Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

# Índice glucémico y capacidad antioxidante de los alimentos

# Glycemic index and food antioxidant capacity

**Raya-Pérez, J.C.[1], Rojas-Raya, M.A.[2]**

[1] TecNM/ ITRoque. Carretera Celaya-Juventino Rosas km 8. Celaya, CP 38110. Guanajuato.
[2] CINVESTAV-Irapuato, libramiento Norte carretera a León km 9.6, Irapuato, CP 36821, Guanajuato, México.
juan.rp2@roque.tecnm.mx; atzrock@live.com.mx

**Innovación tecnológica:** Visión manejable y práctica del índice glucémico y la actividad antioxidante de los alimentos.

**Aplicación empresarial:** Alimentos con cualidades superiores, se menciona a las actinobacterias como fuente novedosa de antioxidantes.

Enviado: 25 mayo 2020
Aceptado: 05 octubre 2020

## Abstract

In Mexico the entire food system was replaced; traditional crops have been discontinued and the food base based on corn and its derivatives has been replaced by wheat flour, soft drinks and high-fructose syrups as an essential ingredient in the products. The use of low glycemic index (GI) foods improves glycemic control in diabetics; low calories diets with low glycemic response carbohydrates are effective for weight loss; the contribution of these should be between 56% and 69% of the calories in the diet: from 140 to 173 gr of carbohydrates per 1000 Kcal. The presence of rice, potatoes and bananas, sugar and carbonated drinks confers high GI values. Vegetable intake results in diets with moderate GI. Tea and red wine increase the total antioxidant capacity of plasma, as do fruit juices and foods like onion, lettuce and chocolate. Berries (blackberry, raspberry, blueberry), vegetables from the brassica family (cabbage, canola, broccoli), red wine and whole grains have been proposed as protectors against cancer. A protective effect against kidney damage has also been reported when consuming cactus fruits, such as garambullo. Antioxidants of fungal origin are promising sources ergothioneine (ESH) and the bacterial compounds pyrroloquinoline quinone (PQQ) and queuing. Preventive medicine will optimize the nutritional status and the level of macro, micronutrients, vitamins, minerals, antioxidants required to keep cells in their optimal function.

**Key words:** diabetes, cancer, health, nutrition, prevention, glycemic index, antioxidant

**Resumen**

En México se reemplazó todo el sistema alimentario; se han dejado de sembrar cultivos tradicionales y la base alimentaria de maíz y sus derivados, han sido reemplazados por harinas de trigo, refrescos y jarabes de alta fructuosa como ingrediente esencial de los productos. El consumo per capita de maíz ha ido disminuyendo al paso de los años, lo mismo que el de frijol. La utilización de alimentos de bajo índice glucémico (IG) mejora el control glucémico en diabéticos; las dietas bajas en calorías con carbohidratos de baja respuesta glucémica son eficaces para perder peso; el aporte de estos debe ser entre el 56% y 69% de las calorías de la dieta: de 140 a 173 g de carbohidratos por cada 1000 Kcal. La presencia de arroz, papa, plátano, azúcar y bebidas gaseosas confiere valores altos de IG. La ingesta de hortalizas resulta en un IG moderado. El té y el vino tinto aumentan la capacidad antioxidante total del plasma, lo mismo que los zumos de frutas y alimentos como cebolla, lechuga y chocolate. Los frutos rojos (zarzamora, frambuesa, arándanos), verduras de la familia brassica (col, canola, brócoli), vino tinto y cereales integrales se han propuesto como protectores contra el cáncer. También se ha reportado un efecto de protección contra daño renal, al consumir frutos de cactus como garambullo. Antioxidantes de origen fúngico como la ergotioneina (ESH) y los compuestos bacterianos pirroloquinolina quinona (PQQ) y queuina, son fuentes prometedoras. La medicina preventiva optimizará el estado nutricional y el nivel de macro, micronutrientes, vitaminas, minerales, antioxidantes requeridos para mantener las células en su función óptima.

**Palabras clave:** diabetes, cáncer, salud, nutrición, prevención, índice glucémico, antioxidante.

## Introducción

El objetivo de esta revisión es aportar datos de forma concisa sobre la capacidad antioxidante y el índice glucémico de los alimentos, frutas y verduras de consumo general en nuestro país, así como una puesta al día de las evidencias sobre el efecto que tienen en la salud de los consumidores. Esto debe poder ayudar a los consumidores a elegir entre la amplia variedad de productos existentes en el mercado, de acuerdo a sus gustos y necesidades, sin obviar la ayuda de los profesionales de la salud.

Aproximadamente 30 vitaminas y minerales son cofactores necesarios para que el metabolismo funcione correctamente, incluyendo vitaminas A, B1, B2, B6, B12, biotina, C, colina, D, E, ácido fólico, K, niacina, pantotenato y minerales como calcio, cloruro, cromo, cobalto, cobre, yodo, hierro, manganeso, magnesio, molibdeno, fósforo, potasio, selenio, sodio, azufre y zinc. La mayoría de la población mundial consume cantidades menores a las recomendadas de las vitaminas y minerales esenciales (1). La baja ingesta, crónica, de nutrimentos constituye sin duda una cierta desventaja para tratar de mantenerse saludable. En México dos de cada tres escolares tienen una ingesta de calcio inferior a la recomendada, y aproximadamente uno de cada tres una ingesta menor de vitamina A. La población presenta insuficiencia en calcio y vitamina D, vitamina A y magnesio, vitamina B12, folato, vitamina C, riboflavina y tiamina (2).

