

Los alimentos como fuente de mono y disacáridos: aspectos bioquímicos y metabólicos

Julio Plaza-Díaz^{1,2}, Olga Martínez Augustín^{1,3}, Ángel Gil Hernández^{1,2}

¹Departamento de Bioquímica y Biología Molecular II. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada. ²Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos "José Mataix". Centro de Investigación Biomédica. Universidad de Granada. Granada. España. ³Centro de Investigación Biomédica en Red de Enfermedades Hepáticas y Digestivas (CIBERehd). Barcelona. Spain.

Resumen

Los hidratos de carbono constituyen una parte importante y necesaria en la alimentación humana. Aunque desempeñan una función primordialmente energética, también tienen funciones estructurales y funcionales. Según la Agencia Europea para la Seguridad Alimentaria, la ingesta de hidratos de carbono debe oscilar entre un 45 y 60% de la energía en adultos y niños mayores de un año. Una parte importante de los hidratos de carbono disponibles en los alimentos la componen los mono y disacáridos, comúnmente denominados azúcares. Las principales fuentes dietéticas de azúcares son las frutas, los zumos de fruta, algunos productos vegetales, la leche y los productos lácteos, y los alimentos que contengan sacarosa añadida e hidrolizados de almidón. A pesar de ser fundamentales en nuestra vida diaria, no existe una terminología adecuada y clara sobre los diversos tipos de hidratos de carbono, y de forma muy especial de los azúcares. Tampoco en lo referente a las recomendaciones de ingesta y contenido en los alimentos. Sin recomendaciones ni valores de referencia, pueden producirse desajustes alimentarios, que pueden asociarse con la aparición precoz de la mayor parte de las enfermedades crónicas o degenerativas en nuestra sociedad. Los objetivos de este trabajo son: clasificar los hidratos de carbono presentes en los alimentos, establecer definiciones claras sobre todos los términos bioquímicos y comunes relacionados con los azúcares, explicar su valor nutricional y describir su metabolismo, así como las fuentes alimentarias que contienen tanto mono como disacáridos y, finalmente, realizar un análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) sobre la nomenclatura y las ingestas de azúcares.

Nutr Hosp 2013; 28 (Supl. 4):5-16

Palabras clave: *Hidratos de carbono. Azúcares. Ingesta de alimentos. Tablas de composición de alimentos.*

FOOD AS SOURCES OF MONO AND DISACCHARIDES: BIOCHEMICAL AND METABOLIC ASPECTS

Abstract

Carbohydrates are important and necessary components of human diet. Although they primarily play an energetic function, they also have structural and functional roles. According to the European Food Safety Authority, carbohydrate intake should range between 45 and 60 percent of the energy in adults and children older than one year of age. An important part of carbohydrates available in foods are mono and disaccharides, commonly referred to as sugars. Dietary sources of sugars include fruits, fruit juices, vegetables, milk and milk products, and foods containing added sucrose and starch hydrolyzates. Despite their importance in daily life, there is currently no clear and adequate terminology on the various types of carbohydrates, particularly sugars. Nor are there available sugar intake recommendations or food composition tables. Without these recommendations or reference values, dietary unbalances might occur, which subsequently may end in the premature onset of most chronic or degenerative diseases of our society. The aims of the present work are: to classify dietary carbohydrates, to define the biochemical and common terms for sugars, to explain their nutritional value and their metabolism as well as their food sources and to carry out a SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) analysis about the nomenclature and dietary intakes of sugars.

Nutr Hosp 2013; 28 (Supl. 4):5-16

Key words: *Carbohydrates. Sugars. Food intake. Food composition tables.*

Correspondencia: Ángel Gil Hernández.
Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos "José Mataix".
Centro de Investigación Biomédica, Universidad de Granada.
Campus Tecnológico de la Salud.
Avenida del Conocimiento, s/n.
18100 Armilla (Granada). España.
E-mail: agil@ugr.es

Lista de abreviaturas

1,3-BPG: 1,3-bisfosfoglicerato.
ADP: Adenosín difosfato.
AMP: Adenosín monofosfato.
ATP: Adenosín trifosfato.
CO₂: Dióxido de carbono.
DAFO: Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades.
DHAP: Dihidroxiacetona fosfato.
EFSA: Agencia Europea para la Seguridad Alimentaria.
FIP: Fructosa-1-fosfato.
FAO/WHO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y la Organización Mundial de la Salud.
GA: Gliceraldehído.
GAP: Gliceraldehído-3-fosfato.
GAPDH: Gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa.
GLUT: *Glucose Transporters*.
GOT: Glutamato-oxalacetato transaminasa.
GTP: Guanosín trifosfato.
HK: Hexoquinasa.
IG: Índice glicémico.
K⁺: Potasio.
Mg⁺⁺: Magnesio.
NAD⁺: Nicotín adenín dinucleótido en su forma oxidada.
NADH: Nicotín adenín dinucleótido en su forma reducida.
PEP: Fosfoenolpiruvato.
PEPCK: Fosfoenolpiruvato carboxiquinasa.
PFK-1: Fosfofructoquinasa-1.
P_i: fosfato inorgánico.
TIM: Triosa fosfato isomerasa.
UTP: Uridín trifosfato.

Introducción

El nivel de salud de los individuos está condicionado primordialmente por factores genéticos y ambientales, para los cuales la variable externa más importante es la alimentación. Una alimentación apropiada debe satisfacer diariamente las necesidades nutricionales individuales, incorporar valores culturales, gastronómicos y de satisfacción personal. Estudios recientes en el ámbito de la nutrición demuestran que los desajustes alimentarios son la principal causa del desarrollo precoz de la mayor parte de las enfermedades crónicas o degenerativas en la sociedad actual. Por tanto, en nuestra mano está la posibilidad de incorporar a los hábitos de vida un mejor perfil alimentario y conseguir una disminución global de los factores de riesgo existentes en la población.

Los hidratos de carbono son la principal fuente energética alimentaria en el mundo, sobre todo en los países en vías de desarrollo. Los hidratos de carbono deben aportar entre el 50 y el 55% de la energía de la dieta y, además, ser valorados por su potencial energético, su

poder edulcorante y su alto contenido en fibra^{1,2}. Recientemente la Agencia Europea para la Seguridad Alimentaria (EFSA) ha indicado que la ingesta de hidratos de carbono debe oscilar entre el 45 y el 60% de la energía tanto en adultos como en niños sanos mayores de un año³.

Los hidratos de carbono se pueden encontrar en la mayor parte de los cereales y tubérculos, así como las legumbres, frutas y verduras, contribuyendo a la textura y sabor de estos alimentos. Son digeridos y absorbidos en el intestino delgado y, en menor medida, algunos de ellos son fermentados parcialmente en el intestino grueso.

