

# HIDRATOS DE CARBONO: ASPECTOS NUTRICIONALES Y DE SALUD

# ACERCA DE ILSI / ILSI EUROPE

El International Life Sciences Institute (ILSI, Instituto Internacional de Ciencias de la Vida) es una fundación sin ánimo de lucro que opera en todo el mundo. Fue creada en 1978 para avanzar en el conocimiento de los aspectos científicos de la nutrición, la inocuidad de los alimentos, la toxicología, la evaluación de riesgos y el medio ambiente. El ILSI agrupa a científicos procedentes del mundo académico, del gobierno, de la industria y del sector público con el objetivo de ofrecer una perspectiva equilibrada para resolver problemas de interés común que afectan al bienestar de la población general. La sede central del ILSI se encuentra en Washington DC, EE.UU. y cuenta con filiales en Argentina, Brasil, Europa, la India, Japón, Corea, México, la región de África del Norte y el Golfo Pérsico, América del Norte, los Andes Meridionales, los Andes Septentrionales, Sudáfrica, la región del Sudeste Asiático, el punto focal en China y el ILSI Health and Environmental Sciences Institute (HESI, Instituto de Ciencias de la Salud y el Medio Ambiente). El ILSI está afiliado a la Organización Mundial de la Salud como organización no gubernamental (ONG) y dispone de un estatus de consulta especializado para la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

La rama europea del ILSI (ILSI Europe) se creó en 1986 para identificar y evaluar asuntos científicos relacionados con los temas mencionados anteriormente mediante simposios, talleres, grupos de expertos y las publicaciones resultantes de estos encuentros. El objetivo es el de avanzar en el conocimiento y la resolución de problemas científicos en estas áreas. El ILSI Europe está financiado principalmente por las empresas que lo integran.

Esta publicación es posible gracias al apoyo del grupo de trabajo del ILSI Europe sobre Hidratos de Carbono en la Dieta, que se encuentra bajo los auspicios de Consejo Directivo del ILSI Europe. El reglamento del ILSI establece que los consejos directivos del ILSI y de sus filiales deben estar compuestos por al menos un 50% de científicos del sector público; los otros integrantes representan a las empresas miembros. La lista siguiente corresponde al Consejo Directivo del ILSI Europe y a los miembros del grupo de trabajo sobre Hidratos de Carbono en la Dieta.

## *Miembros del Consejo Directivo del ILSI Europe*

Mrs. K. Duffin-Maxwell, Kraft Foods (DE)  
Prof. G. Eisenbrand, University of Kaiserslautern (DE)  
Prof. A. Flynn, University College Cork (IE)  
Prof. A. Grynberg, National Institute for Agricultural Research (FR)  
Dr. M.E. Knowles, Coca-Cola Europe, Eurasia and Middle East (BE)  
Dr. I. Knudsen, Danish Institute for Food and Veterinary Research (DK)  
Dr. M. Kovac, Food Research Institute (SK)  
Dr. G. Kozianowski, Südzucker (DE)  
Dr. D.J.G. Müller, Procter & Gamble European Service GmbH (DE)  
Prof. G. Pascal, INRA (FR)

Dr. J. Schlatter, Swiss Federal Office of Public Health (CH)  
Prof. L. Serra Majem, University of Las Palmas de Gran Canaria (ES)  
Prof. C. Shortt, Yakult (UK)  
Dr. G. Thompson, Groupe Danone (FR)  
Prof. V. Tutelyan, National Nutrition Institute (RU)  
Prof. P. van Bladeren, Nestlé Research Center (CH)  
Prof. W.M.J. van Gelder, Royal Numico (NL)  
Mr. P.M. Verschuren, Unilever Health Institute (NL)  
Prof. em. P. Walter, University of Basel (CH)  
Dr. J. Wills, Masterfoods (UK)

## *Empresas integrantes del Grupo de Trabajo sobre Hidratos de Carbono en la Dieta*

Cerestar  
Coca-Cola  
Danisco Sweeteners  
Groupe Danone  
Kellogg  
Kraft Foods  
Masterfoods

National Starch  
Nestlé  
Royal Numico  
RHM Technology  
Royal Cosun  
Südzucker  
Unilever

# **HIDRATOS DE CARBONO: ASPECTOS NUTRICIONALES Y DE SALUD**

por Juliet Gray



**ILSI Europe**

© 2003 International Life Sciences Institute  
Spanish translation © 2005 International Life Sciences Institute

*Todos los derechos reservados.* Ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida, almacenada en un sistema de recuperación de información, ni transmitida de ninguna forma ni por ningún medio, sea electrónico, mecánico, de fotocopiado, de grabación, o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito del poseedor de los derechos de autor. El International Life Sciences Institute (ILSI, Instituto Internacional de Ciencias de la Vida) no reclama derechos de autor sobre la información obtenida del gobierno de los Estados Unidos.

El ILSI autoriza a las bibliotecas y a otros usuarios registrados en el Servicio de Transacciones del Copyright Clearance Center (CCC) Transactional Reporting Services a fotocopiar material de esta publicación para uso interno o personal, al precio de \$ 0,50 por página, que se ha de pagar directamente al CCC, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 (EE.UU.). Teléfono: (+1) 978 750 8400, Fax: (+1) 978 750 4470.

ILSI®, “A Global Partnership for a Safer, Healthier World.®”, y el logotipo de ILSI del microscopio sobre el globo terráqueo, son marcas registradas del International Life Sciences Institute (Instituto Internacional de Ciencias de la Vida). La mención de marcas y fuentes comerciales en este documento tiene solo fines identificativos y no implica que el ILSI las avale. Además, las opiniones expresadas en esta publicación responden a sus respectivos autores o a sus organizaciones, y no reflejan necesariamente las del ILSI.

Si desea obtener más información acerca del ILSI / ILSI Europe, póngase en contacto con:

ILSI Press  
One Thomas Circle, NW  
Ninth Floor  
Washington DC 20005-5802  
EE.UU.  
Teléfono: (+1) 202 659 0074  
Fax: (+1) 202 659 3859  
Correo electrónico: [ilsipress@ilsil.org](mailto:ilsipress@ilsil.org)  
Página web: <http://www.ilsil.org>

ILSI Europe a.i.s.b.l.  
Avenue E. Mounier 83, Box 6  
B-1200 Brussels  
Bélgica  
Teléfono: (+32) 2 771 00 14  
Fax: (+32) 2 762 00 44  
Correo electrónico: [info@ilsieurope.be](mailto:info@ilsieurope.be)  
Página web: <http://europe.ilsil.org>

ISBN 1-57881-190-2

# ÍNDICE

---

PRÓLOGO .....	1
HIDRATOS DE CARBONO EN LOS ALIMENTOS .....	3
EFFECTOS DE LA COCCIÓN Y LA TECNOLOGÍA EN LOS HIDRATOS DE CARBONO .....	9
INGESTA DE HIDRATOS DE CARBONO .....	10
DIGESTIÓN Y ABSORCIÓN DE LOS HIDRATOS DE CARBONO .....	11
METABOLISMO DE LOS HIDRATOS DE CARBONO ABSORBIDOS .....	14
HIDRATOS DE CARBONO EN LA SALUD Y LA ENFERMEDAD .....	21
GLOSARIO .....	29

*Autor:* Juliet Gray (UK)

*Editor científico:* Arne Astrup, Royal Veterinary & Agricultural University (DK)

*Revisores científicos:* Cor van Loveren, Academic Centre for Dentistry Amsterdam (NL),  
Ellen Blaak, Maastricht University (NL), Christine Cherbut, International Institute for Agricultural Research (F),  
Gabriele Riccardi, University of Naples (I)

*Editor de la serie de Monografías Concisas:* Ron Walker, University of Surrey (UK)

*Traducido por* id2m (F)

*Revisor científico de la traducción:* Sonia Samartín (B)

## PRÓLOGO

---

En los últimos veinte o treinta años, el conocimiento acerca de los papeles fisiológicos que juegan los diferentes tipos de hidratos de carbono y su relación con el mantenimiento de la salud o el desarrollo de enfermedades ha avanzado de forma considerable y ha puesto en tela de juicio muchas de las antiguas creencias sobre los azúcares, los almidones y la fibra alimentaria. Los hidratos de carbono incluyen una gran variedad de estructuras diferentes, que a su vez determinan múltiples efectos fisiológicos distintos en el cuerpo humano.

Esta monografía, *“Hidratos de carbono: aspectos nutricionales y de salud”*, estudia los conocimientos y descubrimientos científicos más recientes acerca de los aspectos nutricionales y de salud de los hidratos de carbono. Actualiza y sustituye la monografía concisa del ILSI Europe titulada *“Starches and Sugars: A Comparison of their Metabolism in Man”* (Almidones y azúcares: una comparación de su metabolismo en el ser humano), que se publicó en 1991.

La publicación en 1997 de la Consulta Conjunta de Expertos de la FAO y la OMS sobre Hidratos de Carbono en la Nutrición Humana, *“Carbohydrates in Human Nutrition”*, en la que se recomendaba la utilización de una nueva terminología basada en la función fisiológica de los hidratos de carbono, estimuló la producción de esta monografía concisa. Los temas que se tratan son la clasificación de los hidratos de carbono, la ingesta, la digestión y el metabolismo de los hidratos de carbono, así como los efectos de los hidratos de carbono en la salud: el control del peso corporal, la actividad física, la fisiología y la tolerancia intestinal, las relaciones de los hidratos de carbono con las enfermedades, la salud bucal, los efectos sobre el sistema inmunitario y la función cognitiva.

Para obtener más detalles sobre los azúcares, consulte la monografía concisa: ILSI Europe Concise Monograph titulada *“Nutritional and Health Aspects of Sugars – Evaluation of New Findings”* (Aspectos nutricionales y de salud de los azúcares: evaluación de nuevos descubrimientos).

Janet Lambert  
Masterfoods

## HIDRATOS DE CARBONO EN LOS ALIMENTOS

Como su nombre indica, los hidratos de carbono están compuestos de los elementos carbono, hidrógeno y oxígeno. Sin embargo, los hidratos de carbono constituyen una gran variedad de estructuras diferentes, que a su vez determinan múltiples efectos fisiológicos en el cuerpo humano. Los hidratos de carbono se pueden clasificar de diferentes formas, bien de acuerdo con sus estructuras químicas o bien según sus efectos fisiológicos.

### Clasificación estructural de los hidratos de carbono

Un informe realizado por la Organización para la Agricultura y la Alimentación y la Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS, 1998) indica que los hidratos de carbono se deben clasificar en primer lugar por tamaño molecular, de acuerdo con el grado de polimerización (DP, degree of polymerisation), es decir, el número de unidades de monosacáridos. Según esta clasificación, los hidratos de carbono se dividen en azúcares, oligosacáridos, polisacáridos e hidratos de carbono hidrogenados (polioles) (tabla 1). Cada grupo se puede dividir en varios subgrupos, según el número y la composición de las unidades de monosacáridos.

Los **azúcares** incluyen los monosacáridos y los disacáridos (figura 1). Los monosacáridos más comunes son la glucosa (dextrosa) y la fructosa, y los disacáridos más comunes son la sacarosa y la lactosa.

La glucosa y la fructosa están presentes en diferentes cantidades en la miel, el jarabe de arce, la fruta y la verdura. También están presentes en los alimentos preparados, como los refrescos, los productos de confitería y bollería, que contienen hidratos de carbono producidos por la hidrólisis del almidón, y en los productos derivados, como los jarabes de maíz o los jarabes de maíz ricos en fructosa. Las maltodextrinas, que se utilizan como ingredientes de los productos alimenticios, pueden contener pequeñas cantidades de glucosa.

La **sacarosa** (compuesta por glucosa y fructosa) es el disacárido más importante en la mayoría de las dietas, y el término “azúcar” se utiliza generalmente para referirse a la sacarosa refinada. La sacarosa está presente en la fruta y la verdura, la miel y el jarabe de arce. La sacarosa refinada que se utiliza como ingrediente alimenticio se extrae de la caña de azúcar y la remolacha azucarera. La sacarosa es un ingrediente importante en los productos de bollería y confitería, los dulces, los helados y los refrescos.

La **lactosa** (el azúcar de la leche, compuesto por glucosa y galactosa) se encuentra en la leche y en los productos lácteos. También está presente en los productos alimenticios que contienen productos lácteos entre sus ingredientes, incluyendo diversos productos de bollería, y en alimentos en los que se utiliza el suero lácteo como ingrediente, como las salchichas.

Los **hidratos de carbono hidrogenados** (polioles), como el sorbitol y el xilitol (figura 1), el manitol, el maltitol y el eritritol son las formas químicas reducidas de los azúcares. Tienen algo de dulzor, pero se comportan de forma bastante diferente en términos fisiológicos. Aunque algunos están presentes en pequeñas cantidades en la fruta, se utilizan fundamentalmente como los edulcorantes principales en los productos alimenticios debido a sus propiedades fisicoquímicas y a su dulzor relativo. Los polioles, en especial los tipos monosacáridos y disacáridos, no son cariogénicos, tienen poco contenido calórico y una respuesta glucémica baja. Se utilizan en productos como los chicles y la confitería.

Los **oligosacáridos** se encuentran habitualmente en pequeñas cantidades en los alimentos vegetales y en los productos alimenticios. En algunas verduras, las cantidades de oligosacáridos no digeribles, como el trisacárido rafinosa, el tetrasacárido estaquiosa y el pentasacárido verbascosa, pueden superar las cantidades de otros azúcares simples. Los fructooligosacáridos (FOS) se encuentran en los cereales, como el trigo y el centeno, en diversas verduras, incluyendo las cebollas, el ajo, los espárragos, las endivias y las patatas y en los plátanos y la miel. Recientemente, el mercado ha desarrollado los galactooligosacáridos y los oligosacáridos condensados.