En la dieta de los mexicanos el mayor aporte energético sigue siendo el maíz, seguido por el azúcar, aceites de origen vegetal y productos de origen animal; cabe destacar la escasa participación del frijol. Actualmente, la mitad de lo que consumimos los mexicanos son productos procesados y de transnacionales que fabrican alimentos chatarra, con alto contenido en grasa, sal (cloruro de sodio) y azúcar. En México se

comen demasiados bocadillos o tentempiés y en tan solo 20 años se reemplazó todo el sistema alimentario basado en una gran variedad gastronómica característica de la cultura mexicana; se han dejado de sembrar cultivos tradicionales y la base alimentaria basada en el maíz y sus derivados, se han mutado por harinas de trigo, refrescos y jarabes de alta fructuosa como ingrediente esencial de los productos.

Los alimentos procesados listos para comer, como pizza y pan congelado, puré de papas instantáneo, son cada vez más populares y estos almidones procesados industrialmente tienen una respuesta glucémica más alta que los almidones preparados convencionalmente (2). Una dieta que contiene alimentos refinados densos en energía y es deficiente en vitaminas y minerales conduce a una vida menos saludable y más corta (1).

La disponibilidad energética de los alimentos para la población mexicana, por habitante, es de 3 145 kilocalorías por persona al día, una cantidad que se encuentra entre las más altas a nivel global; la FAO recomienda 2 362 kcal al día (4). El sedentarismo imperante y la adopción de modelos dietéticos ajenos ha ocasionado que se dé una transición de la nutrición o alimentación tradicional, a otra introducida e impuesta por diversos medios en la cual, los hogares se enfrentan día a día a desafíos de sobrepeso, obesidad y enfermedades no transmisibles y desnutrición. Las causas de la obesidad son desconocidas; no es simplemente el contenido calórico de los alimentos, sino también la composición de los mismos lo que contribuye al desarrollo de la obesidad y las enfermedades crónicas.

En México 25% de las muertes suceden a causa de la diabetes y la hipertensión; 95% de los casos por la obesidad y el sobrepeso (5). De acuerdo con el subsecretario de Prevención y Promoción de la Salud del actual gobierno (2018-2024), López Gatell, la mitad de las muertes anuales en México, desde hace 12 años, están asociadas con una mala nutrición: consumo excesivo de calorías, grasas, azúcar y sal. La deficiencia de vitamina D también ha sido asociada con una gran cantidad de enfermedades que afectan el envejecimiento saludable, así como con la mortalidad por cáncer, enfermedad cardiovascular (ECV), diabetes, función cerebral (1).

**El índice glucémico de los alimentos**

En 1997 la FAO/OMS convocó a una consulta de expertos para realizar una revisión del rol de los carbohidratos en la salud, que incluyó un capítulo dedicado al índice glucémico. Este documento definió el IG de un alimento como “el área incremental bajo la curva de la glucemia en respuesta a una porción con 50 gramos de carbohidratos expresado como porcentaje del resultado de una comida standard en el mismo sujeto” (6). El índice glucémico se obtiene de la siguiente forma:
IG=IABC alimento a prueba / IABC alimento de referencia x 100.
IABC= incremento del área bajo la curva (7).

La velocidad y magnitud de las variaciones de la glucosa en sangre tras la ingesta se denomina respuesta glucémica. Se ha mostrado que existe variabilidad de un mismo alimento base según la forma de prepararlo y combinarlo con otros ingredientes (7).

Se ha encontrado que la utilización de alimentos de bajo índice glucémico (IG) mejora el control glucémico en diabéticos aumentando la sensibilidad a la insulina y el funcionamiento de las células beta, reduce la trigliceridemia, disminuye el riesgo de enfermedad coronaria y podría tener un rol en el manejo del peso, razones por las que ésta clasificación de los alimentos que contienen

carbohidratos basada en la respuesta aguda a la absorción de glucosa constituye una herramienta útil contra la pandemia de obesidad y diabetes (6). Estudios recientes en humanos indican que las dietas restrictivas en calorías que incluyen carbohidratos de baja respuesta glucémica, en lugar de carbohidratos de alta respuesta glucémica y retirando de la dieta las grasas saturadas, son más eficaces para perder peso (3). Se considera como adecuado o saludable un IG bajo. Los IG moderado y alto son calificados como inadecuados o poco saludables para la prevención o control de las enfermedades crónicas (7).

Hay estudios recientes sobre nuevos beneficios posibles de una alimentación con bajo IG, tal como mejoría del hígado graso y la mejora del perfil lipídico corporal y sérico. Las razones que influyen en el IG de un alimento son variadas, incluyendo la estructura del almidón y la presencia de otras sustancias que condicionan la digestión, especialmente fibra y proteínas que presentan interacciones variables y distinta respuesta a las condiciones de digestión y absorción. Las propiedades químicas de los azúcares y almidones, la proporción de amilosa y amilopectina, la estructura del gránulo de almidón y el grado de cristalización de sus cadenas, el grado de gelatinización y la matriz alimentaria influyen en la digestión y absorción de los carbohidratos.