Una parte importante de los hidratos de carbono de los alimentos están constituidos por los mono y disacáridos, comúnmente denominados azúcares. Las principales fuentes dietéticas de azúcares son las frutas, los zumos de frutas, algunos vegetales, la leche y algunos productos lácteos y alimentos a los que se añade sacarosa o hidrolizados de almidón, (por ejemplo, jarabes de glucosa o con elevado contenido en fructosa) tales como bebidas carbonatadas, bollería, dulces y productos de confitería¹⁻³.

Los objetivos de este capítulo son: clasificar los hidratos de carbono presentes en los alimentos, establecer claras definiciones sobre todos los términos bioquímicos y comunes relacionados con los azúcares, explicar su valor nutricional y describir su metabolismo, así como las fuentes alimentarias que contienen tanto mono como disacáridos y, finalmente, realizar un análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) sobre la nomenclatura y las ingestas de azúcares.

CLASIFICACION Y TERMINOLOGIA DE LOS HIDRATOS DE CARBONO

Los hidratos de carbono presentes en la dieta pueden estar en forma de moléculas complejas (polímeros o polisacáridos) o moléculas más sencillas, comúnmente denominadas azúcares, monoméricas —monosacáridos— o diméricas —disacáridos—. De todos los azúcares contenidos en la dieta, los más importantes desde el punto de vista nutricional son: glucosa, fructosa, galactosa, maltosa, lactosa, sacarosa y trehalosa. Existen en la literatura clasificaciones muy variadas, pero algunas de ellas pueden confundir al consumidor. A continuación, en la tabla I, se detalla la clasificación de los hidratos de carbono de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y la Organización Mundial de la Salud (FAO/WHO) modificada por la EFSA^{1,3}. Esta última ha optado por clasificar a los hidratos de carbono en dos categorías, según contribuyan o no a elevar la glucemia en sangre, denominadas hidratos de carbono glucémicos y fibra dietética. Los primeros incluyen a los azúcares, las maltodextrinas, los almidones y el glucógeno. La fibra dietética incluye a todos los componentes de la dieta que no son hidrolizados en el intestino delgado, al

Tabla I
Clasificación de los hidratos de carbono por la FAO/WHO modificada por la EFSA³

Clase (GP)	Subgrupo	Componentes	Monómeros	Digestibilidad*
Azúcares (1,2)	Monosacáridos	Glucosa Galactosa Fructosa		+ + +
	Disacáridos	Sacarosa Lactosa Trehalosa Maltosa	Glucosa, Fructosa Glucosa, Galactosa Glucosa Glucosa	+ ± + +
Oligosacáridos (3-9)	Maltooligosacáridos	Maltodextrinas	Glucosa	+
	Otros oligosacáridos	α-Galactósidos (GOS) Fructooligosacáridos (FOS) Polidextrosas Dextrinas resistentes	Galactosa, Fructosa Fructosa, Glucosa Glucosa Glucosa	- - - -
Polialcoholes	Maltitol, Sorbitol Xilitol, Lactilol			+ ó -
Polisacáridos (< 9)	Almidones	Amilosa Amilopeptina Almidones modificados Almidones resistentes Insulina	Glucosa Glucosa Glucosa Glucosa Fructosa	± ± - - -
	Otros polisacáridos	Celulosa Hemicelulosa Pectinas Otros hidrocoloides (gomas, mucílagos, β glucanos)	Glucosa Variable Ácidos urónicos Variable	- - - -
Sustancias relacionadas	Lignina			

GP: Grado de polimerización.

*Digestibilidad en el intestino delgado, + digestible, ± mayormente digestible, + ó - parcialmente digestible, - no digestible.

menos en su mayor parte, es decir polisacáridos no amiloides (celulosas, hemicelulosas, pectinas e hidrocoloides —gomas, mucílagos y glucanos—), oligosacáridos resistentes (fructooligosacáridos y galactooligosacáridos y otros oligosacáridos resistentes), almidones resistentes de tipo IV y lignina (tabla I)³.

Clasificación de los hidratos de carbono

Monosacáridos

Glucosa

La D-glucosa es un azúcar reductor que se encuentra libre en la sangre de todos los mamíferos. Se absorbe por todas las células mediante transportadores específicos. La glucosa está presente en la mayoría de las frutas y en muchos vegetales. Es abundante como polímero de reserva en los animales (glucógeno) y en las plantas (almidón). La mayor parte de la glucosa está presente como polímero no digestible (celulosa). La glucosa se puede producir a partir de la hidrólisis del almidón por vía enzimática. Asimismo, parte de la glucosa puede

isomerizarse a fructosa mediante el empleo de glucosa isomerasa. Tanto la glucosa como las mezclas de glucosa y fructosa en forma de jarabes pueden añadirse a varios alimentos, especialmente a productos de confitería y bollería, así como a bebidas refrescantes y otros productos, como edulcorantes^{2,4}.

Fructosa

Es el azúcar con mayor poder edulcorante. Se absorbe de forma pasiva, más lentamente que la glucosa. Es abundante en frutas. Existen polímeros de la fructosa, tanto naturales (inulina) como obtenidos por síntesis (fructo-oligosacáridos), pero estos compuestos no contribuyen al dulzor de los alimentos de forma significativa y son pobremente digeridos, por lo que tienen un comportamiento de fibra soluble^{2,4}.

Galactosa

La galactosa forma parte de los glucolípidos y las glucoproteínas de las membranas de las células, sobre

todo de las neuronas. Es sintetizada por la glándula mamaria de los mamíferos para producir lactosa, por tanto, el mayor aporte de galactosa en la dieta proviene de la ingesta de lactosa de la leche. Se absorbe en el intestino conjuntamente con la glucosa utilizando el mismo transportador^{2,4}.

Disacáridos

Sacarosa

Es el endulzante por excelencia de los alimentos. Está constituida por una molécula de fructosa y otra de glucosa unidas por un enlace glucosídico. Se hidroliza en el intestino por la acción del complejo enzimático sacarasa-isomaltasa. Es un azúcar no reductor, muy soluble en agua y que cristaliza fácilmente. Se extrae industrialmente a partir de la caña de azúcar y de la remolacha. Se utiliza, además de para endulzar los alimentos, para mejorar el sabor ácido y amargo de muchos de ellos y para conservarlos mediante un aumento de la presión osmótica, lo que impide el crecimiento de muchos microorganismos^{2,4}.

Maltosa

Es el azúcar reductor constituido por dos moléculas de glucosa unidas por un enlace glucosídico, presente en algunos frutos donde supone el 15% del total de los azúcares. Su dulzor es 50% comparado con el de la sacarosa. Se hidroliza en el intestino por la acción de la maltasa. La maltosa forma parte de las maltodextrinas y de jarabes de glucosa, siendo utilizada como ingrediente en numerosos alimentos como fuente de energía. Se obtiene industrialmente por hidrólisis del almidón de arroz o de maíz^{2,4}.