## TABLA 1

### Una posible clasificación estructural de los hidratos de carbono principales de la dieta

CLASE (DP*) Y SUBGRUPO	APLICACIÓN EN LOS ALIMENTOS
<b>Azúcares (1-2)</b>	
<b>Monosacáridos</b>	Glucosa, galactosa, fructosa, tagatosa
<b>Disacáridos</b>	Sacarosa, lactosa, trehalosa, maltosa, isomaltulosa
<b>Oligosacáridos (3-9)</b>	
<b>Maltooligosacáridos</b>	Maltodextrinas
<b>Otros oligosacáridos</b>	Rafinosa, estaquiosa, fructooligosacáridos, galactooligosacáridos
<b>Polisacáridos (&gt;9)</b>	
<b>Almidón</b>	Amilosa, amilopectina, almidones modificados
<b>Polisacáridos sin almidón</b>	Celulosa, hemicelulosas (por ejemplo, galactanos, arabinoxilanos), pectinas, inulina, hidrocoloides (por ejemplo, la goma guar)
<b>Hidratos de carbono hidrogenados (polioles)</b>	
<b>Tipo monosacárido</b>	Sorbitol, manitol, xilitol y eritritol
<b>Tipo disacárido</b>	Isomalt, lactitol, maltitol
<b>Tipo oligosacárido</b>	Jarabes de maltitol, hidrolizados de almidón hidrogenado
<b>Tipo polisacárido</b>	Polidextrosa

\*DP=Grado de polimerización (Degree of polymerization)  
Fuente: adaptado de la Consulta Conjunta de Expertos de la FAO y la OMS (1998), sobre Hidratos de Carbono en la Nutrición Humana.

Aunque anteriormente no se tenía en cuenta, ahora se reconoce la importancia fisiológica especial de los oligosacáridos no digeribles. Los maltooligosacáridos digeribles proceden de la hidrólisis del almidón y están presentes en los jarabes de glucosa utilizados como ingredientes alimenticios.

Los **polisacáridos** se subdividen en almidones y en polisacáridos sin almidón. Incluyen las polidextrosas y la inulina, respectivamente polímeros de glucosa y fructosa, que se utilizan como agentes de carga y como sustituto de la sacarosa en productos alimenticios.

El **almidón** es la reserva alimenticia principal en las plantas y por lo tanto es el hidrato de carbono más importante en la dieta humana. Es una mezcla de dos grandes polímeros: la amilosa, que está compuesta principalmente de cadenas lineales y la amilopectina, que es un polímero muy ramificado y con un mayor peso molecular (figura 2).

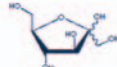
El almidón se produce durante la fotosíntesis y se almacena como gránulos parcialmente cristalinos en ubicaciones específicas, como los tubérculos, los granos o las semillas

**FIGURA 1**  
Estructuras de algunos hidratos de carbono de la dieta

**MONOSACÁRIDOS**

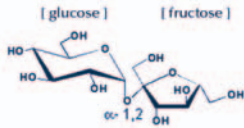


**Glucose**

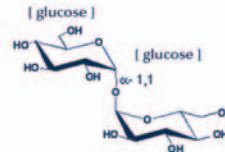


**Fructose**

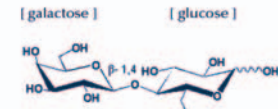
**DISACÁRIDOS**



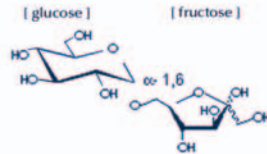
**Sucrose**



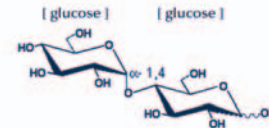
**Trehalose**



**Lactose**

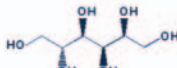


**Isomaltulose**

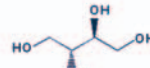


**Maltose**

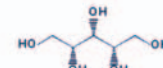
**HIDRATOS DE CARBONO (MODIFICADOS) HIDROGENADOS**



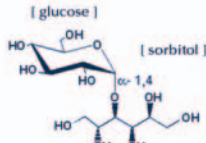
**Sorbitol**



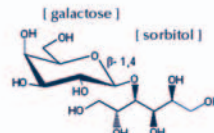
**Erythritol**



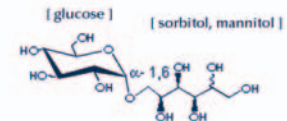
**Xylitol**



**Maltitol**



**Lactitol**

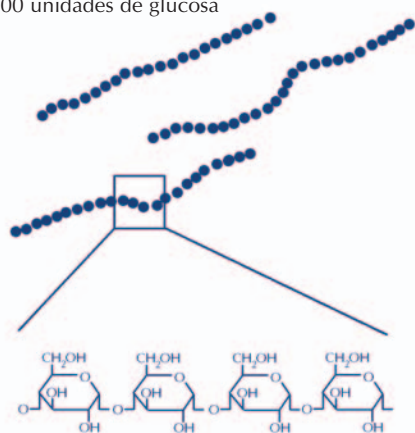


**Isomalt**

**FIGURA 2**  
Las estructuras de la amilosa y la amilopectina

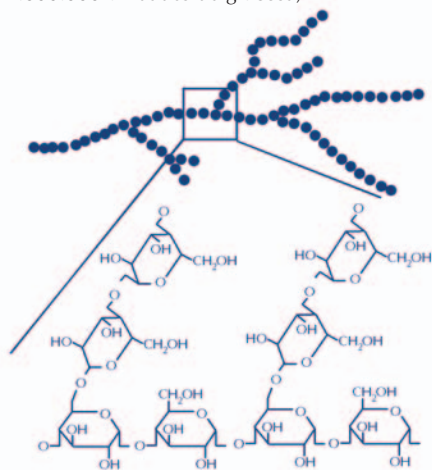
**AMILOSA**

Molécula lineal  
(200–2.000 unidades de glucosa)



**AMILOPECTINA**

Molécula ramificada  
(10.000–1.000.000 unidades de glucosa)



Fuente: Gray, J. (1991). *Starches and Sugars: A Comparison of their Metabolism in Man*. ILSI Europe Concise Monograph Series. Springer-Verlag, Londres, Reino Unido

**TABLA 2**

**Contenido aproximado de amilosa y amilopectina de diferentes almidones**

	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
Maíz estándar	24	76
Maíz céreo	<1	>99
Maíz rico en amilosa	70	30
Patata	20	80
Arroz*	18,5	81,5
Tapioca	16,7	83,3
Trigo	25	75

\* Las proporciones varían en función de la variedad de arroz.

Fuente: Gray, J. (1991). *Starches and Sugars: A Comparison of their Metabolism in Man*. ILSI Europe Concise Monograph Series. Springer-Verlag, Londres, Reino Unido

La forma y tamaño de los gránulos y sus características físicas, en especial la temperatura a la cual se gelatiniza el almidón, dependen de las cantidades relativas de amilosa y amilopectina presentes. Esta proporción varía con el tipo de almidón (tabla 2) y es un importante determinante de las propiedades funcionales y nutricionales de los almidones, así como del grado de procesamiento.

Los almidones de los alimentos comunes proceden de las semillas (como el trigo, el maíz, el arroz y la cebada) y las raíces (como la patata y la mandioca). Los almidones modificados químicamente se utilizan en cantidades menores como aditivos alimentarios (como espesantes, gelificantes, agentes de recubrimiento, emulgentes y estabilizantes), debido a sus funciones tecnológicas en algunos alimentos, al influir en sus propiedades físicas.

Los **polisacáridos distintos al almidón (NSP, non-starch polysaccharides)** están compuestos de una mezcla de distintos polisacáridos que contienen pentosas (xilosa y arabinosa) o hexosas (ramnosa, manosa, glucosa, y galactosa) y ácidos urónicos.

Algunos están presentes en las paredes celulares vegetales, y otros se encuentran en forma de gomas y mucílagos. Los NSP se organizan como estructuras complejas de las paredes celulares vegetales y de esta forman juegan un papel estructural en las plantas.

La **celulosa** es el componente estructural más importante de las paredes celulares vegetales. Consiste en una cadena no ramificada (lineal) de varios miles de unidades de glucosa que es resistente a la digestión por medio de enzimas digestivas humanas.

Las **hemicelulosas** pueden estar presentes en los alimentos vegetales en formas solubles o insolubles en agua. Incluyen una gran variedad de diferentes polisacáridos con estructuras que comprenden tanto cadenas ramificadas como lineales de unidades de pentosa (xilosa y arabinosa) y unidades de hexosa (glucosa, galactosa, manosa, ramnosa, ácidos glucurónico y galacturónico). Tienen un peso molecular mucho menor que la celulosa.

En concreto, los  $\beta$ -glucanos han generado interés como “fibra soluble”. Estos glucanos son un componente muy importante del material de la pared celular de la avena y la cebada y, en los últimos años, se ha incorporado el salvado de la avena a algunos productos alimenticios como fuente de estos glucanos.

Las **pectinas** están presentes en frutas y verduras y se utilizan comúnmente como agentes gelificantes en los alimentos, como en las mermeladas y gelatinas. Están compuestas principalmente de cadenas de ácidos galacturónicos y ramnosa, con ramificaciones de unidades de pentosa y hexosa (arabinosa, galactosa, etc.). Las pectinas son solubles en agua.

Los **hidrocoloides**, que proceden de extractos de algas, exudados de plantas y semillas, incluyen gomas y mucílagos, como la goma guar, la goma garrofín, el agar y el carragenano. Químicamente, están compuestos de una gran variedad de polisacáridos mixtos. Se utilizan en pequeñas cantidades como agentes espesantes, gelificantes, estabilizantes o emulgentes en algunos productos alimenticios.

## **Clasificación fisiológica de los hidratos de carbono**

Se han realizado diferentes clasificaciones de los hidratos de carbono según sus efectos fisiológicos. Por ejemplo, la Consulta Conjunta de Expertos de la FAO y la OMS sobre Hidratos de Carbono en la nutrición humana recomendó utilizar el concepto de hidratos de carbono glucémicos, cuya definición es la de que “proporcionan hidratos de carbono para el metabolismo”, es decir, se trata de hidratos de carbono que se digieren y absorben en el intestino delgado, con lo que aumenta la glucosa en sangre. Se establece así una distinción de los hidratos de carbono no glucémicos, que no son hidrolizados (digestión) en el intestino delgado, por lo que no se produce una respuesta glucémica en sangre, y que se agrupan bajo la amplia denominación de fibra alimentaria (véase más adelante). Aunque esta agrupación de hidratos de carbono es importante desde el punto de vista nutricional, es necesario continuar con la investigación y el diálogo para establecer formas más precisas de clasificar los hidratos de carbono. Por ejemplo, esta clasificación no tiene en cuenta las diferentes velocidades de digestión de la fracción digerible de los hidratos de carbono, dividiéndolos entre aquellos que se digieren rápidamente y aquellos que se digieren lentamente.

La denominación “fibra alimentaria” no es una descripción exacta de un sólo componente de la dieta, sino que también incluye un grupo heterogéneo de componentes con distintas propiedades funcionales. Originalmente, el término describía el material de las paredes celulares vegetales que pasaba a través del intestino sin sufrir cambios y que constituía la mayor parte de las heces, pero en la actualidad se admite que la fibra alimentaria modera la digestión y la absorción de otros nutrientes en el intestino delgado y proporciona un sustrato para la fermentación en el colon. Actualmente, la fibra alimentaria se define como “las partes comestibles de las plantas o los hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y a la absorción en el intestino delgado, con una fermentación parcial o completa en el intestino grueso” (Asociación Americana de Químicos de Cereales, 2001).

Los componentes principales de la fibra alimentaria son los polisacáridos sin almidón (NSP) que proceden de las paredes celulares de los alimentos vegetales en la dieta.

## CUADRO 1

**AR1\*:** El almidón que está físicamente encerrado, por ejemplo, dentro de estructuras celulares intactas en granos y semillas de cereales parcialmente molidas.

**AR2:** Gránulos de almidón crudo, por ejemplo, en el maíz rico en amilosa, las patatas crudas, los plátanos verdes.

**AR3:** La amilosa retrogradada en los alimentos preparados. Los almidones de los alimentos se pueden volver parcialmente indigeribles por procesos físicos o químicos y por enfriamiento, por ejemplo, en el pan, los copos de maíz y las patatas cocidas frías.

**AR4:** Almidón modificado químicamente.

\*AR: *Almidón Resistente*

De acuerdo con la definición actual, el almidón resistente (AR): “almidón y productos de la degradación del almidón que no se absorben en el intestino delgado de los seres humanos sanos”, se debe incluir en la definición de la fibra alimentaria (cuadro 1). La proporción de almidón total de algunos alimentos comunes que es resistente a la digestión se enumera en la tabla 3.

De acuerdo con esta definición de la fibra alimentaria, los sacáridos no digeribles también se deben incluir. Por ejemplo, los fructooligosacáridos (FOS) y los galactooligosacáridos (GOS) pasan a través del intestino delgado intactos, pero la microflora los fermenta en el intestino grueso. Una parte de los hidratos de carbono hidrogenados también llega al colon, donde fermentan.

La lignina, que es un componente de la pared celular vegetal que no es un hidrato de carbono, también se puede incluir dentro de la fibra alimentaria.

### **Fibra alimentaria soluble e insoluble**

La clasificación de la fibra alimentaria como soluble o insoluble se desarrolló desde la química más temprana de los NSP, que demostró que se podían extraer distintas fracciones al controlar el pH y la temperatura de las disoluciones.