La presencia de almidón resistente propio de la especie o el que pueda haberse producido durante la elaboración industrial. El tipo de preparación obviamente también influye (cocido, asado, frito en manteca o aceite). El criterio más citado es el propuesto por la Universidad de Sídney en 2003 considerando "bajo" al IG menor a 55, "medio" al IG entre 55 y 70 y "alto" al IG superior a 70. Se utiliza más como parte de las recomendaciones para una alimentación saludable, porque se ha observado que el consumo de alimentos que tienen un IG bajo, trae consigo un efecto preventivo contra la obesidad, sobrepeso o enfermedades cardiovasculares (3, 8). Consumir alimentos de IG bajo evita, o al menos retarda, la aparición de diabetes mellitus y enfermedades cardiovasculares. Asimismo, ayudan a disminuir las concentraciones de triglicéridos y de lipoproteínas de baja densidad y aumentan las lipoproteínas de alta densidad, de esta manera se confirma que la dieta es una de las principales estrategias para la disminución de estas enfermedades (6). Aunque de acuerdo con Ames (1) la deficiencia de Mg es el principal impulsor de las enfermedades cardiovasculares. Existe un consenso establecido de que una dieta de carbohidratos de alto índice glucémico, frente a una dieta con carbohidratos de bajo índice glucémico, contribuye a mayor tasa de adiposidad, frecuentemente con resistencia a la insulina (3).

Los carbohidratos constituyen la principal fuente de energía de la mayor parte de la población mundial. El aporte de estos debe oscilar entre el 56% y 69% de las calorías totales de la dieta diaria, lo cual se garantiza con un consumo aproximado de 140 a 173 gr de carbohidratos por cada 1000 Kcal.

En un estudio sobre el tipo de dieta consumida por diabéticos y no diabéticos se encontró que el pan blanco, azúcar y bebidas azucaradas formaban parte del desayuno; el arroz, la papa, el plátano maduro, azúcar y bebidas gaseosas en el almuerzo; el pan blanco y galletas dulces en la merienda vespertina; el pan blanco y otros farináceos en la cena fueron asociados a un índice glucémico poco saludable. Adicionalmente las frutas en las meriendas y en la cena, y la leche en el desayuno y cena, se identificaron como alimentos que reducen el IG (7). Los alimentos complejos, ricos en grasas o en

fibra se digieren lentamente, por lo que el incremento de la glucemia es más lento (9).

La variabilidad del IG publicado para alimentos simples se explica por las diferencias en la estructura física de las partes involucradas, y el proceso de elaboración tanto industrial como culinaria. A esto deben agregarse diferencias en la metodología usada por los diversos autores. La presencia de arroz, papa y plátano, azúcar y bebidas gaseosas confiere valores altos de IG. La ingesta de hortalizas podría permitir dietas con IG moderado (7). Se debe tener en cuenta que los valores de índice glucémico de los alimentos son solamente con fines de orientar a los comensales. Ayudan a predecir la respuesta glucémica a algunos alimentos y a evitar hiperglucemias substituyendo, por ejemplo, alimentos de alto índice glucémico por otros de índice moderado o bajo (9).

## Índice glucémico y actividad antioxidante de alimentos

**Tabla 1.** Índice glucémico y capacidad antioxidante de los alimentos (método FRAP*).

| Alimento | IG | Alimento | CA |
|---|---|---|---|
| Pan blanco | 72.5 | Ciruela | 0.755 |
| Glucosa | 100 | Ciruela c/ cáscara | 1.233 |
| Fructuosa | 20 | Chirimoya | 0.946 |
| Miel | 87 | Frambuesa | 1.569 |
| Pure de papas | 84.5 | Manzana | 0.121 |
| Arroz grano largo | 71.1 | Manzana c/cáscara | 0.458 |
| Espaguetti | 46.9 | Mora | 1.723 |
| Pasta trigo candeal | 38 | Olivo | 3.259 |
| Pasta trigo común | 73 | Pera | 0.485 |
| Arroz parboil | 59 | Plátano | 0.881 |
| Arroz | 71 | Limón | 0.25 |
| Cereal p/desayuno | 66 | Tuna | 0.171 |
| Avena cocida | 50 | Uva negra | 1.331 |
| Elote | 53 | Zarzamora | 3.549 |
| Hojuelas de maíz | 81 | Acelga | 0.190 |
| Chocolate con leche | 68 | Ajo | 0.125 |
| Zanahoria cocida | 92 | Pimiento rojo | 1.911 |
| Zanahoria cruda | 47 | Betabel | 1.055 |
| Plátano | 62 | Brócoli | 0.121 |
| Azúcar de mesa | 59 | Cebolla cruda | 0.259 |
| Papas fritas | 51 | Cilantro | 1.231 |
| Macarrones | 50 | Espinaca | 0.274 |
| Uvas | 45 | Orégano | 0.688 |
| Jugo naranja | 43 | Perejil | 0.504 |
| Manzana | 39 | | |
| Tomate | 38 | | |
| helado | 36 | | |
| Yogur | 36 | | |
| Leche sin nata | 32 | | |
| Toronja | 26 | | |
| Frutos secos | 13 | | |
| Dátil | 103 | | |
| Hot cake | 67 | | |
| Palomitas | 55 | | |
| Pan 7 granos | 55 | | |
| Pan de caja integral | 54 | | |
| Pan de hamburguesa | 61 | | |
| Tortilla de maíz | 52 | | |
| Tortilla harina ½ pieza | 30 | | |
| Soya cocida | 18 | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Lenteja cocida | 26 | | |
| Garbanzo cocido | 31 | | |
| Frijoles cocidos | 43 | | |
| Acelga cruda | 64 | | |
| Calabaza | 75 | | |
| Chícharo cocido | 48 | | |
| Nopales | 7 | | |
| Cerezas | 22 | | |
| Chabacano | 57 | | |
| Ciruela | 39 | | |
| Durazno amarillo | 42 | | |
| Fresa | 40 | | |
| Kiwi | 53 | | |
| Mango picado | 51 | | |
| Manzana | 38 | | |
| Melón picado | 65 | | |
| Naranja | 42 | | |
| Papaya | 59 | | |