Lactosa

Es el azúcar de la leche y está formado por la unión de dos moléculas de galactosa y glucosa unidas por un enlace glucosídico. Se hidroliza por la acción de la lactasa, enzima cuya actividad desciende a partir de los 2-3 años de edad en la mayoría de los seres humanos. Se extrae en forma purificada a partir de leche de vaca y de suero de quesería, su solubilidad en agua es baja y su dulzor es tan sólo 40% respecto a la sacarosa. En los lactantes y en los niños de corta edad la lactosa no sólo aporta energía, sino que facilita el desarrollo de la microbiota intestinal (bifidobacterias y otras bacterias del ácido láctico), aumenta la biodisponibilidad de calcio y de otros elementos minerales y aporta galactosa directamente utilizable para el desarrollo del sistema nervioso^{2,4}.

Polisacáridos

El *almidón* abunda en el mundo vegetal y es la sustancia a la que nos referimos cuando hablamos globalmente de “polisacáridos complejos” en términos nutricionales. Es un polisacárido formado por uniones de glucosa en posición α 1-4 y ramificaciones en posición α 1-6. La hidrólisis parcial del almidón conduce a la obtención industrial de dextrinas o maltodextrinas, que están formadas por unidades de glucosa de tamaño variable con algunas ramificaciones. Su poder edulcorante depende del grado de hidrólisis. Sólo las dextrinas de elevado poder reductor (grado de dextrosa equivalente 25-45) contribuyen en cierta medida al dulzor de los alimentos.

El *glucógeno* existe sólo en el mundo animal (hígado y músculo) y, como el almidón, no contribuye al sabor dulce de los alimentos, siendo, asimismo, un polisacárido formado por uniones de glucosa en posición α 1-4 y ramificaciones abundantes en posición α 1-6.

La *celulosa* y las *hemicelulosas* forman parte de las paredes celulares de todos los vegetales. Son polisacáridos formados por uniones de glucosa en posición β 1-4.

Las *pectinas* se encuentran formando parte de la lámina media de las paredes celulares de los vegetales. Son polisacáridos del ácido galacturónico en posición α 1-4, con los grupos carboxilos a menudo metoxilados. Son abundantes, sobre todo, en las frutas.

Las *gomas* y *mucílagos* se encuentran especialmente en semillas y legumbres. Son polisacáridos complejos en cuanto a los tipos de sacáridos componentes, ramificaciones y grado de polimerización. Todos estos polisacáridos tienen la característica común de que no son degradables por las enzimas digestivas y constituyen una gran parte de lo que se conoce como fibra dietética^{2,4}.

Terminología de los hidratos de carbono

Las dos categorías principales de los hidratos de carbono digeribles y, por consiguiente, glucémicos, son los azúcares y el almidón. Ambos, en general, presentan problemas a la hora de ser definidos y caracterizados, produciendo complicaciones cuando es necesario examinar su ingesta diaria y el impacto que tienen sobre la salud^{3,5}.

Azúcares

Hay un gran número de términos usados para describir los azúcares y sus componentes, como por ejemplo: azúcar(es), azúcares totales, azúcares totales disponibles, azúcares libres, azúcares añadidos, azúcar(es) refinado(s), azúcares simples, azúcares intrínsecos y extrínsecos, azúcares extrínsecos no-lácteos y edulcorantes calóricos. La existencia de muchos de estos diversos términos y su uso en diferentes países ha dado

Tabla II
Listado general de los diferentes términos utilizados para los azúcares⁴

<i>Término</i>	<i>Descripción</i>
<i>Azúcares totales</i>	Todos los monosacáridos y disacáridos de la comida, sean de origen natural y/o añadidos durante su procesamiento.
<i>Azúcares añadidos</i>	Azúcares y jarabes que se añaden a los alimentos durante su procesamiento o preparación. De acuerdo con el Departamento de Agricultura de EEUU, sólo los mono y disacáridos. Por otro lado el Servicio de Investigación Económica de EEUU incluye los oligosacáridos derivados de jarabes de maíz en su definición. Otros: todos los azúcares refinados (por ejemplo, sacarosa, maltosa, lactosa, glucosa y dextrina) utilizados como ingredientes en procesos alimentarios.
<i>Azúcares libres</i>	Tradicional: cualquier azúcar en un alimento que no está unido, incluyendo la lactosa. Reciente: todos los monosacáridos y disacáridos añadidos a los alimentos por el fabricante y consumidor, más azúcares naturalmente presentes en la miel, jarabes y zumos de frutas.
<i>Azúcares refinados</i>	Para la mayoría de los países europeos, sacarosa, fructosa, glucosa, hidrolizados de almidón (jarabe de glucosa, jarabe de maíz con alto contenido de fructosa) y otros preparados de azúcar aisladas, tales como componentes de los alimentos utilizados durante la manufacturación y preparación de alimentos.
<i>Azúcares extrínsecos no-lácteos</i>	Azúcares totales, menos lactosa en leche y productos lácteos y azúcares presentes en las estructuras celulares de las frutas y hortalizas.
<i>Azúcar (sin "s")</i>	Tiene un gran número de significados, en algunos casos, sólo se refiere a la sacarosa, mientras que en otros casos incluye a "todos los monosacáridos y disacáridos", o "cualquier monosacárido o disacárido libre en un alimento".
<i>Edulcorantes calóricos</i>	Edulcorantes consumidos directamente y además como ingrediente alimentario, tales como sacarosa, de la caña de azúcar y remolacha refinada, miel, dextrosa, azúcares alimenticios y edulcorantes comerciales, además de oligosacáridos.

lugar a que no se puedan comparar los variados estudios sobre ingesta realizados en la actualidad. Del mismo modo, las posibilidades de comparar las ingestas alimentarias y hacer de ellas recomendaciones y establecer relaciones entre el consumo de alimentos y factores de riesgo es limitado.

Los diferentes términos y su definición actual o significado general se muestran en la tabla II⁴.

Almidón

El término almidón se refiere al almidón total presente en los alimentos. Sin embargo, el almidón puede subdividirse de acuerdo con el grado y extensión de su digestibilidad. Los almidones resistentes no son digeribles en el intestino delgado y por lo tanto, no deben ser considerados como hidratos de carbono digeribles, pero hasta la fecha, no existe ninguna separación explícita en las mediciones de ingesta realizadas en las poblaciones. Existen tres tipos de almidones en la dieta, los de rápida digestibilidad que podemos encontrar en las comidas recién cocinadas y en los alimentos ricos en almidón, los de baja digestibilidad presentes en las pastas y en los cereales y finalmente los almidones resistentes⁵.