## TABLA 3

### Proporción de almidón total resistente en algunos alimentos

Alimento	g de almidón total /100 g de materia seca	g de almidón resistente /100 g de almidón total
Pan blanco	77	1,2
Pan integral	60	1,7
Trigo desmenuzado	71	cero
Copos de maíz	78	3,8
Copos de avena	65	3,1
Pan de centeno	61	4,9
Patata, cocida,		
caliente	74	6,8
fría	75	13,3
Espaguetis, recién cocidos	79	6,3
Guisantes, cocidos	20	25
Habichuelas verdes, cocidas	45	40

Fuente: Englyst, H.N., Kingman, S.M., y Cummings, J.H. (1992). *Classification and measurement of nutritionally important starch fractions*. *European Journal of Clinical Nutrition*, **46**;S33–S50

Estos términos ofrecieron una división útil y sencilla de las propiedades fisiológicas de la fibra alimentaria en los NSP: aquellos que afectan principalmente a la glucosa y a la absorción de grasa del intestino delgado (soluble) ya que son viscosos y forman geles en el intestino, y aquellos que tienen una mayor influencia en la función intestinal (insolubles). Con el tiempo, se ha hecho evidente que esta diferenciación no es adecuada: la mayoría de la fibra insoluble fermenta rápidamente, y no toda la fibra soluble tiene un efecto en la glucosa y la absorción de grasa. Sin embargo, se ha conservado la utilización del término “soluble” para describir las fibras que forman geles.

## ***EFECTOS DE LA COCCIÓN Y DE LA TECNOLOGÍA EN LOS HIDRATOS DE CARBONO***

---

El procesamiento puede influir de manera importante en los hidratos de carbono, especialmente en lo que se refiere a la velocidad de digestión, al alcance de la digestión del almidón en el intestino delgado y al contenido y las propiedades funcionales de los componentes de la fibra alimentaria.

### ***Influencia del calor en las características del almidón***

Cuando se calienta el almidón en presencia de agua a medida que tiene lugar el proceso de gelatinización, se produce una pérdida irreversible de la estructura cristalina de los gránulos de almidón. Este proceso aumenta de forma espectacular la disponibilidad del almidón para la digestión enzimática. Durante la cocción y otros procesos, los gránulos de almidón no están completamente disueltos, aunque el grado de gelatinización que normalmente se alcanza es suficiente para permitir que se digiera rápidamente una gran proporción de almidón. Cuando este proceso queda incompleto, como en la cocción al vapor y producción de copos de cereales y en la manufactura de galletas, se conserva una gran proporción de almidón que se digiere lentamente.

El almidón gelatinizado no es estable, puesto que, al pasar el tiempo o enfriarse, tiene lugar un proceso de reasociación de gránulos de almidón, conocido como retrogradación. La tendencia hacia la retrogradación del almidón depende de las proporciones relativas de amilosa y amilopectina en el almidón: la amilosa se reasocia más rápidamente. El recalentamiento de los alimentos con almidón también influye en este proceso.

La digestibilidad del almidón se ve por ello, particularmente influenciada por el grado de procesamiento y la retrogradación pudiendo reducir la digestibilidad del almidón en el intestino delgado. El almidón retrogradado también se suma a la proporción de almidón resistente en los alimentos, por ejemplo, en las patatas cocidas y enfriadas (tabla 3).

### ***Influencia del procesamiento en el contenido y la composición de la fibra alimentaria***

El molido de granos de cereales para producir harinas refinadas elimina las capas exteriores ricas en fibra del grano y reduce considerablemente su contenido en fibra total. Las harinas derivadas de granos integrales contienen grandes cantidades de celulosas y hemicelulosas, mientras que ciertas hemicelulosas, como los arabinosilanos, predominan en las harinas refinadas de trigo, centeno y maíz. Aunque la cebada y la avena pierden una parte de la fibra alimentaria durante el proceso de molido, los granos refinados son ricos en  $\beta$ -glucanos solubles. El tratamiento con calor también puede influir en la estructura física y por lo tanto en las propiedades fisiológicas y funcionales de la fibra alimentaria.

## **INGESTA DE HIDRATOS DE CARBONO**

---

### ***Estimación de la ingesta de hidratos de carbono***

Los hidratos de carbono proporcionan de un 40 a un 75% del total de la ingesta energética, de forma que suponen la fuente de energía más importante de la dieta del ser humano. Los países occidentales (Europa Occidental, Norteamérica y Australia) se encuentran en el extremo más bajo de esta proporción y los países de Asia y África en el extremo más alto. El tipo de hidrato de carbono también es variable: el almidón proporciona del 20 al 50%, y en algunos casos superior, del total de la ingesta energética; los azúcares suponen del 9 al 27% del total de la ingesta energética. Durante la segunda mitad del siglo pasado, se produjo un descenso en la ingesta de hidratos de carbono en los países desarrollados, lo que generalmente reflejaba una bajada en la ingesta de hidratos de carbono ricos en almidón. Sin embargo, durante las últimas dos décadas, se ha producido un ligero aumento, a medida que ha bajado la ingesta de grasa.

Las estimaciones de la ingesta de azúcares, disponibles sólo para los países desarrollados, muestran proporciones similares de azúcares derivados de productos cereales, lácteos y bebidas, pero hay variaciones en las cantidades de azúcares derivadas de la fruta, los refrescos y los productos de confitería.

La Consulta Conjunta de Expertos de la FAO y la OMS sobre Hidratos de Carbono en la Nutrición Humana recomendó un nivel de hidratos de carbono óptimo de al menos un 55% de la ingesta energética total, procedente de una variedad de fuentes alimenticias, y señaló que los niveles de consumo de hidratos de carbono iguales o superiores al 75% del total de calorías se debían evitar, ya que esto supone la exclusión de cantidades adecuadas de proteínas, grasa y otros nutrientes esenciales.

### ***Relación entre la ingesta de hidratos de carbono y grasa***

Se afirma que existe generalmente una relación inversamente proporcional entre las cantidades de grasa y de hidratos de carbono en la dieta. Así, porcentualmente, a medida que la ingesta de grasa desciende, la de hidratos de carbono aumenta y vice versa. Mientras que la parte de ingesta energética procedente de la grasa y los hidratos de carbono ha cambiado a lo largo del tiempo, la ingesta de proteínas como fuente de energía se ha mantenido relativamente constante. Existe ahora evidencia para sugerir que las ingestas de grasa más altas están acompañadas de ingestas calóricas más altas, comparadas con dietas ricas en hidratos de carbono. Este hecho puede estar relacionado con la densidad calórica más baja de las dietas ricas en hidratos de carbono.

### ***Implicaciones en las ingestas de otros nutrientes***

A medida que la ingesta total de hidratos de carbono procedente de alimentos naturales aumenta o disminuye, la ingesta de nutrientes asociados con alimentos ricos en hidratos de carbono también aumenta o disminuye. En concreto, los alimentos que son ricos en hidratos de carbono glucémicos, como los cereales, las legumbres, las semillas, la fruta y las verduras, proporcionan una amplia variedad de micronutrientes importantes (vitaminas y minerales), fibra alimentaria y fitoquímicos, de conocidos efectos beneficiosos para la salud.

Se expresa con frecuencia la preocupación de que los azúcares en la dieta, especialmente los azúcares añadidos, puedan desplazar a los micronutrientes de la dieta. Sin embargo, un estudio realizado entre los adultos británicos indica que la ingesta de micronutrientes no está en peligro por los niveles de ingesta de azúcares añadidos de hasta el 17% de la energía alimentaria. Las ingestas más ricas en micronutrientes se encontraron en los consumidores de niveles medios de azúcares añadidos (10 hasta el 16% de la energía alimentaria), y las más bajas se encontraron entre aquellos con la ingesta de azúcares añadidos más baja (6% de la energía alimentaria). Por otro lado, estos análisis de muestras de datos de los estudios no permiten que se realice ninguna diferencia entre el desplazamiento de micronutrientes como resultado del nivel de ingesta de azúcar y de los hábitos alimentarios generalmente pobres.

# DIGESTIÓN Y ABSORCIÓN DE LOS HIDRATOS DE CARBONO

---

## *Digestión y absorción en el intestino delgado*

En la figura 3 se ilustran los distintos procesos y componentes de la digestión y la absorción de los hidratos de carbono digeribles más importantes que tienen lugar en el sistema digestivo.

La digestión del almidón comienza en la boca por medio de la amilasa salival. Sin embargo, la digestión en el intestino delgado, por medio de la amilasa pancreática, es cuantitativamente más importante. Las células que revisten el intestino delgado, los enterocitos, proporcionan una superficie altamente interactiva entre el lumen del intestino y el sistema circulatorio y linfático. Producen las enzimas hidrolíticas esenciales para la ruptura de los maltooligosacáridos y los disacáridos (maltosa, sacarosa y lactosa) en los monosacáridos que los componen. El enterocito también es el lugar de absorción de los monosacáridos libres.

En la dieta occidental, que es relativamente rica en hidratos de carbono rápidamente digeribles, la mayor parte es absorbida principalmente en la parte superior del intestino delgado. Si la dieta contiene una mayor proporción de hidratos de carbono menos fácilmente digeribles, se envían más hidratos de carbono a las regiones inferiores del intestino delgado y al colon, donde fermentan.

## *Factores que afectan a la velocidad de digestión*

La naturaleza y el grado de procesamiento del almidón y la presencia de fibra alimentaria afectan a la digestión del almidón. En algunos alimentos, por ejemplo, las legumbres, el almidón está atrapado en células fibrosas, de paredes gruesas, de forma que las enzimas tienen un acceso limitado a éste.

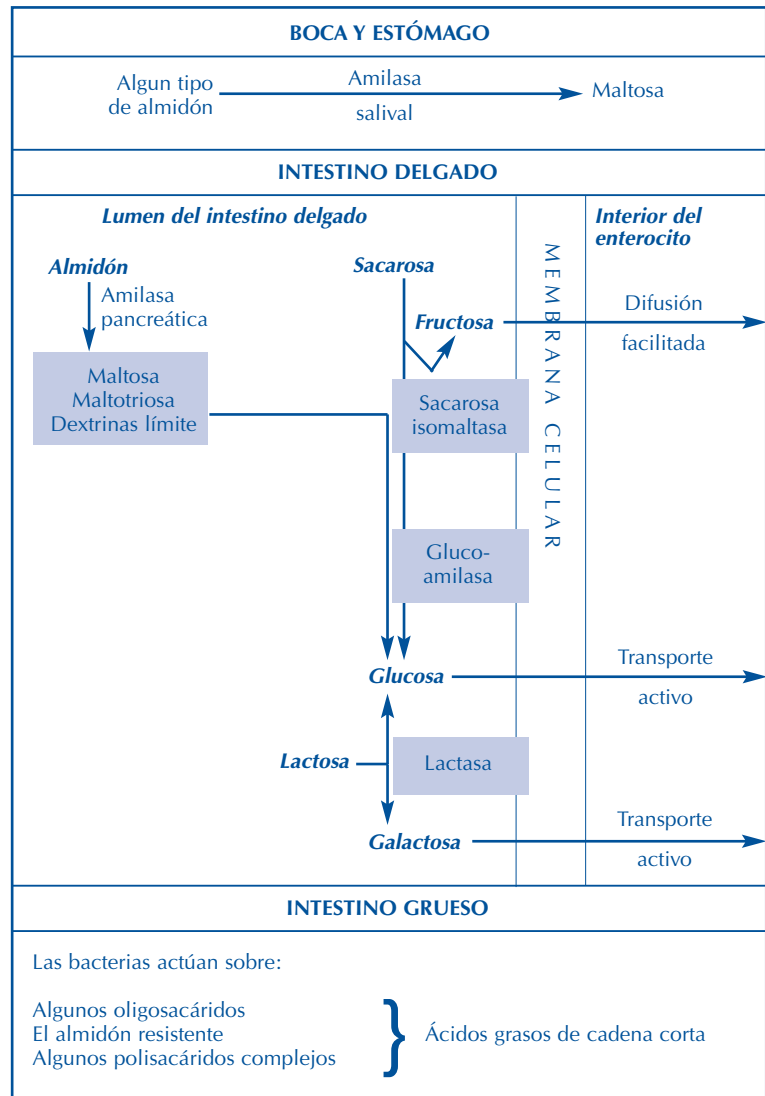
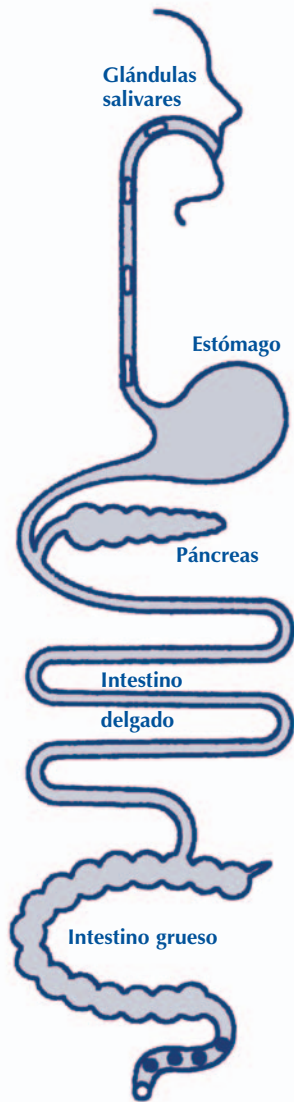
La digestión de los hidratos de carbono está influida por factores gastrointestinales, como la velocidad de vaciado gástrico y de tránsito intestinal. La velocidad de vaciado gástrico está influida por muchos factores en una comida mixta, incluyendo el contenido de grasa y calorías, la proporción de líquidos y sólidos de la comida, la cantidad de sólidos disueltos y los tamaños de las partículas del alimento. El contenido en fibra alimentaria de la dieta también tiene una influencia importante en el vaciado gástrico. Un contenido rico en fibra puede ralentizar el vaciado gástrico. La mezcla de algunas fibras solubles con las comidas líquidas aumenta la viscosidad del contenido gástrico y también influye en el vaciado gástrico. Las fibras solubles también forman geles que atrapan hidratos de carbono, lo que los hace menos accesibles a las enzimas y reducen el contacto con la mucosa intestinal.