Menos de 54 índice glucémico bajo. * (Ferric Reducing Ability of Plasma) se basa en medir la potencia plasmática de reducir iones férricos: de $Fe^{+3}$ a ferroso $Fe^{+2}$ utilizando como agente cromógeno un complejo colorimétrico de 2,4,6-tripiridil-s-triazina–ferroso (TPTZ). Elaborado a partir de datos de las fuentes bibliográficas.

La amilopectina, constituyente del almidón, posee ramificaciones que la hacen más susceptible al ataque enzimático y, por lo tanto, provoca una respuesta glucémica más rápida y elevada. El contenido de lípidos influye, ya que estos forman complejos con los hidratos de carbono, impidiendo que las enzimas encargadas de romper los polisacáridos entren en contacto con ellos. El contenido de proteínas es relevante, ya que las proteínas estimulan la secreción de jugo gástrico que limita la función de las amilasas. Es por esto que, un alimento rico en hidratos de carbono, entre más contenido de proteínas, grasas o ambas, será más difícil de absorberse, dando como resultado un alimento de IG bajo (Tabla 1).

Se encontró que la proteína de atún reduce la respuesta glucémica por 0.57% / g de proteína agregada a 50 g de carbohidratos disponibles, un efecto de menos de la mitad de la producida por la proteína de suero, 1.4% / g por 50 g de carbohidrato. Diferentes grasas también tienen diferentes efectos: por ejemplo, una comida de prueba de glucosa, leche descremada en polvo y mantequilla provocó una respuesta glucémica significativamente mayor que la misma comida de prueba que contiene la misma cantidad de grasa con aceite de cártamo (10). Los carbohidratos que se ingieren en la dieta son principalmente polisacáridos y en menor proporción disacáridos y monosacáridos.

Los cereales, leguminosas y tubérculos son ricos en carbohidratos y la amilasa salival inicia la hidrólisis de los mismos cuando masticamos los alimentos; la amilasa pancreática continúa el rompimiento de enlaces químicos entre monosacáridos, degradando los polisacáridos y permitiendo su absorción. Las investigaciones sugieren que los alimentos de IG bajo dan una sensación de saciedad mayor, en comparación con los de IG alto, lo que hace que las personas consuman menor cantidad de alimentos o alarguen los lapsos de tiempo entre una comida y la siguiente (6) (Tabla 1). Los mecanismos por los cuales una dieta con carbohidratos de alto índice glucémico lleva a la disfunción metabólica, son investigados para que los nutricionistas, las compañías de alimentos, los encargados de las políticas de salud y las compañías farmacéuticas puedan

colaborar para minimizar los efectos de estos alimentos en el aumento de peso (3).

Cuando las concentraciones de glucosa están por arriba de los valores normales, la glucosa se une a proteínas dando por resultado la glucosilación de éstas, lo que puede originar complicaciones microvasculares, enfermedades cardiovasculares y estrés oxidativo (6).

**Tabla 2.** Capacidad antioxidante de algunos productos.

| Producto (Eq. Trolox /g alimento fresco) | Capacidad antioxidante |
|---|---|
| Guayaba | 28.5 |
| Manzana | 27.1 |
| Papaya | 25.1 |
| Naranja | 20.1 |
| Plátano | 8.2 |
| Limón | 6.7 |
| Sandía | 2.6 |
| Aguacate | 22.4 |
| Chile | 19.15 |
| Repollo | 2.04 |
| Tomate | 8.11 |
| Verdolaga | 28.21 |
| Yerbabuena | 27.2 |
| Jamaica cocida | 12.81 |
| Leche de vaca | 1.41/100 mL |

(13) Elaborada con base en datos de las fuentes bibliográficas.

## Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los alimentos resulta importante para evaluar sus efectos biológicos. Se han desarrollado diversas metodologías para estimar la capacidad antioxidante no enzimática de los vegetales y sus derivados. La oxidación de una molécula implica la pérdida de electrones en tanto que la reducción implica la ganancia de estos. El oxidante se reduce al reaccionar con la molécula que oxida. Los antioxidantes presentes en los alimentos deben poder prevenir los efectos dañinos de las especies reactivas de oxígeno sobre las células y moléculas de los humanos (11).

La asociación entre la genética y la capacidad antioxidante total del plasma demostró que más del 50% de la variación fenotípica en humanos tiene un componente genético. La magnitud de esta contribución genética a la capacidad antioxidante total se demostró que dependía del tabaquismo, que impone una gran demanda oxidante al organismo. Los resultados sugieren que la mayor parte, si no toda, la variación genética se debe al mismo gen o conjunto de genes selectivamente regulados positiva o negativamente por el medio ambiente, la dieta u otro estímulo desconocido. La evidencia fortalece la hipótesis de la modulación homeostática de la capacidad antioxidante de los fluidos del cuerpo (12).