Valor nutricional de los hidratos de carbono

Los hidratos de carbono son la fuente más barata e importante de energía. Aunque no tienen carácter esencial por ser sintetizados por el organismo, deben formar parte de nuestra dieta en un 45-60% de la ingesta ener-

gética³. Su gran importancia recae en ser la fuente de energía primordial de todos los países, siendo un 50% para los países desarrollados y un 90% para los países en vías de desarrollo. El aporte energético de los hidratos de carbono es del 4,1 kcal/g. Aunque a primera vista se pudiera pensar que la única función de los hidratos de carbono es como fuente de energía para el metabolismo humano y animal, existen otras importantes funciones estructurales de los azúcares en los seres vivos, como componentes importantes de los antígenos de membrana y de proteínas secretadas por muchas células.

Los hidratos de carbono complejos forman parte de alimentos en los que se aportan cereales o sus derivados, como el pan, las pastas, las tortillas de maíz, etc., así como legumbres que contienen además otros muchos nutrientes de gran importancia para el consumo diario como fibra, vitaminas, proteínas y minerales. Por el contrario, los azúcares refinados por sí mismos, no contribuyen al aporte de otros nutrientes, pero si aportan gran cantidad de energía a la dieta sin contribuir a satisfacer las demandas nutricionales diarias de otros nutrientes. Sin embargo, no es menos cierto que los azúcares simples en el contexto de una dieta moderada y equilibrada, contribuyen a la ingesta de otros nutrientes haciendo a los alimentos más apetecibles. Los hidratos de carbono están también presentes en los alimentos de mayor volumen y estructura alimentaria más compleja, enlentecen el proceso digestivo y consiguen que la absorción de la glucosa sea lenta y gradual evitándose la producción de hiperglucemias postprandiales. Sin embargo, los azúcares simples presentan una absorción rápida favoreciendo la aparición de hiperglucemia^{1,3}.

Concepto de índice glucémico (IG)

El índice glucémico se define como el área del incremento bajo la curva de respuesta glucémica de una porción de 50 g de hidratos de carbono absorbibles de un alimento de ensayo, expresada en porcentaje de respuesta a la misma cantidad de glucosa ingerido por el mismo sujeto³. Existen trabajos de investigación que describen que las comidas que contienen alimentos con un IG bajo reducen tanto la glucemia postprandial como la respuesta insulínica. Algunos estudios epidemiológicos indican que una dieta con IG bajo está asociada con una disminución del riesgo de padecer diabetes de tipo 2 en el hombre. Los ensayos clínicos en sujetos normales, diabéticos e hiperlipidémicos, demuestran que las dietas con un IG bajo reducen las concentraciones medias de glucosa en sangre, la secreción de insulina y los triglicéridos séricos en individuos con hipertrigliceridemia.

Por ello, los alimentos con IG bajo aumentan la cantidad de hidratos de carbono que entran al colon e incrementan la fermentación y la producción de ácidos

grasos de cadena corta. La tabla III muestra los valores de IG de algunos alimentos⁶.

METABOLISMO DE LOS HIDRATOS DE CARBONO

La glucosa utilizada en los tejidos deriva de los almidones, sacarosa y lactosa de la dieta, de los depósitos corporales de glucógeno hepático y muscular, o de la síntesis hepática o renal, a partir de precursores gluconeogénicos tales como el esqueleto carbonado de algunos aminoácidos, del glicerol y del lactato; estas fuentes permiten el mantenimiento de la concentración de glucosa en sangre dentro de límites adecuados.

El equilibrio entre oxidación, biosíntesis y almacenamiento de glucosa depende del estado hormonal y nutricional de la célula, el tejido y el organismo. Las vías metabólicas predominantes de la glucosa varían en diferentes tipos celulares dependiendo de la demanda fisiológica. Así, el hígado desempeña un

Tabla III
Índice glucémico de 62 alimentos comunes⁶

<i>Comidas ricas en hidratos de carbono</i>	<i>Cereales del desayuno</i>		<i>Frutas y productos derivados</i>		<i>Vegetales</i>		
Pan blanco de trigo	75 ± 2	Cereales	61 ± 6	Manzana	36 ± 2	Patata cocida	78 ± 4
Pan integral	74 ± 2	Galletas de trigo	69 ± 2	Naranja	43 ± 3	Patata recién picada	87 ± 3
Pan de grano especial	53 ± 2	Crema de avena	55 ± 2	Plátano	51 ± 3	Patata frita	63 ± 5
Pan de trigo sin levadura	70 ± 5	Copos de avena	79 ± 3	Piña	59 ± 8	Zanahoria cocida	39 ± 4
Roti de trigo	62 ± 3	Gachas de arroz	78 ± 9	Mango	51 ± 5	Batata cocida	63 ± 6
Chapatti	52 ± 4	Mijo	67 ± 5	Sandía	76 ± 4	Calabaza cocida	64 ± 7
Tortilla de maíz	46 ± 4	Muesli	57 ± 2	Dátil	42 ± 4	Plátano verde	55 ± 6
Arroz blanco cocido	73 ± 4			Melocotón	43 ± 5	Malanga cocida	53 ± 2
Arroz integral cocido	68 ± 4			Mermelada de fresa	49 ± 3	Sopa de vegetales	48 ± 5
Cebada	28 ± 2			Zumo de manzana	41 ± 2		
Maíz dulce	52 ± 5			Zumo de naranja	50 ± 2		
Espagueti blanco	49 ± 2						
Espagueti, ración	48 ± 5						
Fideos de arroz	53 ± 7						
Fideos japoneses (Udon)	55 ± 7						
Cuscús	65 ± 4						
<i>Lácteos y alternativos</i>	<i>Legumbres</i>		<i>Productos snack</i>		<i>Azúcares</i>		
Leche entera	39 ± 3	Garbanzos	28 ± 9	Chocolate	40 ± 3	Fructosa	15 ± 4
Leche desnatada	37 ± 4	Habichuelas rojas	24 ± 4	Palomitas	65 ± 5	Sacarosa	65 ± 4
Helado	51 ± 3	Lentejas	32 ± 5	Patatas fritas	56 ± 3	Glucosa	103 ± 3
Yogur de fruta	41 ± 2	Soja	16 ± 1	Refrescos	59 ± 3	Miel	61 ± 3
Leche de soja	34 ± 4			Galletas de arroz	87 ± 2		
Leche de arroz	86 ± 7						

Datos expresados g/100 g o g/100 ml en media ± error típico de la media, adaptado de Atkinson et al. 2008 *Diabetes Care* 31: 2281-3.

papel fundamental en la homeostasis corporal de la glucosa. En los hepatocitos, la glucosa puede ser oxidada completamente para obtener energía, ser almacenada en forma de glucógeno o proveer carbonos para la síntesis de ácidos grasos y aminoácidos.