## *Fermentación de los hidratos de carbono en el intestino grueso*

Los hidratos de carbono que son resistentes a la digestión en el intestino delgado, como la fibra alimentaria (incluyendo el almidón resistente que constituye hasta una quinta parte del almidón ingerido), muchos oligosacáridos (excepto aquellos que proceden de los jarabes de glucosa), y una parte de los hidratos de carbono hidrogenados (polioles), pasan al intestino grueso donde la microflora intestinal los fermenta parcial o totalmente. La lactosa también puede escapar a la digestión y absorción del intestino delgado, debido a la baja actividad de la enzima lactasa, y pasar al colon. Se cree que los hidratos de carbono denominados no digeribles, originalmente considerados sólo como agentes laxantes, tienen efectos fisiológicos importantes como resultado de su fermentación.

La flora bacteriana en el intestino grueso produce una gran variedad de enzimas que hidrolizan a los hidratos de carbono y generan ácidos grasos de cadena corta (AGCC) (acetato, propionato y butirato) y gases (dióxido de carbono, hidrógeno y metano).

**FIGURA 3**  
Principales procesos digestivos de los hidratos de carbono



Fuente: Gray, J. (1991). *Starches and Sugars: A Comparison of their Metabolism in Man*. ILSI Europe Concise Monograph Series. Springer-Verlag, Londres, Reino Unido

El proceso de fermentación es fundamental para el funcionamiento del intestino grueso. Las bacterias utilizan los productos de la fermentación para generar energía y extraer el carbono que es necesario para su crecimiento. Uno de los AGCC, el ácido butírico, se considera un nutriente principal para el crecimiento normal de las células epiteliales del revestimiento de la mucosa colónica y puede jugar un papel decisivo en la prevención de las enfermedades del colon. El proceso de fermentación también tiene efectos en el metabolismo sistémico, ya que algunos AGCC se absorben y metabolizan para proporcionar energía. Se estima que la cantidad de energía producida por la fermentación de los hidratos de carbono es de 8 kJ/g (2 kcal/g) aproximadamente, lo que supone la mitad del valor calórico de los hidratos de carbono digeridos en el intestino delgado. Una gran parte de los gases producidos durante la fermentación se libera como flato, o aparece en la respiración, y otra parte la consumen las bacterias colónicas.

La velocidad y el grado de la fermentación de los hidratos de carbono depende de la solubilidad y la estructura de los polisacáridos y de la accesibilidad de las bacterias a estos polisacáridos. Por ejemplo, la mayoría de los polisacáridos solubles, los hidratos de carbono hidrogenados y los oligosacáridos fermentan rápida y completamente, mientras que el almidón resistente fermenta completamente, aunque sólo de forma lenta, y la celulosa y las hemicelulosas son parcialmente resistentes a la fermentación. La naturaleza de los productos de la fermentación también depende de los hidratos de carbono específicos, pero los factores que gobiernan la producción preferencial de AGCC individuales no se ha confirmado de manera definitiva.

Cuando los enterocitos no consiguen producir la encima que descompone un hidrato de carbono determinado, los azúcares específicos correspondientes no se absorben. Estos azúcares se transportan entonces al intestino grueso y fermentan. Esto puede causar laxación y dolores abdominales y se denomina "intolerancia". Estas deficiencias enzimáticas no son frecuentes, con la excepción de la actividad baja de la lactasa. La actividad reducida de la lactasa tras el destete o al final de la infancia, que provoca una capacidad reducida para digerir y absorber la lactosa, es un fenómeno normal en la mayoría de los países y es

prevalente en Asia y en África. La mayoría de las personas con actividad de la lactasa baja pueden tolerar cantidades de leche moderadas, especialmente cuando se distribuye a lo largo del día y con las comidas.

Una gran ingesta de cualquier hidrato de carbono fermentable puede causar un aumento en el contenido de agua de las heces y por lo tanto puede dar lugar a heces sueltas y a flatulencia. Sin embargo, hay considerables variaciones en la respuesta individual a diferentes hidratos de carbono.

## *Microflora intestinal*

La microflora intestinal constituye un ecosistema muy complejo, con más de 200 y en ocasiones hasta 500 especies diferentes de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos en un solo individuo. Existe un grado considerable de variación de especies bacterianas entre individuos, lo que puede estar influido por factores como la edad y la dieta, sin embargo, la flora es extraordinariamente estable dentro de cada individuo.

Las investigaciones recientes indican que ciertos grupos de bacterias utilizan selectivamente los hidratos de carbono no digeribles, en particular los oligosacáridos, y modifican la composición bacteriana de la flora dominante al aumentar las bifidobacterias y otras bacterias del ácido láctico. En consecuencia, se han utilizado diferentes tipos de oligosacáridos como aditivos alimentarios "prebióticos" (por ejemplo, en los alimentos que afirman proporcionar beneficios específicos para la salud). Por ejemplo, se han añadido a los productos "prebióticos" con base de alimentos lácteos, que contienen bifidobacterias (es decir, yogur), para potenciar el crecimiento de estas bacterias. Se ha sugerido que este proceso puede ser beneficioso para el mantenimiento de la salud, pero es necesario que la investigación al respecto continúe hasta alcanzar una conclusión clínica aceptable.

# **METABOLISMO DE LOS HIDRATOS DE CARBONO ABSORBIDOS**

---

## ***Eliminación y conversión metabólica de los hidratos de carbono***

La glucosa, libre y unida formando polímeros digeribles, es el principal hidrato de carbono ingerido; la glucosa es uno de los combustibles metabólicos más importantes del cuerpo. Tras el consumo de comidas que contienen hidratos de carbono glucémicos, los monosacáridos que los constituyen, principalmente la glucosa, se absorben al torrente sanguíneo, aumentando el nivel de glucosa en sangre. Tras el consumo de una dosis de prueba de glucosa o de almidón, el nivel de glucosa en sangre alcanza un pico en los 20 a 30 minutos siguientes y a continuación vuelve lentamente al nivel de ayuno después de 90 a 180 minutos, a medida que los distintos tejidos toman la glucosa bajo la influencia de la insulina.

Los monosacáridos absorbidos entran en el torrente sanguíneo a través de la vena porta, lo que los conduce al hígado. El hígado se queda con una parte de glucosa que convierte en glucógeno. La fructosa va principalmente al hígado donde se convierte en glucógeno. Sin embargo, aunque a grandes ingestas parte de ella (30 a 40%) se metaboliza rápidamente en lactato en la mucosa intestinal. Este lactato pasa al hígado y se transforma en glucosa. Puesto que el hígado se queda con la mayor parte de la fructosa y galactosa absorbidas y necesita su conversión en productos intermedios antes de que pasen a la sangre y se sometan al metabolismo (véase más abajo), el efecto de estos azúcares en los niveles de glucosa en sangre es muy pequeño. Otros tejidos absorben cualquier hidrato de carbono restante, especialmente el músculo, donde bien se oxidan o se convierten en glucógeno para almacenarse.

Los distintos monosacáridos y sus correspondientes alcoholes se pueden interconvertir mediante diferentes rutas metabólicas (figura 4). Sin embargo, en condiciones fisiológicas normales, la glucosa es el combustible favorito del sistema nervioso central, de los eritrocitos y de algunas fibras musculares.

La mayoría de las rutas metabólicas que generan energía son comunes para todos los azúcares de la dieta: al final se metabolizan en dióxido de carbono y agua mediante el ciclo de ácido cítrico (figura 4). Participan las mismas enzimas y coenzimas (a menudo vitaminas B).

En la figura 5 se muestran las diferencias en el metabolismo de la glucosa y la fructosa. La galactosa entra en la ruta glucolítica (figura 4). El alcohol inhibe la absorción de galactosa por parte del hígado, lo que lleva a un alto nivel transitorio de galactosa en sangre cuando los alimentos que la contienen se consumen simultáneamente con alcohol. Se desconoce si este hecho tiene consecuencias metabólicas.

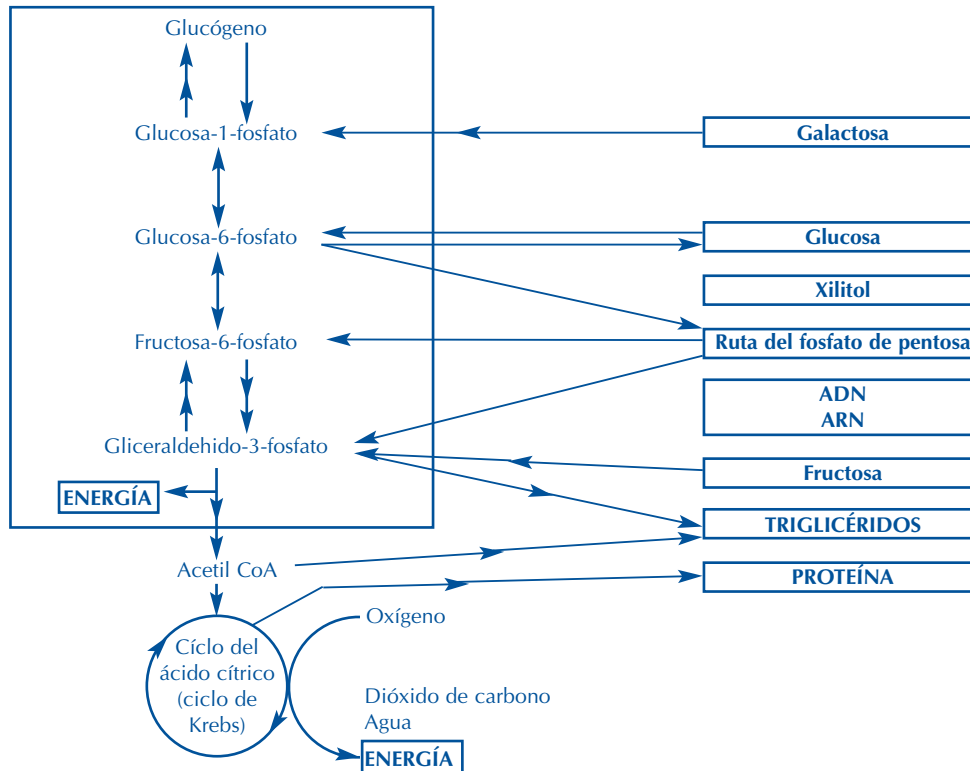
## ***Jerarquía en la oxidación de sustratos***

Las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas suministran combustible para el gasto de energía. Este combustible puede proceder de la dieta o de reservas corporales. El alcohol es una fuente de combustible adicional. La capacidad de almacenamiento del cuerpo para cada macronutriente, los costes de la conversión de los macronutrientes a una forma que se pueda almacenar más efectivamente y las necesidades de combustible específicas de algunos tejidos determinan la oxidación de los sustratos, que tiene lugar en orden jerárquico (figura 6).

El alcohol dispone de prioridad para la oxidación, puesto que no tiene lugar de almacenamiento y la conversión de alcohol en grasa es costosa en términos energéticos. Los aminoácidos van en segundo lugar en la jerarquía, ya que tampoco disponen de lugar de almacenamiento. En tercer lugar en la jerarquía oxidativa están los hidratos de carbono. El cuerpo tiene una capacidad limitada para almacenar los hidratos de carbono en forma de glucógeno. Un hombre adulto normal puede almacenar de 400 a 500 g de glucógeno, principalmente en el hígado y en los músculos.

Sin embargo, la conversión de hidratos de carbono a grasa es energéticamente costosa. Por otra parte, el cuerpo tiene una capacidad casi ilimitada de almacenamiento para la grasa en el tejido adiposo, y la eficacia de almacenamiento es alta (96-98%). Por ello, la grasa se encuentra teóricamente, en la parte más baja en la jerarquía oxidativa.

**FIGURA 4**  
**El metabolismo de los azúcares**



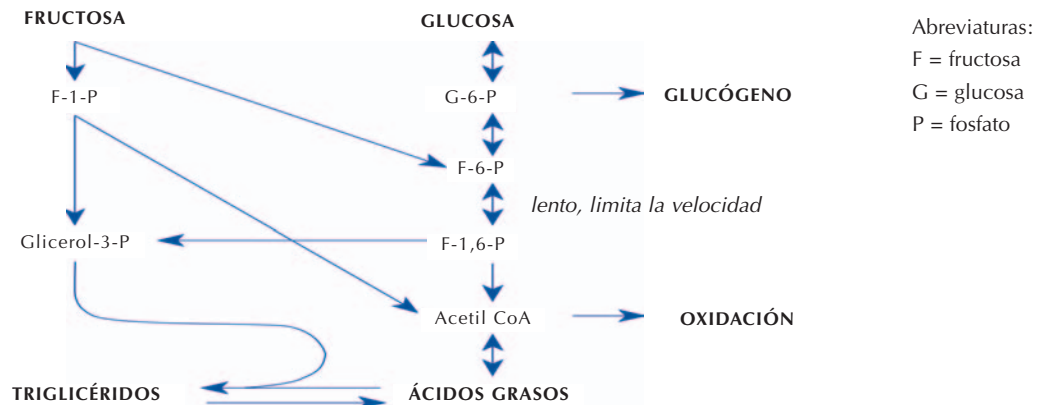
Fuente: Gray, J. (1991). *Starches and Sugars: A Comparison of their Metabolism in Man*. ILSI Europe Concise Monograph Series. Springer-Verlag, Londres, Reino Unido.

## Regulación de la concentración de la glucosa en sangre

El páncreas secreta insulina en respuesta a un aumento en la concentración de la glucosa en sangre, pero en la secreción de insulina también influyen otros estímulos endocrinos y neuronales. Otros elementos de la dieta distintos a los hidratos de carbono también pueden influir en la secreción de insulina, por ejemplo, la composición de los aminoácidos de las proteínas de la dieta.