El organismo puede protegerse de dos maneras de los radicales libres: enzimático y no enzimático. Dentro de estos últimos los antioxidantes exógenos se consumen en la dieta diaria. El té y el vino tinto son capaces de aumentar la capacidad antioxidante total del plasma después de ingerirlos. Han demostrado una capacidad similar, los zumos de frutas e incluso alimentos como cebolla, lechuga y chocolate. Sólo en raras ocasiones los resultados no mostraron un aumento en la capacidad antioxidante total después del consumo de algunos de estos alimentos. La cinética observada en estos estudios es muy similar entre ellos, con la tendencia común que lleva a un valor máximo alrededor de la primera o la segunda hora después del consumo y una disminución en 4–5 h. Sin embargo, para comprender el papel de la dieta en la modulación del estado redox en plasma, deben considerarse los ensayos de intervención dietética a largo plazo. Se han propuesto dietas ricas en antioxidantes para evaluar el efecto a largo plazo de esta sobre la capacidad antioxidante total del plasma.

En un estudio de varias semanas de suplementación con productos de espinacas o jugos de tomate y zanahoria no se observó

incremento de la capacidad antioxidante total del plasma, aunque si incrementó la presencia de los carotenoides individuales como la luteína, zeaxantina, α y β-caroteno. En un estudio con sujetos saludables a los que se les dio puré de tomate, no se observó incremento en los valores de la capacidad antioxidante total en plasma, aunque si hubo un aumento de licopeno y β-caroteno. En otro estudio si se observó un aumento de la capacidad antioxidante total en plasma después de 7 días de consumir productos de tomate con aceite de oliva extra virgen. Sin embargo, otros investigadores no pudieron observar ningún aumento en la capacidad antioxidante total del plasma después de una semana de suplementación con 1500 mL de jugo de fruta, aunque si se observó que el ácido ascórbico se incrementó notablemente (12).

Los estudios epidemiológicos han demostrado una menor incidencia de enfermedades crónicas no transmisibles con patrones alimentarios que involucran un alto consumo de frutas y verduras (15).

Todas las plantas sintetizan carotenoides para apagar el oxígeno singulete, una de las especies reactivas de oxígeno. La toxicidad de este oxígeno singulete se debe a su capacidad para oxidar proteínas, lípidos y ácidos nucleicos, lo que puede conducir a la muerte celular. Un radical de estos puede afectar un millón de moléculas durante la reacción en cadena que originan (1, 11). El café, el chocolate, los frutos rojos (zarzamora, frambuesa, arándano), verduras de la familia brassica (col, canola, brócoli), vino tinto y cereales integrales se han propuesto como protectores contra el cáncer, en parte porque los antioxidantes contrarrestan los radicales libres en el cuerpo del consumidor. La capacidad antioxidante del café se debe principalmente a compuestos fenólicos y también a las melanoidinas generadas durante el tostado del grano. Los ácidos clorogénicos son los principales componentes fenólicos del café, de los cuales solo el 30% parece ser absorbido por el intestino delgado. La proporción restante llega al colon donde puede metabolizarse o absorberse (13). Se supone que los diferentes antioxidantes en la dieta pueden actuar sinérgicamente o al menos de forma aditiva para prevenir el cáncer.

La presencia de leche u otros componentes durante el desayuno disminuye, en ensayos *in vitro*, la actividad antioxidante total, actividad antimutagénica y niveles de catequina obtenidos después de la elución de té verde y té negro en un modelo gastrointestinal. Sin embargo, la leche tiene antioxidantes. Los tiene no enzimáticos como vitamina A, C, E, carotenoides, ácido úrico y enzimáticos como la catalasa, superóxido dismutasa y glutatión peróxidasa (11). En otro estudio se encontró que la capacidad antioxidante total de una mezcla de flavonoides y proteínas es menor que la suma de la capacidad antioxidante de flavonoides y proteínas por separado. El grado de enmascaramiento dependía tanto del tipo de polifenol y el tipo de proteína. La formación de enlaces secundarios entre flavonoides y proteínas es conocida. No puede pasar desapercibida la posibilidad de que los constituyentes de la dieta neutralicen o disminuyan la actividad antioxidante in vivo de los alimentos ricos en flavonoides (12). Metodológicamente se ha propuesto hacer una doble extracción de las muestras (alimentos) a la hora de medir la capacidad antioxidante, para tener una estimación más realista. Los estudios hechos para averiguar la capacidad antioxidante total de los alimentos y su efecto sobre el desarrollo del cáncer colorrectal no arrojaron ninguna relación o arrojaron una relación inversa entre la capacidad antioxidante total y el desarrollo de cáncer colorrectal.

Los polifenoles, ampliamente presentes en la dieta humana, pueden ser prooxidantes en dosis altas o en presencia de iones de hierro o

cobre, y, por lo tanto, puede causar daño oxidativo a ciertos tejidos e iniciar carcinogénesis (13). Debe tomarse en cuenta que los polifenoles tienen actividad vasodilatadora, vasoprotectora, antitrombótica y antiesclerótica (11). Los ensayos con antioxidantes miden la eficacia en función de los resultados finales. Muy pocos ensayos han cuantificado los marcadores de la oxidación, tales como fragmentación del DNA, peroxidación de lípidos, niveles de glutatión reducido, entre otros. Incluso, se podría seguir la mortalidad celular, dado que se ha observado que algunos antioxidantes evitan la muerte celular inducida o autoinducida en neuronas (12).