El músculo cardiaco y esquelético pueden oxidar completamente la glucosa o almacenarla en forma de glucógeno. En el tejido adiposo, la glucosa puede ser degradada parcialmente para proveer glicerol, necesario para la síntesis de triglicéridos, u oxidada totalmente y proveer unidades de dos carbonos (acetil-CoA) para la síntesis de ácidos grasos.

El cerebro es dependiente del suministro continuo de glucosa, que es capaz de oxidar completamente hasta CO_2 y agua. Por otra parte, los eritrocitos tienen una capacidad limitada de oxidar glucosa, ya que no tienen mitocondrias, pero la obtención de energía depende exclusivamente de ese combustible metabólico oxidándola parcialmente hasta lactato vía glucólisis. Otras células especializadas, como las células de la córnea, el cristalino, la retina, los leucocitos, las células testiculares y las células de la médula renal, son eminentemente glucolíticas⁵.

La mayoría de las células de los mamíferos captan la glucosa, además de otros azúcares y polialcoholes, a través de unas proteínas transportadoras de membrana que se denominan, transportadores de glucosa (GLUT *Glucose Transporters*). Hasta el momento se conocen trece miembros de esta familia que se caracterizan por poseer doce fragmentos transmembrana y una serie de aminoácidos muy conservados en las distintas especies, los cuales se consideran directamente implicados en su función.

Las distintas isoformas de GLUT difieren en su localización tisular, sus características cinéticas y su dependencia o no de insulina. De hecho, la absorción de glucosa se regula en función de la expresión y localización de los distintos GLUT en distintas células y en distintos estados metabólicos. Los GLUT2, 3 y 4 constituyen ejemplos válidos para ilustrar la regulación de la absorción de glucosa por este tipo de transportadores. Así, el GLUT3 es el principal transportador de glucosa en el cerebro y posee una K_m (1 mM) muy por debajo de los niveles de glucemia normales (4-8 mM), lo que indicaría que transporta glucosa de manera constante al interior de las células que lo expresan.

Por su parte, el GLUT2 posee una K_m alta (15-20 mM) por lo que las células que lo expresan sólo absorben glucosa cuando la glucemia está elevada. Este transportador se expresa entre otras en las células intestinales y en las células β pancreáticas en las que la entrada de glucosa es señal de que la glucemia sanguínea se encuentra elevada y de que deben desencadenarse los mecanismos necesarios para la liberación de insulina (producción de adenosín trifosfato (ATP) por degradación de glucosa con la consiguiente inhibición del canal K^+ -ATP, activándose la entrada de calcio y como consecuencia la liberación de insulina de los endosomas a la sangre). Por último, el GLUT4 es un

transportador que se expresa en el músculo y en el tejido adiposo. La localización en la célula de este transportador, y por tanto su actividad, depende de los niveles sanguíneos de insulina, ya que ésta es necesaria para que el receptor, que normalmente se encuentra almacenado en vesículas intracelulares, se inserte en la membrana plasmática⁷.

Glucólisis

La glucólisis es la ruta central del catabolismo de la glucosa. En ella se degrada la glucosa con un doble objetivo: obtener energía en forma de ATP y suministrar precursores para la biosíntesis de componentes celulares. La glucólisis se produce en todas las células de mamíferos, siendo la fuente exclusiva o casi exclusiva de energía en algunas células y tejidos como los eritrocitos, la médula renal, el cerebro y los testículos.

La glucólisis se desarrolla íntegramente en el citoplasma y en ella una molécula de glucosa se escinde para dar lugar a dos moléculas de piruvato. En esta ruta se pueden distinguir dos fases: fase preparatoria, en la que se convierte la glucosa en dos moléculas de triosas fosfato y fase de obtención de energía, con la conversión de las dos moléculas de triosas en dos de piruvato y obtención de ATP y NADH (Nicotín Adenín Dinucleótido en su forma reducida) (fig. 1).

Fase preparatoria

En esta fase la glucosa se modifica para dar lugar a fructosa-1,6-bisfosfato que se escinde para dar lugar a dos triosas fosfato con consumo de ATP. La fase preparatoria de la glucólisis se puede dividir en las siguientes etapas (fig. 1):

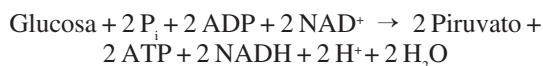
- Fosforilación de la glucosa.* En esta reacción irreversible la glucosa se fosforila por una quinasa a expensas de ATP para convertirse en glucosa 6-fosfato. La quinasa que cataliza la fosforilación de la glucosa en todas las células es la hexoquinasa (HK). Como todas las quinanas, necesita ATP y magnesio (Mg^{++}). La HK tiene poca especificidad para la glucosa y es por tanto capaz de fosforilar a otros azúcares, pero posee en cambio una gran afinidad por la glucosa (K_m 100 mM).
- Conversión de glucosa-6-fosfato en fructosa-6-fosfato.* En la siguiente reacción, catalizada por la fosfohexosa isomerasa (fosfoglucosa isomerasa), la glucosa-6-fosfato se convierte en fructosa 6-fosfato. Es la primera etapa reversible de la vía. La fosfohexosa isomerasa también requiere Mg^{++} como cofactor y es específica para la glucosa-6-fosfato y la fructosa-6-fosfato.
- Formación de fructosa-1,6-bisfosfato.* La fructosa-6-fosfato se fosforila, a expensas de ATP y

- e) *Interconversión de triosas fosfato*. Sólo una de las triosas, el GAP, puede seguir la degradación por la vía glicolítica por lo que las dos triosas se isomerizan a GAP en una reacción catalizada por la triosa fosfato isomerasa (TIM).

Fase de obtención de energía

En la fase de obtención de energía las dos moléculas de GAP se convierten en piruvato y la energía de la degradación de glucosa se conserva en forma de ATP y poder reductor en forma de NADH. Esta fase se divide en las siguientes etapas:

- a) *Oxidación del gliceraldehído-3-fosfato*. El GAP se convierte en 1,3-bisfosfoglicerato (1,3-BPG) en una reacción catalizada por la gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa (GAPDH). Esta enzima requiere como cofactores fosfato inorgánico (P_i) y NAD^+ .
- b) *Formación de ATP a partir de 1,3-bisfosfoglicerato*. En la reacción siguiente, catalizada por la fosfoglicerato quinasa, el 1,3-BPG se convierte en 3-fosfoglicerato y se sintetiza ATP. Es una reacción de fosforilación a nivel de sustrato, en la que el 1,3-bisfosfoglicerato cede su fosfato rico en energía al adenosín difosfato (ADP). Ésta es una reacción reversible en la célula y requiere Mg^{++} como cofactor.
- c) *Conversión del 3-fosfoglicerato en 2-fosfoglicerato*. El 3-fosfoglicerato se isomeriza de forma reversible a 2-fosfoglicerato por la fosfoglicerato mutasa, que requiere Mg^{++} como cofactor. La reacción transcurre en dos pasos. En el primero de ellos la enzima, fosforilada en un resto de histidina, cede el fosfato al hidroxilo en C_2 del 3-fosfoglicerato, originando el 2,3-bisfosfoglicerato. En el paso siguiente, el 2,3-bisfosfoglicerato cede a la enzima el fosfato en C_3 y libera la enzima fosforilada y el 2-fosfoglicerato.
- d) *Formación de fosfoenolpiruvato*. El 2-fosfoglicerato se deshidrata y origina fosfoenolpiruvato (PEP), que es un enol-fosfato “rico en energía”, en una reacción reversible catalizada por la enolasa.
- e) *Síntesis de piruvato*. El PEP transfiere su fosfato al ADP en una reacción catalizada por la piruvato quinasa, que requiere Mg^{++} y K^+ (potasio), para dar lugar a piruvato.
- f) *Balance de la glucólisis*. En la ruta de degradación de glucosa por la vía glicolítica se obtienen dos moléculas de piruvato, dos moléculas de ATP y dos de NADH. Aunque se han obtenido cuatro moléculas de ATP, se han consumido dos en la formación de la fructosa 1,6-bisfosfato. Por lo tanto, el balance neto de la reacción es:



Gluconeogénesis

La gluconeogénesis es la ruta por la que se sintetiza glucosa a partir de precursores no glucídicos. La importancia de esta vía viene dada por la necesidad que tienen algunos tejidos y órganos (el sistema nervioso central, la médula renal, el cristalino, la retina, los testículos y los eritrocitos) de disponer de glucosa de forma permanente (fig. 1).

Formación de fosfoenolpiruvato a partir de piruvato

La primera etapa de la gluconeogénesis es la conversión de piruvato en PEP. La reacción glicolítica es irreversible, dado que tiene una variación de energía libre estándar muy negativa y, para invertirla, se requiere dar un rodeo en el que participan dos enzimas con distinta localización: la piruvato carboxilasa, que se localiza en las mitocondrias, y la fosfoenolpiruvato carboxiquinasa (PEPCK), que es citosólica.

Como consecuencia, el piruvato debe inicialmente transportarse a la mitocondria donde la piruvato carboxilasa catalizará su conversión en oxalacetato. Esta enzima requiere biotina, ATP y dióxido de carbono (CO_2).

El oxalacetato debe salir de la mitocondria. No obstante, no tiene transportador en la membrana mitocondrial, por lo que debe convertirse en malato o aspartato para poder ser transportado. Para su conversión en malato, el oxalacetato se reduce mediante la malato deshidrogenasa mitocondrial, utilizando NADH como reductor. El malato sale al citosol y se oxida por la malato deshidrogenasa citosólica utilizando NAD^+ como aceptor y de esta forma se obtiene, además de oxalacetato, NADH para la reducción que tiene lugar en una reacción posterior catalizada por la GAPDH.

El oxalacetato se puede convertir también en aspartato por la glutamato-oxalacetato transaminasa (GOT) mitocondrial; el aspartato sale de la mitocondria y por la glutamato-oxalacetato transaminasa citosólica se convierte en oxalacetato.

Una vez en el citosol, el oxalacetato se descarboxila por la PEPCK originándose PEP. Esta enzima requiere Mg^{++} y guanósín trifosfato (GTP) como donador de fosfato.

Conversión de fructosa-1,6-bisfosfato en fructosa-6-fosfato

Mediante reacción hidrolítica, en la que se libera fosfato inorgánico, catalizada por la fructosa-1,6-bisfosfatasa que requiere Mg^{++} como cofactor y en ella se forma fructosa-6-fosfato. La fructosa-1,6-bisfosfatasa constituye el punto de control más importante en la ruta gluconeogénica, se activa por ATP y citrato y se inhibe por adenosín monofosfato (AMP) y fructosa-2,6-bisfosfato.

Obtención de glucosa libre

La última de las etapas gluconeogénicas consiste en la formación de glucosa libre a partir de glucosa-6-fosfato en una reacción catalizada por la glucosa-6-fosfatasa, que para ser estable ha de estar unida a una proteína que a su vez se une a Ca^{++} . La glucosa-6-fosfato se sintetiza en el citosol por lo que debe ser transportada al lumen del retículo endoplásmico.

Metabolismo de otros monosacáridos

Fructosa

La fructosa se metaboliza mediante su conversión en intermediarios de la vía glucolítica. En la mayor parte de los tejidos se fosforila por la HK hasta fructosa-6-fosfato que es un intermediario glucolítico. En el hígado sigue una ruta diferente, se fosforila para dar fructosa-1-fosfato (F1P) en una reacción catalizada por la cetohecoquinasa o fructoquinasa. La fructosa-1-fosfato se escinde por la acción de la aldolasa B, para dar lugar a DHAP y gliceraldehído (GA). El GA, para poderse metabolizar, tiene que fosforilarse por la triosaquinasa originando GAP, que ingresa junto con la dihidroxiacetona-fosfato en la vía glucolítica a nivel de triosas fosfato (fig. 2).

Galactosa

El metabolismo de la galactosa transcurre a través de su conversión en glucosa. La primera etapa de su metabolización es la formación de galactosa-1-fosfato, en una reacción catalizada por la galactoquinasa. Esta enzima está presente en los glóbulos rojos y blancos y en el hígado. La siguiente etapa consiste en la formación de uridín difosfato-galactosa, a partir de galactosa-1-fosfato y uridín difosfato-glucosa, en reacción catalizada por la galactosa-1-fosfato-uridil transferasa.

La uridín difosfato-galactosa se epimeriza a uridín difosfato-glucosa, en una reacción catalizada por la uridín difosfato-galactosa-4-epimerasa cuyo coenzima es el NAD^+ . La enzima cataliza la reacción en los dos sentidos y puede también utilizar como sustratos a uridín difosfato-N-acetil-glucosamina o uridín difosfato-N-acetil-galactosamina. La siguiente etapa es catalizada por uridín difosfato-glucosa pirofosforilasa, que posibilita no sólo la obtención de glucosa-1-fosfato a partir de uridín difosfato-glucosa sino también la formación de uridín difosfato-glucosa a partir de uridín trifosfato (UTP) (fig. 2).

Manosa

La manosa procede de la digestión de polisacáridos y glucoproteínas, se fosforila por la HK a manosa-6-fosfato y posteriormente se isomeriza por la fosfohexosa isomerasa, dando lugar a fructosa-6-fosfato que ingresa en la vía glucolítica (fig. 2).