La digestión de los alimentos también causa la secreción de distintas hormonas (péptidos regulatorios) del intestino al torrente sanguíneo. Dos de estos péptidos, el péptido inhibidor gástrico (GIP, gastric inhibitory peptide) y el péptido similar al glucagón I (GLP I, glucagon-like peptide) participan en el metabolismo regulador de los hidratos de carbono mediante la influencia en la secreción de insulina así como el vaciado gástrico.

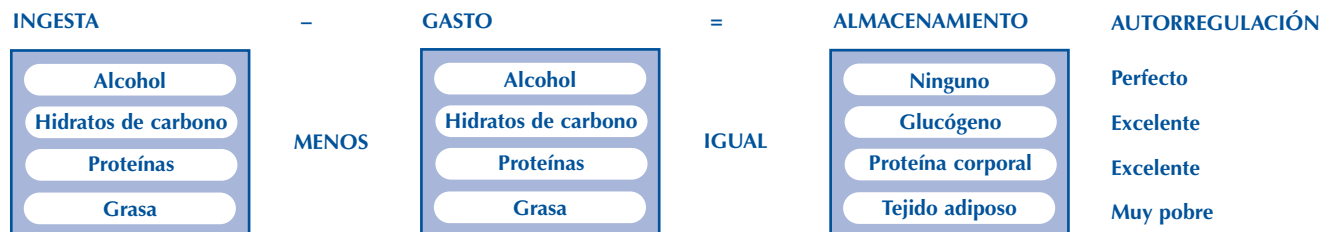
**FIGURA 5**  
**Metabolismo de la glucosa y la fructosa**



- La enzima ubicua (hexoquinasa) que cataliza la adición de un grupo fosfato a la posición 6 de la glucosa no lleva a cabo correctamente esta reacción con la fructosa. La formación de la glucosa a partir de la fructosa es importante sólo si la fructosa disponible supone una fuente importante de hidratos de carbono en la dieta.
- El metabolismo de la fructosa se desarrolla principalmente en el hígado, donde está presente una enzima especial que utiliza la fructosa (fructoquinasa, que fosforila la posición 1 de la fructosa).
- La fructosa-1-fosfato se salta el paso más lento en la ruta del metabolismo de la glucosa, lo que da lugar a un metabolismo más rápido de la fructosa que el de la glucosa en el hígado.
- El metabolismo de la fructosa da lugar a unos productos finales que pueden convertirse fácilmente en triacilglicérols (triglicéridos).
- La fructosa también parece facilitar el transporte de ácidos grasos del tejido adiposo al hígado, donde se pueden utilizar para obtener más triacilglicérols, que se pueden exportar al plasma como lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL, very low density lipoproteins).
- La fructosa puede ralentizar la eliminación de VLDL del plasma, ayudando a mantener concentraciones ya altas en sangre.

Fuente: Gurr, M. (1995). *Nutritional and Health Aspects of Sugars: Evaluation of New Findings*. ILSI Europe Concise Monograph Series, ILSI Press, Washington, DC, EE.UU.

**FIGURA 6**  
**Jerarquía oxidativa de los macronutrientes**



Fuente: Rolls, B.J. y Hill, J.O. (1998). *Carbohydrates and Weight Management*. ILSI North America, ILSI Press, Washington, DC, EE.UU.

Distintos hidratos de carbono inducen diferentes niveles de glucosa en sangre y por lo tanto, producen diferentes respuestas de la insulina. La respuesta de los hidratos de carbono a la insulina está estrechamente relacionada con la velocidad de digestión y/o absorción de los azúcares que los componen. Sin embargo, los hidratos de carbono en una comida variada generan una mayor respuesta de insulina que una cantidad similar de hidratos de carbono consumidos como glucosa, probablemente debido a los efectos de las proteínas contenidas en la comida o la secreción de insulina. La tabla 4 resume los diversos factores que influyen en la secreción de insulina.

### **Respuesta de la glucosa en sangre a los alimentos y el índice glucémico**

El aumento en el nivel de glucosa en sangre que tiene lugar cuando se ingieren alimentos que contienen hidratos de carbono glucémicos se denomina respuesta glucémica. El concepto de índice glucémico (IG) se ha desarrollado para clasificar alimentos según su potencial para aumentar la concentración de glucosa en sangre.

EL IG se define como el área de incremento de la curva de respuesta a la glucosa en sangre (cambio en la concentración de glucosa en sangre en un intervalo de tiempo) (figura 7) tras el consumo de 50 g de hidratos de carbono de un alimento de prueba, expresado como un porcentaje de la respuesta a la misma cantidad de hidratos de carbono de un alimento estándar (referencia) consumido por el mismo sujeto.

El alimento de referencia, al que se asigna un índice glucémico de 100, puede ser 50 g de glucosa o una cantidad de pan blanco que contenga 50 g de almidón, aunque la recomendación actual es utilizar glucosa como alimento de referencia.

Los valores del IG obtenidos con pan blanco como referencia son alrededor de 1,4 veces los que se obtienen al utilizar glucosa como referencia.

Además de la cantidad y la digestibilidad de los almidones y la cantidad y fuentes de azúcares en una comida, hay muchos

## **TABLA 4**

### **Factores que influyen en la secreción de insulina**

#### **Estimulación de la secreción de insulina**

1. Aumento de la concentración de glucosa en sangre
2. Aumento de los niveles en sangre de algunos aminoácidos
3. Glucosa en el intestino (probablemente mediada por el péptido inhibidor gástrico)
4. Otras hormonas intestinales como la gastrina y la secretina
5. Glucagón de las células alfa del páncreas
6. Estimulación nerviosa (parasimpática)

#### **Inhibición de la secreción de insulina**

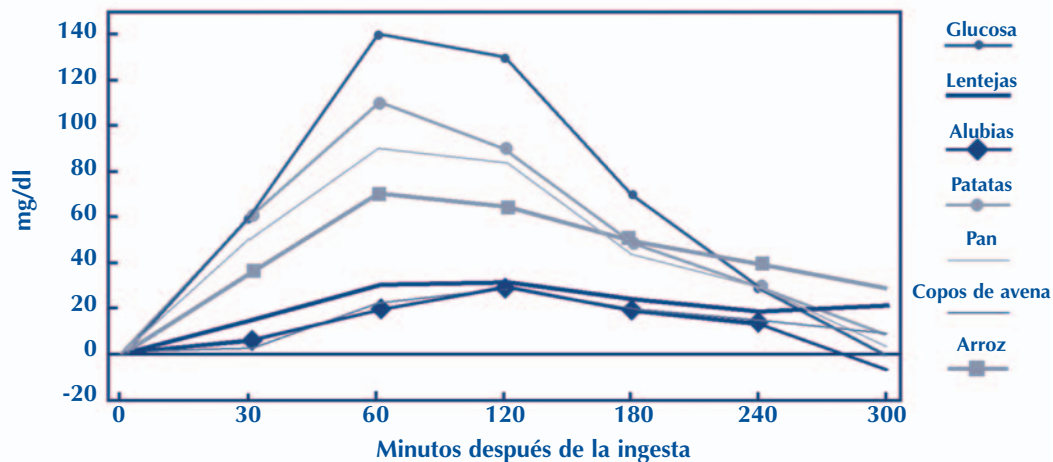
1. Adrenalina
2. Estimulación nerviosa (simpática)
3. Secreción pancreática de la hormona somatostatina

Fuente: Gray, J. (1991). *Starches and Sugars: A Comparison of their Metabolism in Man*. ILSI Europe Concise Monograph Series. Springer-Verlag, Londres, Reino Unido

factores que influyen en las respuestas glucémicas a los alimentos (tabla 5). Entre estos se encuentran la presencia de grasa y proteína, el grado de procesamiento y cocción, y la cantidad de fibra alimentaria presente. La proporción de amilosa con respecto a la amilopectina en el almidón es importante para determinar el IG: la amilopectina se degrada más rápidamente que la amilosa.

Hay importantes diferencias entre los IG de diferentes azúcares. El IG de un azúcar se determina principalmente por su contenido de residuos de glucosa disponibles de forma inmediata. Así, la maltosa (disacárido con dos unidades de glucosa) tiene un IG cercano a 100, mientras que la sacarosa

**FIGURA 7**  
**Respuestas de la glucosa en sangre a la ingestión de 50 g de hidratos de carbono**



Fuente: Krezowski, P.A., Nuttal, F.Q., Gannon, M.C., et al. (1987). *Insulin and glucose responses to various starch-containing foods in type 2 diabetic subjects*. Diabetes Care. HighWire Press, Palo Alto, CA, EE.UU.

(glucosa más fructosa) tiene un IG de sólo 87. El IG de la fructosa (utilizando pan como estándar) sólo es de 32, lo que se explica por la conversión parcial de la fructosa en glucosa a grandes ingestas del estándar de prueba.

La utilización del método del IG también ha puesto de manifiesto datos interesantes sobre la influencia de los alimentos ricos en hidratos de carbono en los niveles de glucosa en sangre, contradiciendo así antiguas creencias. Por ejemplo, se asumía que la respuesta de glucosa en sangre tras la ingesta de almidones era menor que la respuesta a los azúcares debido a la digestión más lenta del almidón. Sin embargo, muchos almidones cocinados se digieren tan rápidamente que la respuesta glucémica es parecida a la de la glucosa (tabla 6). El IG se correlaciona con la velocidad de hidrólisis del almidón, de forma que, por ejemplo, el almidón en las lentejas genera sólo un efecto glucémico pequeño si se compara con el almidón del pan.

### **Efectos fisiológicos del IG y sus implicaciones prácticas**

Las pruebas clínicas con individuos normales, diabéticos e hiperlipidémicos, indican que el consumo de comidas que contienen alimentos con un IG bajo está asociado con la disminución de la glucosa en sangre y de la respuesta insulínica tras las comidas, y con la mejora de los perfiles lipídicos, incluyendo reducciones en las concentraciones elevadas de triglicéridos en sangre en sujetos con hipertrigliceridemia. También se ha sugerido que los alimentos con un IG bajo podrían producir una sensación de saciedad más duradera que los alimentos con un IG alto, pero esta idea es aún controvertida y necesita mayor número de estudios.

La aplicación práctica del IG, utilizado en combinación con otra información sobre la composición de los alimentos, parece prometedora para ayudarnos a escoger los alimentos, especialmente en las personas con diabetes.

**TABLA 5****Factores de los alimentos que influyen en la respuesta glucémica**

Naturaleza y cantidad de los hidratos de carbono
Naturaleza de los componentes monosacáridos
Glucosa
Fructosa
Galactosa
Naturaleza del almidón
Amilosa
Amilopectina
Interacción almidón-nutriente
Almidón resistente
Cocción o procesamiento de los alimentos
Grado de gelatinización del almidón
Tamaño de las partículas
Forma del alimento
Estructura celular
Otros componentes de los alimentos
Grasa y proteínas
Fibra alimentaria
Antinutrientes
Ácidos orgánicos

Fuente: adaptado de la Consulta Conjunta de Expertos de la FAO y la OMS (1998), sobre Hidratos de Carbono en la Nutrición Humana.

**Hipoglucemia**

La hipoglucemia (una baja concentración de glucosa en sangre) tiene lugar cuando la absorción de glucosa por parte de los tejidos supera la tasa de suministro procedente del hígado y/o de la ingesta de alimentos. La hipoglucemia puede ocurrir con o sin síntomas. En contra de la opinión popular, la hipoglucemia reactiva, en la que los síntomas se producen de 2 a 5 horas después de las comidas, en estado de reposo, es un trastorno poco común. Los síntomas incluyen sudoración, mareo, vértigo, temblor, sed, lentitud, irritabilidad, dolor de cabeza y aumento de la frecuencia respiratoria. El tratamiento consiste en consumir de forma frecuente comidas ligeras, bajas en hidratos de carbono.

Se asume con frecuencia que los azúcares son más propensos a causar estos síntomas, pero puede que haya una respuesta diferente a distintos azúcares, en función de sus efectos en la secreción de insulina y en el modo de metabolizarse. En un estudio en individuos con hipoglucemia se observó que mientras la glucosa producía síntomas en todos los sujetos, la fructosa no producía síntomas en ninguno de ellos y la sacarosa sólo produjo síntomas en un tercio de los sujetos.

**TABLA 6****Índice glucémico (IG) de algunos alimentos seleccionados utilizando el pan blanco como el estándar de referencia**

	IG*	n**		IG*	n**
<b>Productos a base de cereales</b>			<b>Fruta</b>		
Pan blanco	100 ± 0	5	Manzana	52 ± 3	4
Harina integral	99 ± 3	12	Zumo de manzana	58 ± 1	2
Pan de centeno	93 ± 2	5	Albaricoques, secos	44 ± 2	2
Copos de maíz	119 ± 5	4	Albaricoques, en lata	91	1
Copos de avena	87 ± 2	8	Plátano	83 ± 6	5
Macarrones	64	1	Naranja	62 ± 6	4
Espaguetis, blancos	59 ± 4	10	Zumo de naranja	74 ± 4	4
Espaguetis, integrales	53 ± 7	2			
Arroz, blanco	81 ± 3	13	<b>Productos lácteos</b>		
Arroz, integral	79 ± 6	3	Leche, entera	39 ± 9	2
Arroz, pobre en amilosa	126 ± 4	3	Leche, desnatada	46	1
Arroz, rico en amilosa	83 ± 5	3	Yogur (azúcar)	48 ± 1	2
Galletas normales	71 ± 11***	1	Yogur (edulcorante artificial)	27 ± 7	2
			Helado	84 ± 9	6
<b>Patatas</b>			<b>Azúcares</b>		
Nuevas	81 ± 8	3	Miel	104 ± 21	2
Blancas, cocidas	80 ± 2	3	Fructosa	32 ± 2	4
Blancas, puré	100 ± 2	3	Glucosa	138 ± 4	8
Fritas	107	1	Sacarosa	87 ± 2	5
Al horno	121 ± 16	4			
<b>Legumbres</b>					
Alubias con salsa de tomate	69 ± 12	2			
Alubias	42 ± 6	7			
Granos de soja	23 ± 3	3			
Guisantes, verdes	68 ± 7	3			
Lentejas	38 ± 3	6			

\*IG = índice glucémico (pan blanco = 100), media ± EEM de los valores medios de varios estudios

\*\* n = número de estudios

\*\*\* Brand Miller, J., Lang, V., Nantel, G., Slama, G., eds. (2001).