Una dieta con carbohidratos de bajo índice glucémico reduce el aumento de peso en ratones, lo que sugiere que existe un mecanismo de señalización amplio y complejo que vincula la respuesta glucémica con el peso corporal. Es posible que los efectos de una dieta con carbohidratos de alto índice glucémico se deban al exceso de especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés) causadas por fluctuaciones frecuentes y grandes cantidades de azúcar en sangre.

Las oscilaciones frecuentes en la glucosa de la sangre y la generación de ROS podrían conducir a una acumulación de daño oxidativo a las proteínas y los lípidos (3). Los radicales libres que se generan en el organismo, sobre todo a causa de la respiración celular, son controlados por la acción de enzimas seleccionadas por la evolución a lo largo de millones de años y que dependen de antioxidantes de los alimentos, como las vitaminas E, C, D y compuestos bioactivos antioxidantes llamados fitoquímicos, siendo el grupo más importante el de los polifenoles, que actúan de forma directa e independiente del sistema enzimático. En las mitocondrias se lleva a cabo la respiración celular y producen energía; ha habido mucho interés en la taurina, un aminoácido, con fin de superar la fatiga y promover la recuperación inducidas por el ejercicio. Durante el ejercicio la producción de ácido láctico puede convertir el radical superóxido, poco dañino, a un hidroxilo altamente dañino. Se ha demostrado que la taurina es el principal amortiguador en las mitocondrias y que modera la producción de oxidantes mitocondriales. En las ratas, la taurina reduce el estrés oxidativo causado por la diabetes (1). Las células β pancreáticas, productoras de insulina, son particularmente susceptibles al estrés oxidativo debido a sus limitadas capacidades antioxidantes (3).

La nutrición juega un rol clave en mantener el balance adecuado y es necesario considerar prioritariamente la propiedad antioxidante de los alimentos y jerarquizar el valor de los mismos. La longevidad parece aumentar junto con la presencia de antioxidantes en la dieta (11, 14). La ingesta de café, café descafeinado y té se asoció con una reducción del riesgo de cáncer rectal, sin embargo, el efecto no estaba presente para la ingesta de la capacidad antioxidante total, y los investigadores sugirieron que podría ser que los antioxidantes no estarían explicando la asociación y que otros tipos de compuestos presentes en el té y el café podrían ser responsables de la observación de la disminución del cáncer rectal (15). En la enfermedad de Alzheimer se ha registrado un biomarcador, un gen, del estrés oxidativo que podría ser un marcador que podría ayudar a predecir la enfermedad en ancianos con trastornos cognitivos y se ha demostrado también la existencia de un gen que reduce la neurodegeneración inducida por el estrés oxidativo. Se sabe desde hace décadas que los asiáticos son más resistentes al daño del tabaco que los anglosajones. Esto tiene una base genética; los asiáticos consumidores de tabaco presentan menos enfermedades relacionadas con el consumo, que los

ciudadanos anglosajones que también consumen tabaco (12).

La capacidad antioxidante total de la fruta depende de la vitamina C, la vitamina E, los carotenoides y los polifenoles, principalmente. La absorción de estos micronutrientes está influenciada por varios factores; la absorción de formas liposolubles se ve facilitada por la grasa de los alimentos e inhibida por fibra dietética y las concentraciones en los tejidos corporales pueden variar ampliamente, así como sus efectos. No se encontró asociación entre la ingesta de vitamina C, vitamina E y ß-caroteno y la incidencia de cáncer colorrectal. Otros estudios también aportaron evidencia limitada de reducción del riesgo de cáncer colorrectal asociado con un alto consumo de fruta (13). También se debe tomar en cuenta las condiciones en que se cultivan los alimentos: un pH ácido en el sustrato (bajo) disminuye el contenido de carotenos en jitomate (*S. lycopersicum*) y un pH alto (básico) baja el contenido de ácido ascórbico, en tanto que la salinidad moderada incrementa el contenido de carotenos, pero disminuye el contenido de P, K, Mg, Zn (16).

El consumo de guayaba proporciona fibra dietaria y vitaminas antioxidantes asociadas con la disminución de lipoproteínas, presión y glucosa sanguíneas. Presentó 10.36g/100 g de polifenoles en base seca en la piel. La actividad antioxidante total fue de 377.8 (µM equivalente Trolox, base seca). El té y la manzana, al igual que la guayaba contienen un alto contenido de flavonoides, y al igual que el jitomate, la guayaba contiene licopeno. Otros flavonoides incluyen antocianidinas de la fresa, catequinas del té verde y la cocoa, naranjina, genisteína y daidzaina de la soya (10). La ingesta diaria de flavonoides es de 20-26 mg. El consumo de guayaba reduce el estrés oxidativo, y el riesgo de enfermedades causadas por los radicales libres e hipercolesterolemia (17). En su estudio, Gutiérrez-Zavala et al. (16) encontraron un valor de 28.5 equivalentes trolox/g de alimento fresco.

El trolox es un derivado sintético de la vitamina E. El fruto de la pitaya (*Hyloceresus* sp) y del nopal (*Opuntia* sp), la tuna, contienen betalaínas que previenen las modificaciones oxidativas de las lipoproteínas de baja densidad (LDL). La oxidación de estas parece iniciar el desarrollo de la ateroesclerosis. Estos frutos disminuyen el daño oxidativo e incrementan el glutatión reducido (GSH) en la sangre de humanos saludables (Tabla 2). Dentro de esta clase de frutos de cactus, los garambullos contienen ácido cafeico, gálico y vainillina; tiene 142 mg de equivalentes de ácido gálico / 100 g de pulpa. Su jugo disminuyó los niveles de azucares en ratas diabéticas y, los niveles de triglicéridos de estas ratas fueron similares a los de ratas no diabéticas. Ratas diabéticas tratadas con garambullo no tuvieron niveles detectables de proteína en la orina; la función renal de estos animales mejoró, indicativo de que estos frutos protegen al riñón del deterioro (18).