FUENTES ALIMENTARIAS DE MONO Y DISACARIDOS

De manera general, se considera la composición de mono y disacáridos en tres grupos de alimentos y luego se examina de manera individual el contenido de cada uno de los azúcares en dichos grupos de alimentos.

Desafortunadamente, las bases de datos internacionales como la del Departamento de Agricultura de los EEUU (<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list>) y la de la FAO (<http://www.fao.org/infoods/infoods/tables-and-databases/faoinfoods-databases/en/>) no ofrecen la composición detallada de mono y disacáridos de los alimentos y tan solo se limitan a dar datos de hidratos de carbono totales “por diferencia” respecto al resto de nutrientes, de fibra y de azúcares totales^{8,9}.

Leche y derivados lácteos

La lactosa es el principal y exclusivo hidrato de carbono de la leche. El contenido en lactosa de la leche depende de la especie. Los productos lácteos deshidratados varían en su composición media de lactosa, desde 10% p/p de la leche evaporada hasta 50% p/p en la leche en polvo desnatada y las natas alrededor de 3 g y las mantequillas 1,1 g por cada 100 g de alimento¹⁰.

La lactosa parece tener efecto beneficioso en la absorción intestinal de calcio. En personas con intolerancia a la lactosa, el consumo de leche puede producir un cuadro de trastornos intestinales que, en mayor o menor medida, causa distensión abdominal, exceso de gases intestinales, náuseas, diarrea y calambres abdominales. Las personas que no toleran bien la leche pueden sustituirla por otros productos lácteos, como el queso (ya que gran parte del contenido en lactosa se pierde en los procesos de coagulación y maduración), o por productos fermentados frescos, como el yogur.

Cereales y productos derivados

El contenido de azúcares y oligosacáridos en los cereales es bajo (1-3%) y se encuentran distribuidos entre el germen, el salvado y el endospermo. El azúcar mayoritario en todos ellos es la sacarosa, que puede llegar hasta el 1%; el contenido medio en harinas de arroz, avena y trigo es de 0,13, 0,25 y 0,56%, respectivamente. Existen concentraciones inferiores de glucosa y fructosa de 0,02-0,06% en las harinas de arroz, avena y trigo. La maltosa está en cantidad variable dependiendo del grado de hidrólisis del almidón y en el caso de las harinas de trigo el índice encontrado varía entre 1,7 y 2,4. En los productos de bollería y pastelería, el valor energético es muy elevado, ya que corresponden a productos ricos en hidratos de carbono (37-79%), especialmente almidón. Además, a muchos de ellos se les añade sacarosa¹¹.

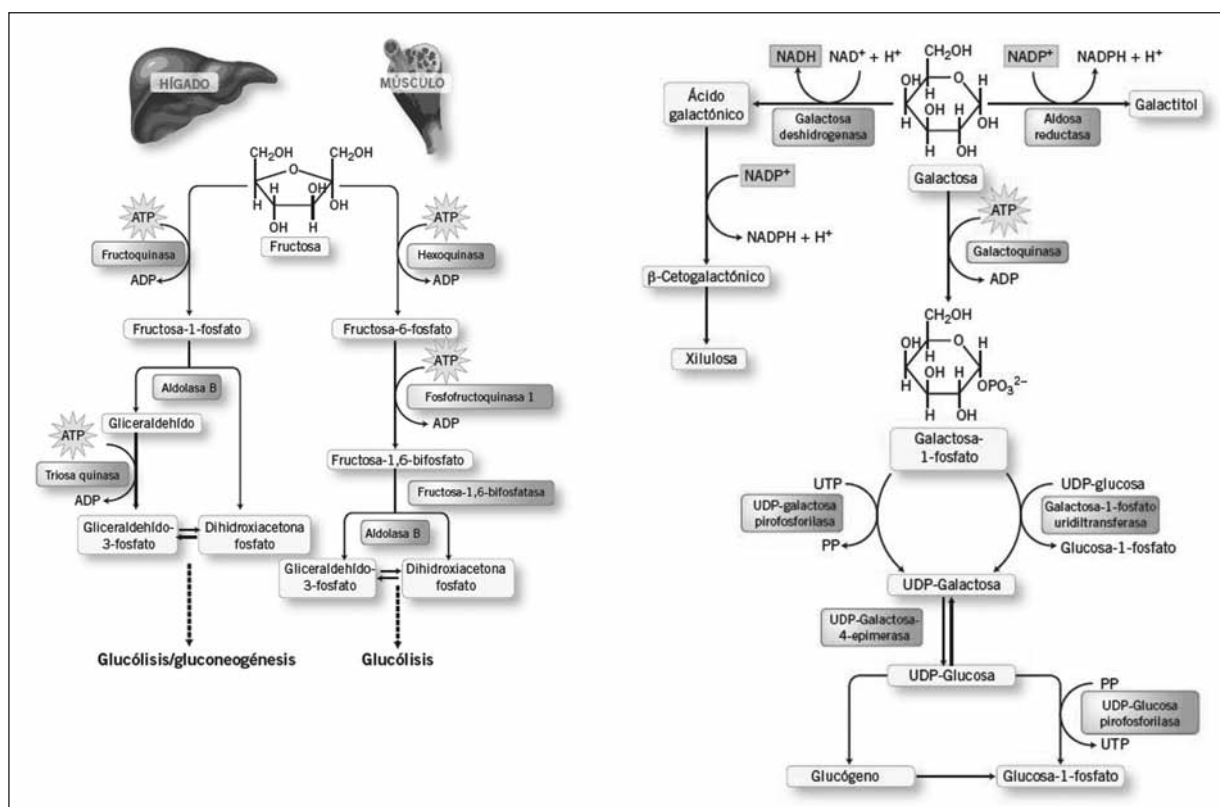


Fig. 2.—Reacciones de interconversión de la fructosa, en el hígado y el músculo, y de la manosa y galactosa. Tomado de Gil A. Tratado de Nutrición, 2.ª Ed. Vol. I, Editorial Panamericana, Madrid, 2010.

Los azúcares son un ingrediente básico de las galletas, dulces y productos de confitería. En estos productos constituyen el 40% del total de hidratos de carbono, estando presentes sacarosa, jarabes de glucosa, fructosa y miel¹¹.

Frutas, productos hortofrutícolas y miel

Los principales azúcares de las frutas son la sacarosa, la glucosa y la fructosa. El que predomine uno u otro azúcar depende del tipo de fruta. Así, las drupas (ciruela, albaricoque, melocotón, etc.) tienen principalmente sacarosa, a excepción de las cerezas. En cuanto a los azúcares reductores, la glucosa suele estar en mayor proporción. En los frutos con pepita, las denominadas pomos o pomos (manzanas, membrillos y peras) también tienen glucosa y fructosa, pero, en este caso, la proporción de fructosa es mayor y sigue aumentando, incluso después de la recolección. Otras frutas, como la uva o el higo, no contienen sacarosa y la fuente principal de azúcares es la glucosa¹².