Los datos sobre las galletas normales son de Glycaemic Index and health: the quality of the evidence. John Libbey Eurotext.

Fuente: Consulta Conjunta de Expertos de la FAO y la OMS (1998) sobre Hidratos de Carbono en la Nutrición Humana.

# HIDRATOS DE CARBONO EN LA SALUD Y LA ENFERMEDAD

---

## *Hidratos de carbono y funcionamiento y salud intestinal*

Una ingesta adecuada de hidratos de carbono ricos en fibra es vital para el funcionamiento normal del intestino. Además de los efectos beneficiosos de la fibra para el tránsito intestinal, reconocidos desde hace mucho tiempo, ahora se pone de manifiesto también la importancia de los hidratos de carbono para la salud del colon y el mantenimiento y la estimulación de la microflora intestinal, así como la importancia del producto de la fermentación, el ácido butírico, para el epitelio colónico.

Las características físicas de los contenidos gastrointestinales se alteran en presencia de diferentes tipos de fibra. Una mayor proporción de fibra en los alimentos produce más residuos y el volumen de los contenidos intestinales aumenta debido a la capacidad de retención de agua de algunas fibras. Dentro del tracto gastrointestinal, algunas fibras se hinchan, atrapando agua y nutrientes, especialmente aquellos que son solubles en agua, como los azúcares. Los cambios en las características físicas de los contenidos intestinales pueden influir en el vaciado gástrico, diluir las enzimas y los componentes absorbibles en el intestino, impedir la hidrólisis del almidón en el intestino delgado y reducir la movilidad de enzimas, sustratos y nutrientes a la superficie absorbente. Esto retrasa la presencia en sangre de nutrientes, como la glucosa y algunos lípidos, tras una comida.

Las distintas fibras alimentarias también modifican la motilidad colónica y el tiempo de tránsito. La cantidad y el volumen aumentados de los contenidos del colon distienden la pared colónica, estimulando al tejido muscular a impulsar los contenidos hacia adelante a través del intestino grueso. También se ha sugerido que los componentes atrapados en la fibra en el intestino delgado (como las sales biliares y los ácidos grasos), que se liberan durante la fermentación, estimulan la motilidad.

## *Hidratos de carbono y cáncer*

La mayoría de los estudios epidemiológicos sobre el papel de los hidratos de carbono en el cáncer se han centrado en la fibra alimentaria y, en mucha menor medida, en los monosacáridos, disacáridos y almidones. Los datos obtenidos de recientes estudios de intervención no revelan ningún efecto de la ingesta de fibra en las fases iniciales de la carcinogénesis colorrectal. En la actualidad, se desconoce el efecto de la fibra en las fases finales de la carcinogénesis colorrectal. No obstante, hay algunos datos que indican que el butirato, un ácido graso de cadena corta que es el resultado de la fermentación de los hidratos de carbono en el intestino grueso, podría tener una influencia positiva en la salud del intestino, incluyendo cambios celulares relacionados con el cáncer colorrectal. Es aquí donde se centra la investigación actual. No hay datos coherentes que vinculen la ingesta de hidratos de carbono simples con el cáncer de órganos específicos.

## *Hidratos de carbono y diabetes tipo 2*

Más de 40 estudios en la literatura científica se han ocupado del papel de los diferentes azúcares y almidones en la etiología y tratamiento de la diabetes tipo 2 (no insulino dependiente). Aproximadamente la mitad de ellos afirman que existe una asociación positiva entre la ingesta de sacarosa y la diabetes, y una proporción similar sostiene que no existe esta asociación; algunos estudios incluso indican que hay una asociación inversa entre las dos. La reducción de hidratos de carbono y, en concreto, la necesidad de evitar los “azúcares simples” fue la piedra angular de las recomendaciones dietéticas para personas con diabetes durante muchos años. Esta afirmación se basaba en la premisa de que los azúcares, incluyendo la sacarosa, agravaban la hiperglucemia en mayor medida que otros hidratos de carbono. Ahora existen datos que contradicen esta premisa. La investigación sobre el IG de los alimentos ha demostrado que los niveles de glucosa en sangre que siguen a una toma de sacarosa o fructosa por vía oral son inferiores a los que se producen tras una toma de glucosa por vía oral comparable. Los estudios posteriores a largo plazo, que incorporan la sacarosa en comidas mixtas, han confirmado que las personas con diabetes tipo 1 (insulino dependientes) y tipo 2 pueden consumir una ingesta moderada de sacarosa (hasta cerca de 50 g al día).

## 22 Concise Monograph Series

No hay muchos datos que demuestren que los almidones recién digeridos aumenten el riesgo de padecer diabetes tipo 2. Sin embargo, hay pruebas para afirmar que diversos factores, como el consumo de alimentos ricos en almidón resistente y de digestión lenta (IG bajo) o ricos en fibra soluble, además de evitar el sobrepeso y la inactividad física, reducen el riesgo de desarrollar diabetes tipo 2.

La investigación en los años 70 demuestra que las dietas ricas en hidratos de carbono (hasta un 60% de la energía total procedente de los hidratos de carbono glucémicos y no glucémicos) se asociaban con un mejor control de la glucosa en sangre y unos niveles menores de colesterol de lipoproteína de baja densidad (LDL, low-density lipoprotein), en comparación con las dietas en las que sólo el 40% de la energía total procede de los hidratos de carbono glucémicos y no glucémicos. Las recomendaciones dietéticas modernas resaltan la importancia de una ingesta alta de hidratos de carbono así como de las modificaciones en la ingesta de grasa debido a los problemas asociados con el metabolismo de los lípidos y el riesgo de padecer enfermedad cardiovascular (ECV) para los enfermos de diabetes. Los hidratos de carbono ricos en fibra, como los que se encuentran principalmente en los cereales, pasta, arroz, pan, legumbres y fruta deben proporcionar la mayor parte de las comidas, especialmente aquellos productos que tienen un IG bajo y son ricos en tipos de fibra soluble.

### ***Hidratos de carbono y síndrome de resistencia a la insulina***

La diabetes tipo 2 se asocia a menudo con la resistencia a la insulina, que constituye una deficiencia en la acción de la insulina, especialmente en la absorción de glucosa de los tejidos estimulada por la insulina y en la inhibición de la producción de glucosa del hígado y la degradación de la grasa (lipólisis). La resistencia a la insulina se asocia a menudo con anomalías en otros aspectos del metabolismo, especialmente de los lípidos, así como con la obesidad. En la pasada década, se ha desarrollado el concepto de “síndrome de resistencia a la insulina”, también llamado “síndrome metabólico” o “síndrome X”.

Este término se ha utilizado para describir una multitud de trastornos que están frecuentemente asociados con la resistencia a la insulina, como la intolerancia a la glucosa, la hiperinsulinemia, la hipertensión y la dislipidemia. Estas afecciones tienden a manifestarse de manera conjunta a patrones , de almacenamiento del exceso de grasa en el abdomen. La descripción de este síndrome se deriva de la observación de que los patrones insulinoresistentes de la glucosa y el metabolismo de las grasas son más prevalentes entre individuos con hipertensión y perfil de lípidos en sangre anormales que entre aquellos con tensión sanguínea y lípidos en sangre normales.

La predisposición genética a la diabetes tipo 2 y los otros trastornos vinculados a la resistencia a la insulina han dado lugar a un mayor esfuerzo para definir la biología molecular del trastorno. En cualquier caso, hasta la fecha, no parece haber una o incluso un pequeño grupo de mutaciones genéticas que proporcionen la base molecular para la resistencia a la insulina. Un aumento en la grasa corporal y especialmente en la grasa intraabdominal, en combinación con un nivel bajo de actividad física, provoca resistencia a la insulina, desarrollando diabetes tipo 2 en los individuos con una capacidad limitada para segregar insulina.

Entre los numerosos factores medioambientales que pueden interactuar con el potencial genético para desarrollar resistencia a la insulina, se ha investigado el papel de la ingesta de hidratos de carbono y fibra en la dieta, pero los resultados fiables son escasos.

Los datos sobre la relación de la ingesta de fibra y la acción de la insulina también son limitados y contradictorios. Algunos estudios epidemiológicos han vinculado las dietas de IG alto y las ingestas pobres en fibra cereal con la incidencia de la diabetes tipo 2, pero faltan estudios mecanísticos que apoyen la epidemiología.

Las fibras solubles, como los  $\beta$ -glucanos, son de interés debido a su influencia en las respuestas de la glucosa en sangre y de la insulina, pero de nuevo falta información sobre sus efectos en la acción de la insulina.

## ***Hidratos de carbono, metabolismo lipídico y enfermedades cardiovasculares***

Estudios en animales han demostrado alteraciones en las concentraciones de lípidos en el plasma tras el consumo prolongado de grandes cantidades de hidratos de carbono, en particular fructosa y sacarosa, aunque la relevancia para los seres humanos sigue siendo aún objeto de debate científico. En los seres humanos, la respuesta habitual es un aumento en la concentración de triglicéridos, aunque también se ha observado un descenso del colesterol de lipoproteína de alta densidad (HDL, high-density lipoprotein).

Existen muchos factores relacionados con la dieta y con el medio ambiente, entre los que se incluyen la obesidad y el consumo excesivo de alcohol, que influyen en la concentración de triglicéridos en sangre. Algunas personas son más sensibles que otras a estos efectos de los azúcares de la dieta, y en estos individuos, los niveles de triglicéridos en sangre pueden aumentar en respuesta a ingestas atípicamente altas de sacarosa o fructosa. Hay algunos datos que demuestran que estos efectos se producen principalmente en los hombres y son de menor importancia en las mujeres.

Los aumentos en los triglicéridos en sangre inducidos por los hidratos de carbono parecen el resultado de la superproducción de triglicéridos de lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL, very low density lipoprotein) y la cantidad de partículas de VLDL, así como una deficiencia en la depuración de VLDL de la sangre. Las respuestas individuales al metabolismo de VLDL son muy variables y son más evidentes en los individuos que ya tienen concentraciones elevadas de insulina y triglicéridos en sangre o que están obesos, especialmente aquellos que padecen obesidad abdominal. Si el contenido en hidratos de carbono de una dieta rica en hidratos de carbono se presenta fundamentalmente en forma de fructosa, se produce una mayor elevación de la concentración de triglicéridos en sangre que si predominaran los polisacáridos. Las dietas experimentales que contienen formas purificadas de almidón o monosacáridos inducen un aumento en los triglicéridos más rápidamente que las dietas ricas en fibra, en las que los hidratos de carbono pueden digerirse más lentamente.

La mayoría de los estudios de estos factores han sido de corta duración y han medido sólo los niveles en sangre en ayunas, no las concentraciones postprandiales (las que siguen al consumo de alimentos). Los pocos estudios a largo plazo que se han llevado a cabo indican que el aumento de los lípidos provocado por los azúcares se puede reducir tras varias semanas. También se ha demostrado que las dietas ricas en hidratos de carbono de bajo aporte calórico tienen efectos favorables en otros factores de riesgo importantes de enfermedades cardiovasculares, como la tensión arterial, los factores fibrinolíticos y de coagulación y la función endotelial, suponiendo que los alimentos ricos en hidratos de carbono y fibra alimentaria estén adecuadamente representados.

De hecho, hay diferentes formas en las que las dietas ricas en hidratos de carbono pueden ayudar a reducir, más que a aumentar, el riesgo de enfermedad cardiovascular. Los beneficios de este tipo de dietas incluyen el descenso de la densidad de la energía y el aumento de la capacidad de saciedad de la dieta, con lo que se ayuda a prevenir la obesidad; el desplazamiento de la grasa de la dieta; la reducción del riesgo de presentar niveles altos de glucosa e insulina en sangre, por lo que se mantiene una sensibilidad hacia la insulina óptima; y el suministro de micronutrientes y fitoquímicos que se cree que presentan un efecto protector del sistema cardiovascular.

## ***Hidratos de carbono y regulación del peso corporal***

La prevalencia del sobrepeso y de la obesidad está creciendo rápidamente en los países occidentales y entre las personas con bastante dinero en los países en desarrollo. Por lo tanto, es importante entender cómo los hidratos de carbono pueden influir en el peso corporal.

El mantenimiento de un peso corporal estable requiere un equilibrio entre la cantidad total de energía consumida y la cantidad total de energía utilizada. Los aumentos en el peso corporal, en concreto, en la grasa corporal, tienen lugar cuando la ingesta supera el gasto. No existe evidencia de que los azúcares en la dieta tengan un efecto directo en la ingesta energética total (véase más abajo) o en el gasto energético en

humanos. Sin embargo, la investigación científica actual sugiere que la relación de grasa con respecto a los hidratos de carbono que se consume influye en la regulación de peso corporal y que es más probable que las dietas ricas en grasa y pobres en hidratos de carbono provoquen ganancia de peso y obesidad que las dietas en las que predominan los hidratos de carbono, incluyendo los azúcares.