El vino tinto es rico en polifenoles, incluida la quercetina, que inhibe el crecimiento del cáncer de colon y otras células cancerosas. El resveratrol, un polifenol, está presente en el vino y contribuye a prevenir el cáncer de colon. Sin embargo, paradójicamente, la ingesta de alcohol está asociada con un mayor riesgo de cáncer colorrectal (16). Dado el uso extensivo de pimientos y salsas picantes en la cocina mexicana, se ha reportado que el mole, el achiote y el chile pasilla tienen altos niveles de fenoles totales, flavonoides, proantocianidinas, actividad antioxidante, y efecto protector contra la oxidación de lípidos en carne de cerdo picada (19). La pectina de tuna (*Opuntia*) produjo decrementos en azúcar sanguíneo en voluntarios no diabéticos con lipidemia y pacientes con hipercolesterolemia tratadas diariamente con

250 g de pulpa hervida se observaron decrementos en colesterol total y lipoproteínas de baja densidad (18). Debe mencionarse que un análisis de datos de veinte años, y 230 mil pacientes, indicaron que la terapia con antioxidantes incrementó la mortalidad en alrededor del 5%, excepto para los productos que contienen selenio donde, por el contrario, la mortalidad se reduce en una cifra similar (12).

Otros antioxidantes son la ergotioneina, de origen fúngico (ESH); los compuestos bacterianos pirroloquinolina quinona (PQQ) y queuina y los carotenoides vegetales que disminuyen la acumulación de daño oxidativo a largo plazo. La ergotioneina en mamíferos es absorbida por un transportador especializado, la proteína OCTN1; la falta de este transportador da como resultado daño oxidativo a proteínas, lípidos y ADN, y mayores niveles de mortalidad en las células humanas. Todas estas características sugieren una participación en el envejecimiento saludable. La PQQ es un antioxidante poderoso y es mucho más estable que el ácido ascórbico.

La vitamina C se clasifica como una vitamina, además de ser un antioxidante, también funciona como cofactor para las proteínas. La vitamina E es un antioxidante captador de radicales libres. Los mecanismos mediante los cuales el cuerpo previene el daño relacionado con el envejecimiento seguramente son numerosos (1). Algunos nutrientes importantes adicionales como los ácidos grasos omega-3, el ácido docosahexaenoico y el ácido eicosapentanoico DHA/EPA, cuando están presentes en la sangre en cantidades adecuadas disminuyeron 20% el riesgo de mortalidad en mujeres de edad avanzada (1). El consumo de ácidos grasos omega-3 disminuye el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares y mejora los casos de diabetes tipo 2. Ayuda al mantenimiento de la piel, del pelo y del sistema reproductivo, mejoran el desempeño mental y visual. Estos ácidos grasos insaturados, presentes en todas las membranas de las células, son blanco accesible a las especies reactivas de oxígeno.

## Consideraciones finales

Algunos humanos responden más fácilmente a la dieta y/o al ejercicio que otros. Los ratones tienen una propensión innata a la regulación metabólica que puede ser difícil de perturbar con intervenciones experimentales; si se entendiera este mecanismo, podría aprovecharse para mejorar de manera eficiente y efectiva la salud metabólica. Se requiere investigación para saber cómo una dieta con carbohidratos de alta respuesta glucémica, entre otros aspectos de la dieta moderna, resulta en una mayor adiposidad y una menor sensibilidad a la insulina. Se desconoce la etiología de la obesidad y la comorbilidad relacionada con esta. El esclarecimiento de esta relación es crucial para reducir la epidemia de obesidad (3).

La medicina preventiva tomará en cuenta los principales efectos de los componentes de la dieta además de los factores genéticos. La optimización del estado nutricional y del nivel de varios biomarcadores podría ser determinada para cada individuo, tal vez a través de una máquina analizadora con una gota de sangre. Existe la necesidad de desarrollar ensayos que proporcionen un rango de los niveles de macro, micronutrientes, vitaminas, minerales, antioxidantes requeridos para mantener las células en su función óptima. El daño en el ADN y el daño mitocondrial se pueden medir. Los modelos son necesarios para comprender la interrelación entre los tejidos y el estado redox en plasma y las vías involucradas en la movilización de equivalentes antioxidantes entre el ambiente extracelular y el medio intracelular. La evidencia sobre la asociación

entre la capacidad antioxidante total del plasma y el cáncer es muy limitada. La capacidad antioxidante total fue más baja en pacientes con cáncer de pulmón con respecto a sus controles pareados, así como a los grupos tiol (GSH) en plasma, ácido ascórbico y vitamina E.

El aumento de los niveles séricos de la capacidad antioxidante total se asoció con disminución en el riesgo de cáncer de mama en un estudio de casos y controles. Un incremento en la ingesta de antioxidantes en la dieta a través de los alimentos vegetales fue asociado inversamente con el riesgo de padecer cáncer gástrico. En un ambiente con poca presencia de radicales oxidantes (no fumadores), los antioxidantes de frutas y vegetales pueden ser protectores a niveles bastante bajos de ingesta y el consumo adicional no mejora la protección contra el cáncer. La prevención de las enfermedades degenerativas del envejecimiento es una ciencia diferente a la cura de enfermedades: implica experiencia en metabolismo, nutrición, bioquímica y elementos reguladores genéticos y polimorfismos.

