oxidativo causado por metales pesados. Es profesor-investigador en la Universidad del Papaloapan, Campus Tuxtepec, Oaxaca.
jorgeconde@hotmail.com

Lecturas recomendadas

- Amagase, H. y D. M. Nance (2008), "A randomized, double-blind, placebo-controlled, clinical study of the general effects of a standardized *Lycium barbarum* (Goji) Juice, GoChi", *J. Altern. Complement. Med.*, 14(4): 403-412.
- Bahar, M., S. Khaghani, P. Pasalar, M. *et al.* (2010), "Exogenous coenzyme Q10 modulates MMP-2 activity in MCF-7 cell line as a breast cancer cellular model", *Nutrition Journal*, 9:62.
- Balcells, M. F., M. Núñez de Kairúz y M. E. F. Nader-Macías (2013), "Composición química, valor nutricional, satisfacción y aceptabilidad de bayas de Gogi (*Lycium barbarum* L.) y productos elaborados", *Actualización en nutrición*, 14(4):275-286.
- Birben, E., M. Sahiner, C. Sackesen *et al.* (2012), "Oxidative stress and antioxidant defense", *WAO Journal*, 5(1):9-19.
- Blokhina, O., E. Virolainen y V. Fagerstedt (2003), "Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review", *Ann. Botany*, 91(núm. especial): 179-194.
- Lockwood, K., S. Moesgaard, T. Yamamoto y K. Folkers (1995), "Progress on therapy of breast cancer with vitamin Q10 and the regression of metastases", *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 212(1): 172-177.
- Potterat, O. (2009), "Goji (*Lycium barbarum* and *L. chinense*): Phytochemistry, pharmacology and safety in the perspective of traditional uses and recent popularity", *Planta Med.*, 76(1):7-19.
- Sun, Y. (1990), "Free radicals, antioxidant enzymes, and carcinogenesis", *Free. Rad. Biol. Med.*, 8(8):583-599.
- Udani, J. K., B. B. Singh, V. J. Singh y M. L. Barret (2011), "Effects of Açai (*Euterpe oleracea* Mart) berry preparation on metabolic parameters in a healthy overweight population: a pilot study", *Nutrition Journal*, 10:45.