Las razones más importantes para realizar esta afirmación son las siguientes. Las comidas ricas en hidratos de carbono tienen más fibra que las comidas ricas en grasa, y los hidratos de carbono tienen efecto más saciante que la grasa, julio por julio (o caloría por caloría). El almacenamiento de hidratos de carbono en el cuerpo como glucógeno está limitado. Cuando los almacenes están llenos, el cuerpo se adapta para oxidar cualquier hidrato de carbono que exceda las necesidades. A diferencia del almacenamiento de la grasa alimentaria que es casi ilimitado, y el cuerpo se adapta sólo muy lentamente a oxidar la grasa en exceso. El cuerpo humano tiene una capacidad limitada de convertir hidratos de carbono en grasa, y en circunstancias normales, es insignificante. Sin embargo, cada gramo de grasa consumido tiene más de dos veces el contenido calórico de cada gramo de hidrato de carbono. Así, es más probable que las dietas ricas en grasa de alta densidad energética promuevan un sobre consumo pasivo de energía. El balance de energía se regula más fácilmente a altas ingestas de hidratos de carbono que a ingestas altas de grasa.

Está ampliamente demostrada la importancia de la densidad energética de la dieta (julios o calorías por gramo) para la ingesta energética y la regulación del peso corporal. El consumo de dietas de alta densidad energética aumenta las posibilidades de que se produzca un equilibrio energético positivo y, por lo tanto, un aumento de peso. La investigación indica constantemente que se produce una reducción espontánea de la ingesta energética cuando se reduce la densidad energética de la dieta. Las dietas de baja densidad energética se caracterizan por ser bajas en grasa y altas en hidratos de carbono, y en alimentos ricos en fibra, como los productos cereales, las frutas y las verduras.

## **Apetito, saciedad e ingesta de alimentos**

La ingesta de alimentos está regulada por la compleja interacción de factores fisiológicos y psicológicos que se asocian con la comida y la bebida. La densidad energética de los alimentos es un factor determinante importante de la cantidad ingerida, pero también hay que tener en cuenta otras propiedades de los alimentos. Éstas incluyen la palatabilidad, la composición de macronutrientes y las proporciones relativas de sólidos y líquidos.

Los estudios sobre los efectos de distintos hidratos de carbono sobre el hambre, la saciedad y la ingesta de comida han dado lugar a resultados conflictivos debido a las numerosas dificultades metodológicas encontradas al llevar a cabo este tipo de investigación. En general, parece poco probable que controlar un solo componente de la dieta, como el tipo de azúcar o almidón, tenga un efecto significativo en la cantidad de energía consumida, ya que en ello también influyen otros componentes de la comida, incluyendo las proteínas y la fibra alimentaria.

La creencia popular de que el azúcar, por su dulzor natural y sus propiedades hedónicas, puede invalidar los controles de regulación de la ingesta de alimentos e incitar al consumo excesivo, no está basada en datos científicos fiables. La investigación sugiere que muchas personas prefieren las comidas ricas en grasa y azúcar por su palatabilidad. En un estudio a gran escala desarrollado en varios centros europeos demostró que en condiciones en las que los sujetos con sobrepeso tenían acceso *ad libitum* a dos dietas bajas en calorías, una de ellas rica en azúcares y la otra, en hidratos de carbono, perdieron cantidades similares de peso corporal. No obstante, aún no se ha evaluado si los azúcares obtenidos de los refrescos proporcionan una sensación de saciedad menor que los azúcares obtenidos de los alimentos sólidos.

## ***Hidratos de carbono y actividad física***

La actividad física requiere que el metabolismo de las reservas de combustible del cuerpo suministre energía para la contracción muscular. La naturaleza de ese combustible depende de si el cuerpo está en estado de ayuno o en estado postprandial y de la intensidad y duración de la actividad. En condiciones de ayuno, el metabolismo de la grasa provee la mayor proporción de energía para el metabolismo en reposo y para la contracción de los músculos en ejercicios de baja intensidad. En condiciones postprandiales, la mayor parte de la energía para el metabolismo en reposo o el ejercicio de baja intensidad procede del metabolismo de la glucosa. A mayores intensidades de ejercicio, el metabolismo de las reservas de hidratos de carbono, incluyendo el glucógeno muscular y hepático y la glucosa en sangre, es también la fuente predominante de energía para la contracción muscular. Si el ejercicio requiere más energía, debido a su intensidad o duración, entonces la proporción de energía generada mediante la oxidación de la grasa se incrementará gradualmente en función de la generada por el metabolismo de la glucosa. En condiciones normales, las proteínas (en forma de aminoácidos) sólo se metabolizan como una reserva de energía e proporciones mínimas y se movilizan sólo en condiciones de inanición o cuando las reservas de hidratos de carbono están en niveles bajos.

En los últimos años, la optimización de rendimiento mediante manipulación de la disponibilidad de hidratos de carbono ha recibido mucha atención. Se ha establecido que la capacidad de resistencia se puede mejorar extraordinariamente mediante un incremento de la ingesta de hidratos de carbono, lo que aumenta los almacenes de glucógeno musculares y hepáticos. Para actividades deportivas de resistencia, las cantidades y tipos de hidratos de carbono de la dieta y el ritmo y la frecuencia de las consumiciones (durante el entrenamiento, inmediatamente antes o durante los ejercicios e inmediatamente después) pueden ser fundamentales para determinar la disponibilidad óptima de combustible para maximizar el rendimiento. El consumo de hidratos de carbono antes del ejercicio asegura la disponibilidad máxima de hidratos de carbono como sustrato durante la actividad, mientras que el consumo de hidratos de carbono después del ejercicio fomenta la recuperación del hígado y las reservas de glucógeno

musculares. El rendimiento en las actividades de resistencia se puede mejorar generalmente mediante el consumo de hidratos de carbono durante el ejercicio. Habitualmente, se recomienda consumir tras el ejercicio, alimentos con un IG moderado o alto.

La recuperación de fluidos y electrolitos perdidos durante el ejercicio también es importante para el rendimiento. Se han investigado de forma extensiva los efectos de la ingestión de diferentes hidratos de carbono sobre las reservas de hidratos de carbono y el rendimiento, y de otros componentes, como fluidos y electrolitos, en diferentes momentos durante diferentes tipos de ejercicio y durante el tiempo de recuperación. La glucosa, la maltosa, la sacarosa y las maltodextrinas se absorben y oxidan rápidamente y se han utilizado como componentes de las bebidas deportivas. Sin embargo, si la concentración de hidratos de carbono de la bebida es demasiado alta, el vaciado gástrico se reduce y el agua y los hidratos de carbono resultan menos disponibles para la absorción.

Resultados de investigación sugieren que el consumo de glucosa, sacarosa o polímeros de glucosa (4-5 g/kg del peso corporal) 3 a 4 horas antes del ejercicio, y una fuente más diluida de hidratos de carbono (1-2 g/kg del peso corporal) 1 hora antes del ejercicio, eleva o mantiene unos niveles de glucosa en sangre, aumenta la oxidación durante el ejercicio y mejora la resistencia. Durante el ejercicio, cuando compensar la pérdida de fluidos es una prioridad, se puede recuperar agua más rápidamente utilizando soluciones de hidratos de carbono (30-70 g/l) y sales de sodio.

## ***Hidratos de carbono y comportamiento humano***

La idea de que los alimentos, en concreto la sacarosa, puede afectar negativamente nuestro comportamiento, se remonta a principios de los años 20. Atrajo más atención en 1947, con la descripción del "síndrome de la fatiga y la tensión", que se atribuía al azúcar.

Un mecanismo plausible para los vínculos propuestos entre los hidratos de carbono y el comportamiento se desarrolló a

principios de los años 70, cuando se demostraron aumentos en la síntesis del neurotransmisor cerebral 5-hidroxitriptamina (serotonina) en respuesta al consumo de hidratos de carbono en estudios en animales. La serotonina participa en la regulación de muchos aspectos del comportamiento humano, incluyendo el estado de ánimo, el sueño y el apetito.

### ***Estado de ánimo y cognición***

La hipótesis de que el consumo de hidratos de carbono puede alterar el estado de ánimo debido a los efectos de la serotonina en el cerebro ha impulsado muchos estudios en esta área. Sin embargo, los resultados en sujetos sanos, la mayoría de ellos llevados a cabo a la hora del almuerzo, no han mostrado un efecto específico de los hidratos de carbono o no han mostrado diferencias entre comidas ricas y pobres en hidratos de carbono. Se han constatado alteraciones en el estado de ánimo, incluyendo el enfado, la depresión y la falta de energía a primera hora de la tarde, independientemente de la comida consumida en el almuerzo. Existen datos más fiables de que algunos individuos consumen hidratos de carbono para contrarrestar estados de ánimo negativos en distintas situaciones, incluyendo el abandono del tabaco y el alcohol, el síndrome premenstrual, el trastorno afectivo estacional y la obesidad.

Existe cada vez más evidencia de que los hidratos de carbono, pero en particular la glucosa, puede tener una influencia en la actividad del sistema nervioso central y puede aumentar la función cognitiva. La retención de memoria es una parte importante de la cognición y ha sido objeto de investigaciones tanto en animales como en diferentes grupos de sujetos humanos, incluyendo niños y personas de la tercera edad. Se ha demostrado que las dosis altas de glucosa mejoran el funcionamiento de la memoria durante la hora posterior a su consumo. Algunos estudios sugieren que los efectos pueden variar con la complejidad de las tareas. El efecto es más evidente en los sujetos de la tercera edad, quienes pueden tener déficits de memoria preexistentes. En cualquier caso, también se han observado efectos positivos en pruebas cognitivas en niños tras el consumo de una bebida que contuviera hidratos de carbono. Es necesario seguir investigando antes de extraer conclusiones acerca de las implicaciones prácticas de estos datos.

### ***Azúcar e hiperactividad***

En los años 70 estaba muy extendida, especialmente en los EE.UU., la idea de que la ingesta de azúcar estaba asociada con un comportamiento hiperactivo en niños, e incluso con un comportamiento delictivo y antisocial. En los últimos quince a veinte años se han llevado a cabo numerosos estudios de investigación sobre este tema. El análisis de los resultados de estos estudios no apoya la hipótesis de que la sacarosa afecte a la hiperactividad o influya negativamente en la capacidad de atención o el rendimiento cognitivo de los niños

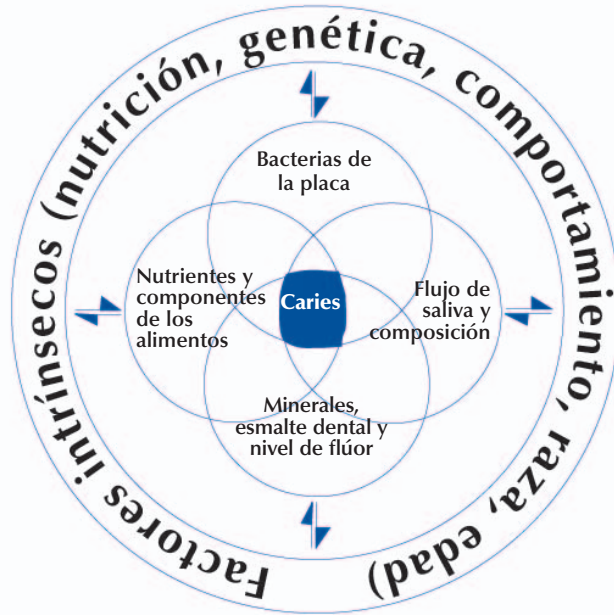
### ***Hidratos de carbono y salud bucal***

Las caries dentales son uno de los trastornos que afectan a la cavidad bucal más extendidos. Se trata de un trastorno en el que intervienen múltiples factores y en el que juegan un papel importante las bacterias y los hidratos de carbono fermentables, que generan ácidos capaces de desmineralizar los tejidos duros de los dientes.

### ***Desarrollo de caries dentales***

Los diferentes factores que intervienen en el desarrollo de caries, que interactúan, están ilustrados en la figura 8. Las bacterias cariogénicas de la placa juegan un papel fundamental, especialmente las especies que fermentan el azúcar para producir ácido láctico. Estas bacterias pueden ser relativamente inocuas, pero cuando se acumulan como capas gruesas de placa en la superficie de los dientes, son cariogénicas. El flujo salival y su composición también son importantes. La saliva protege a los dientes gracias a su acción de ajuste de Ph, impidiendo que se produzcan rangos extremos de acidez y de alcalinidad. También contiene sustancias antibacterianas y es una fuente de minerales, incluyendo el calcio, fósforo y flúor, que contrarresta la desmineralización ácida del esmalte y fomenta la remineralización de las lesiones iniciales. La incorporación de flúor durante la remineralización, como el flúor añadido a la pasta dentífrica, genera esmalte que es más resistente al deterioro.

**FIGURA 8**  
Factores que influyen en el desarrollo de la caries dental



Fuente: Navia, J.M. (1994). *Carbohydrates in human nutrition: the importance of food choice in a high-carbohydrate diet*. American Journal of Clinical Nutrition, HighWire Press, Palo Alto, CA, EE.UU. © American Society for Clinical Nutrition

Los almidones y los azúcares son componentes importantes de los residuos de comida que quedan atrapados en cavidades de la boca. Proporcionan nutrientes para las bacterias y el material para el desarrollo de placa. Los hidratos de carbono no causan un daño directo a los dientes, pero su presencia puede fomentar el desarrollo de caries ya que crean las condiciones para la fermentación local y la acumulación de ácido. Los almidones se hidrolizan y fermentan rápidamente y, en algunas circunstancias, pueden estimular el desarrollo de caries igual que los azúcares, especialmente cuando están presentes en formas que se adhieren a los dientes o se alojan en las cavidades entre los dientes.