El medio ambiente, sexo, edad, hormonas, estilo de vida y factores dietéticos, sin duda están involucrados en la modulación redox en animales. La comprensión del control homeostático de la capacidad antioxidante total en humanos y su alteración durante el desarrollo de enfermedades proporcionará información valiosa sobre la causalidad y prevención de enfermedades complejas (1, 12).

## Literatura citada


1. Ames, BN. “Prolonging healthy aging: longevity vitamins and proteins”. (2018). *Proc. Nat. Sci. USA* 115(43) 2018, 10836-10844 doi.org/10.1073/pnas.1809045115.
2. Ramírez-Silva, I.; Rodríguez-Ramírez,S., Barragán-Vázquez, S.; Castellanos-Gutiérrez, A.; Reyes-García,A.; Martínez-Piña, A.; Pedroza-Tobías, A. 2016.
3. Prevalence of inadequate intake of vitamins and minerals in the Mexican population correcting by nutrient retention factors, Ensanut. Salud Pública de México 62(5): 521-531.
4. Kleckner AS, Wong S, Corkey BE. (2015). “The Intra- or Extracellular Redox State Was Not Affected by a High vs. Low Glycemic Response Diet in Mice”. *PLoS ONE* 10(6) 2015, e0128380. doi:10.1371/ journal.pone.0128380.
5. Urquía-Fernández N. (2014). “La seguridad alimentaria en México”. *Salud Pública de México*. 56 supl.1 2014, S92-S98.
6. Leyva-Trinidad, DA y Pérez Vázquez, A. (2015). “Pérdida de las raíces culinarias por la transformación en la cultura alimentaria”. *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas* 6(4) 2015, 867-881.
7. Alcantar-Rodríguez VE, González Rosendo, G, Rodríguez Murguía, NA, Villanueva Sánchez J, Quintero Gutiérrez AG. (2016). “Indice glucémico en alimentos compuestos”. *Rev. Esp. Nutr. Comunitaria* 19 (4) 2013, 216-223.
8. Hernández P, Mata C, Lares M, Velazco Y, Brito S. (2013). Índice glicémico y carga glucémica de las dietas de adultos diabéticos y no diabéticos. 26(1) 2013, *An Venez Nutr* 2013; 26(1): 5-13.
9. Ojeda L, Noguera-Machado N, Espino G, Gómez M, Escobar E, Díaz A, Escobar H. (2020). *Actualizacion en Nutrición* 21(1) 2020, 4-9.
10. Murillo, S. “El índice glucémico de los alimentos”. (2012). https://www.djmm.es/recursos/dyn/In

diceGlucemico.pdf consultado el 6 abril del 2020.
11. Wolever, T. (2017). "Effect of macronutrients on the glycemic index". *Am. J. Clinic. Nutr*. 106 (2) 2017, 704-705.
12. Coronado, M, Vega y León, S, Gutiérrez, TR, Vázquez, FM, Radilla, VC. Antioxidantes: perspectiva actual para salud humana. *Rev. Chil. Nutr*. 42(2), 2015, 206-212.
13. Núñez-Sellés, A. J. 2011. Terapia antioxidante, estrés oxidativo y productos antioxidantes: retos y oportunidades. Revista Cubana de Salud Pública 2011; 37(Supl):644-660
14. Serafini, M, Del Rio, D. "Understanding the association between dietary antioxidants, redox status and disease: is the Total Antioxidant Capacity the right tool?", *Redox Report*, 9:3 2004, 145-152, DOI: 10.1179/135100004225004814.
15. Araya L, Clavijo R, Herrera, C. "C apacidad antioxidante de frutas y verduras cultivados en Chile". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 56 (4) 2006, 361-365.
16. Vece M, M Agnoli C, Grioni S, Sieri S, Pala V, Pellegrini N. "Dietary Total Antioxidant Capacity and Colorectal Cancer in the Italian EPIC Cohort". *PLoS ONE* 10(11) 2015, e0142995. doi:10.1371/ journal.pone.0142995.
17. Dorais M, Ehret DL, Papadopoulus. Tomato health components: from the seed to consumer. *Phytochem. Rev*. 7, 2008, 231-250.

18. Reynosa-Camacho R, Martínez-Samayoa P, Ramos-Gómez M, Guzmán H, Salgado LM. Antidiabetic and renal protective properties of berrycactus fruit (Myrtillocactus geometrizans) *J. Medicinal Food* 18(59) 2015, 565-571. DOI:10.1089/jmf.2013.0164.

19 Alvarez-Parrilla E, Mercado-Mercado G, De La Rosa A, López J, Wall-Medrano A y González-Aguilar G. "Antioxidant activity and prevention of pork meat lipid oxidation using traditional Mexican condiments (pasilla dry pepper, achiote, and mole sauce)". *Food Science and Technology* 34(2) 2014, 371-378. DOI: https://doi.org/10.1590/fst.2014.0052.

20 Gutiérrez-Zavala A, Ledesma-Rivero L, García-García I, Grajales-Castillejos O. "Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México". *Rev. Cubana Salud Pública* 33(1) 2007, 1-7.