La D-glucosa se encuentra de forma natural en la miel (31%)¹³; las frutas, como uvas y cerezas (alrededor del 7%), manzanas y melocotones (1%), las verduras y hortalizas, como la cebolla (2%), tomate, zanahoria, pepino, judías verdes, patatas y maíz dulce (1%)¹².

La fructosa se encuentra de forma natural en la miel (38%)¹²; las frutas, como uvas y cerezas (alrededor del

7%), manzanas y peras (6%), fresas (2%) y melocotón (1%), las verduras y hortalizas, como la cebolla, tomate, zanahoria, pepino, judías verdes (1%) y las patatas y maíz dulce (0,3%)¹².

La sacarosa se encuentra distribuida en los alimentos vegetales como frutas, melocotón (7%), manzanas (4%), uvas y peras (2%) y fresas (1%); las verduras y frutas, como la remolacha (6-20%), guisantes (5%), zanahoria (4%), el maíz dulce (12-17%) y las patatas (3%)¹².

La maltosa se encuentra en la miel (7%) producida por reacciones de transglucosilación, y en proporción variables en frutas, verduras y cereales por hidrólisis enzimática del almidón que estos alimentos contienen¹³.

ANÁLISIS DAFO SOBRE LA NOMENCLATURA, COMPOSICIÓN DE LOS ALIMENTOS E INGESTAS DE AZÚCARES

Debilidades

Las bases de datos internacionales de composición de alimentos no aportan la cantidad detallada de mono y disacáridos en los alimentos y tan solo se limitan a dar resultados de hidratos de carbono totales “por diferencia” respecto al resto de nutrientes, de fibra y de azúcares totales.

Hay varios factores principales que limitan la cantidad de información comparable acerca de la ingesta de hidratos de carbono tanto en adultos como en lactantes y niños pequeños. El primero está centrado en el número limitado de trabajos realizados. El segundo, sobre los diferentes enfoques y los resultados diversos publicados en las bases de datos sobre hidratos de carbono. El tercero, la gran cantidad de términos utilizados y, finalmente, la falta de información sobre las ingestas de almidón a nivel mundial.

Amenazas

Basado en la escasa información disponible sobre la ingesta de los hidratos de carbono, especialmente en los lactantes y en los niños de corta edad, la más clara amenaza es la creciente y preocupante relación con el desarrollo de diversas enfermedades, como obesidad, problemas cognitivos, resistencia a la insulina y diabetes. Es necesario evaluar y abordar cada uno de los factores que nos ayuden a comprender, si es tal la existencia de una relación y cuáles son los valores normales necesarios para una dieta adecuada no ya de hidratos de carbono totales sino sobre sus componentes fundamentales y, en particular, sobre los azúcares.

Fortalezas

Diversas agencias internacionales se están preocupando recientemente por ofrecer una visión estructurada de los conocimientos sobre la terminología a aplicar para los diversos tipos de hidratos de carbono y de forma muy especial para los azúcares^{1,3}.

Asimismo, se están valorando de forma sistemática las ingestas de diversos tipos de hidratos de carbono en varios estudios de cohortes lo que permite establecer con un mayor grado de seguridad las ingestas actuales de azúcares y de otros hidratos de carbono.

Oportunidades

Es necesario que las recomendaciones dietéticas específicas en la infancia y en la niñez se afronten mejor, estableciéndose de una manera individualizada, incorporando las posibles interacciones entre la dieta y los genes, que son críticos para la comprensión de las relaciones existentes entre la dieta y el riesgo de enfermedad metabólica.

En el área cognitiva, los estudios futuros deben incorporar pruebas de neurodesarrollo, así como la medición de nivel cognitivo general, asociados a la ingesta de azúcares y de otros hidratos de carbono.

Para establecer la influencia de la ingesta de diferentes tipos de hidratos de carbono sobre la obesidad y la diabetes, son necesarios estudios prospectivos de cohortes que cubran la infancia y la niñez.

Referencias

1. WHO/FAO Joint expert consultation. Carbohydrates in human nutrition, 1998.
2. Gil A, Ramírez Tortosa MC. Azúcares y derivados. En: Aranceta J, editor. Guías alimentarias para la población española. Recomendaciones para una dieta saludable. Madrid: IM&C, S.A. y SENC; 2001, pp. 133-46.
3. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA); Scientific Opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre. EFSA Journal 2010; 8(3):1462 [77 pp.]. doi:10.2903/j.efsa.2010.1462. Available online: www.efsa.europa.eu
4. Stephen A, Alles M, de Graaf C, Fleith M, Hadjilucas E, Isaacs E, Maffei C, Zeinstra G, Matthys C, Gil A. The role and requirements of digestible dietary carbohydrates in infants and toddlers. *Eur J Clin Nutr* 2012; 66: 765-79.
5. Sánchez de Medina Contreras F, Gil A. Funciones y metabolismo de los nutrientes. En: Gil A, editor. 2 ed. Tratado de Nutrición, Tomo I: Bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2010, pp. 17-42.
6. Atkinson FS, Foster-Powell K, Brand-Miller JC. International Tables of Glycemic Index and Glycemic Load Values: 2008. *Diabetes Care* 2008; 31: 2281-3.
7. Martínez Agustín O, Suárez Ortega MD. Metabolismo de los hidratos de carbono. En: Gil A, editor. 2 ed. Tratado de Nutrición, Tomo I: Bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2010, pp. 203-33.
8. USDA United States Department of Agriculture, National Agricultural Library, Nutrient Data Library <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list>
9. International Network of Food Data Systems (INFOODS), FAO/INFOODS Food Composition Databases <http://www.fao.org/infoods/infoods/tables-and-databases/faoinfoods-databases/en/>
10. Baró Rodríguez L, Lara Villoslada F, Corral Román E. Leche y derivados lácteos. En: Gil A, editor. 2 ed. Tratado de Nutrición, Tomo II: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2010, pp. 1-26.
11. García-Villanova Ruiz B, Guerra Hernández EJ. Cereales y productos derivados. En: Gil A, editor. 2 ed. Tratado de Nutrición, Tomo II: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2010, pp. 97-138.
12. Ruiz López MD, García-Villanova Ruiz B, Abellán P. Frutas y productos derivados. En: Gil A, editor. 2 ed. Tratado de Nutrición, Tomo II: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2010, pp. 167-98.
13. Guerra Hernández EJ. Azúcares, miel y productos de confitería. En: Gil A, editor. 2 ed. Tratado de Nutrición, Tomo II: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2010, pp. 221-48.