Hay diferentes formas de minimizar el riesgo de que se produzcan caries dentales y de mejorar la salud dental. La propuesta clave ha sido la mejora de la higiene bucal mediante la eliminación de residuos de comida y el desplazamiento de la placa a base de un cepillado regular con una pasta de dientes que contenga flúor. Otras fuentes de flúor son el agua, los complementos de té y los colutorios bucales. El control de la frecuencia de las tomas de comida y bebida, para permitir la remineralización entre ellas, también juega un papel importante. Hidratos de carbono hidrogenados (polioles), que no fermentan mediante la flora bucal, se utilizan como sustitutos del azúcar en los productos de confitería y los chicles sin azúcar. En general, se han producido importantes descensos en la prevalencia de caries en los países desarrollados en los últimos treinta años, que refleja mejoras en la higiene oral y la utilización de flúor, especialmente en los productos de higiene dental.

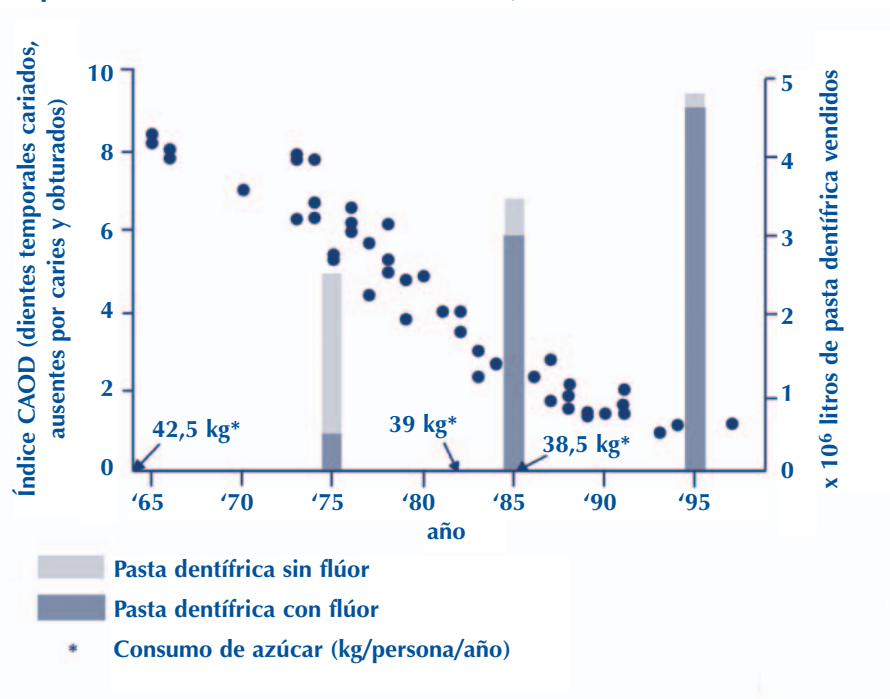
### **Azúcares y prevalencia de la caries**

Durante muchos años, se ha subrayado el papel de los azúcares, concretamente la sacarosa, en la etiología de la caries dental. Sin embargo, los azúcares no generan cantidades peligrosas de ácidos en la boca en ausencia de placa o si está presente sólo en capas finas. Además, la presencia de flúor protege contra los ataques de los ácidos.

Antes de la introducción extendida del flúor y otras mejoras en la higiene oral, había una fuerte asociación entre el consumo de glucosa y la caries dental. Una revisión de datos de 47 naciones hasta los años 70 indicó que la mitad de la variabilidad en la prevalencia de la caries se podía explicar por la disponibilidad de sacarosa. En las dos últimas décadas, la situación ha cambiado y los estudios recientes indican que la prevalencia de la caries se correlaciona con el consumo de sacarosa sólo cuando la higiene oral es escasa y cuando el flúor está ausente, pero no en otros casos.

FIGURA 9

Índice CAOD de los niños de 12 años en los Países Bajos, consumo de azúcar per capita al año en 1961, 1982 y 1985, y cantidad de pasta dentífrica vendida en los Países Bajos



Adaptado de: Gurr, M. (1995). *Nutritional and Health Aspects of Sugars: Evaluation of New Findings*. ILSI Europe Concise Monograph Series, ILSI Press, Washington, DC, EE.UU.

En los Países Bajos, por ejemplo, la prevalencia de caries ha descendido rápidamente en los pasados 25 años (figura 9), a pesar de que el consumo de sacarosa es aún más del 90% de lo que era en 1965. En el Reino Unido, en un estudio en niños pequeños (de 1,5 a 4,5 años de edad) se demostró que la asociación entre la caries y el consumo de dulces azucarados estaba presente sólo en aquellos niños que no se cepillaban los dientes dos veces al día.

Se puede llegar a la conclusión de que aunque existe una relación entre el consumo de azúcar y la caries dental, el trastorno es complejo. La dieta juega un papel en la salud dental al suministrar nutrientes para mantener la mineralización de los dientes, pero también suministra sustratos para la fermentación bacteriana en la forma de azúcares y almidones. Los azúcares son sólo un factor en la compleja etiología de las caries, y no es la cantidad de azúcares, sino la frecuencia de la ingesta lo que es importante en el desarrollo de la caries. Para prevenir la caries, se recomienda una buena higiene bucal y la utilización de flúor, junto con una dieta variada.

## GLOSARIO

---

**Aterosclerosis:** enfermedad caracterizada por la formación de placas de tejido fibroso y grasa en las paredes internas de las arterias, pudiendo impedir la circulación correcta de la sangre.

**Carcinógeno:** sustancia capaz de producir cáncer.

**Colesterol de lipoproteína de alta densidad (HDL, high-density lipoprotein):** colesterol transportado en proteínas específicas en la sangre fuera de la pared arterial. Los niveles altos de este tipo de colesterol están asociados a un riesgo menor de padecer una enfermedad cardiovascular.

**Colesterol de lipoproteína de baja densidad (LDL, low-density lipoprotein):** colesterol transportado en proteínas específicas del hígado a otros tejidos. Los niveles altos de este tipo de colesterol están asociados a un riesgo mayor de padecer una enfermedad cardiovascular.

**Dislipidemia:** trastorno de los niveles de lípidos en sangre.

**Endotelio:** capa de células que revisten el interior de algunas cavidades internas, como los vasos sanguíneos.

**Enterocito:** tipo de células predominante en la mucosa del intestino delgado, responsable de la producción de enzimas y del transporte de nutrientes.

**Epidemiología:** estudio de las enfermedades con respecto a las poblaciones.

**Epitelio:** tejido que cubre las superficies externas, como la piel y el revestimiento del intestino, que consiste en una sola capa de células.

**Fibra alimentaria:** partes comestibles de las plantas o los hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y a la absorción en el intestino delgado y sufren una fermentación parcial o completa en el intestino grueso (Asociación Americana de Químicos de Cereales, 2001).

**Fibrinólisis:** proceso por el cual los coágulos de sangre se disuelven y eliminan de la circulación.

**Fitoquímicos:** productos químicos de las plantas asociados con beneficios para la salud.

**Gelatinización:** formación de gel.

**Glucagón:** hormona secretada por el páncreas que provoca una liberación de glucosa del hígado, con el resultado de un aumento del nivel de glucosa en sangre.

**Glucógeno:** forma más importante del almacenamiento de hidratos de carbono en el cuerpo. Consiste en cadenas ramificadas de unidades de glucosa con enlace  $\alpha$ .

**Grado de polimerización (DP, degree of polymerisation):** número de unidades de monosacáridos en un hidrato de carbono específico.

**Hiperglucemia:** aumentos anormales de los niveles de glucosa en sangre.

**Hiperlipidemia:** aumentos anormales de la grasa (lípidos) en sangre, incluyendo los triglicéridos y el colesterol.

**Hipertensión:** tensión arterial elevada (aumento excesivo de la tensión arterial, que está asociado con un mayor riesgo de daño de órganos, incluyendo el ataque al corazón).

**Hipertrigliceridemia:** aumento de los triglicéridos (triacilglicéridos) en sangre.

**Índice glucémico (IG):** comparación del aumento de la concentración de la glucosa en sangre producido por una cantidad estándar de un alimento de prueba con respecto al producido por la misma cantidad de alimento estándar (referencia) en la misma persona.

**Insulina:** hormona segregada por el páncreas, que tiene un papel central en el control del metabolismo de los hidratos de carbono, ya que baja los niveles de glucosa.

**Lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL, very low density lipoprotein):** lipoproteína rica en triglicéridos segregada por el hígado en la sangre.

**Microflora:** población bacteriana.

**Postprandial:** que se produce tras una comida.

**Prebiótico:** componentes de los alimentos no digeribles que benefician al huésped estimulando selectivamente el crecimiento y/o la actividad de una o un número limitado de bacterias beneficiosas en el colon.

**Probiótico:** alimento con microorganismos vivos que se supone beneficioso para la salud.

**Resistencia a la insulina:** deficiencia en la acción de la insulina, especialmente la absorción de glucosa de los tejidos estimulada por la insulina, la inhibición de la producción de glucosa del hígado y la inhibición de la descomposición de la grasa.

**Triglicéridos (triacilglicerolos):** la forma más común de una molécula de grasa, que consiste en una molécula de glicerol unida a tres moléculas de ácidos grasos.

## OTRAS LECTURAS

---

Asp, N-G., van Amelsvoort, J.M.M., y Hautvast, J.G.A.J. eds. (1996). Nutritional implications of resistant starch. *Nutrition Research Reviews*, CABI Publishing, Oxford, Reino Unido, 9:1-31.

Brand Miller, J., Slama, G., Nantel, G., y Lang, V eds. (2001). Glycaemic index and health: the quality of the evidence. *Danone Vitapole Nutrition and Health Collection*. John Libbey Eurotext Ltd., París, Francia.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación/Organización Mundial de la Salud (1998). Carbohydrates in Human Nutrition. Informe de una Consulta Conjunta de Expertos de la FAO y la OMS, FAO/OMS, Roma, Italia.

McCleary, D.B.V. y Prosky, L., eds (2001). Advanced Dietary Fibre Technology. Blackwell Science, Oxford, Reino Unido.

van Loveren, C. (1992). Caries and Fluoride. *Nederlandse Tijdschrift voor Tandheelkunde*. NTvT b.v., Amsterdam, Países Bajos, 99(6):220-224.

# Otras publicaciones del ILSI Europe

## Concise Monographs

- Alcohol – Health Issues Related to Alcohol Consumption
- A Simple Guide to Understanding and Applying the Hazard Analysis Critical Control Point Concept
- Calcium in Nutrition
- Carbohydrates: Nutritional and health Aspects
- Caries Preventive Strategies
- Concepts of Functional Foods
- Dietary Fat – Some Aspects of Nutrition and Health and Product Development
- Dietary Fibre
- Food Allergy
- Food Biotechnology – An Introduction
- Genetic Modification Technology and Food – Consumer Health and Safety
- Health Issues Related to Alcohol Consumption
- Healthy Lifestyles – Nutrition and Physical Activity
- Microwave Ovens
- Nutrition and Immunity in Man
- Nutritional and Health Aspects of Sugars – Evaluation of New Findings
- Nutritional Epidemiology, Possibilities and Limitations
- Oxidants, Antioxidants, and Disease Prevention
- Principles of Risk Assessment of Food and Drinking Water Related to Human Health
- The Acceptable Daily Intake – A Tool for Ensuring Food Safety

## Reports

- Addition of Nutrients to Food: Nutritional and Safety Considerations
- An Evaluation of the Budget Method for Screening Food Additive Intake
- Antioxidants: Scientific Basis, Regulatory Aspects and Industry Perspectives
- Applicability of the ADI to Infants and Children
- Approach to the Control of Enterohaemorrhagic *Escherichia coli* (EHEC)
- Assessing and Controlling Industrial Impacts on the Aquatic Environment with Reference to Food processing
- Assessing Health Risks from Environmental Exposure to Chemicals: The Example of Drinking Water
- Detection Methods for Novel Foods Derived from Genetically Modified Organisms
- Exposure from Food Contact Materials
- Foodborne Protozoan Parasites
- Foodborne Viruses: An Emerging Problem
- Food Consumption and Packaging Usage Factors
- Food Safety Management Tools
- Food Safety Objectives – Role in Microbiological Food Safety Management
- Functional Foods – Scientific and Global Perspectives
- Guidance on the Safety Assessment of Botanicals and Botanical Preparations for Use in Food and Food Supplements
- Markers of Oxidative Damage and Antioxidant Protection: Current status and relevance to disease
- Method Development in Relation to Regulatory Requirements for the Detection of GMOs in the Food Chain
- *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* (MAP) and the Food Chain
- Nutrition in Children and Adolescents in Europe: What is the Scientific Basis?
- Overview of Health Issues Related to Alcohol Consumption

- Overweight and Obesity in European Children and Adolescents: Causes and Consequences – Prevention and Treatment
- Packaging Materials: 1. Polyethylene Terephthalate (PET) for Food Packaging Applications
- Packaging Materials: 2. Polystyrene for Food Packaging Applications
- Packaging Materials: 3. Polypropylene as a Packaging Material for Foods and Beverages
- Packaging Materials: 4. Polyethylene for Food Packaging Applications
- Packaging Materials: 5. Polyvinyl Chloride (PVC) for Food Packaging Applications
- Packaging Materials: 6. Paper and Board for Food Packaging Applications
- Recycling of Plastics for Food Contact Use
- Safety Assessment of Viable Genetically Modified Micro-organisms Used in Food
- Safety Considerations of DNA in Foods
- *Salmonella* Typhimurium definitive type (DT) 104: A multi-resistant *Salmonella*
- Significance of Excursions of Intake above the Acceptable Daily Intake (ADI)
- The Safety Assessment of Novel Foods
- The Safety Assessment of Novel Foods and Concepts to Determine their Safety in use
- Threshold of Toxicological Concern for Chemical Substances Present in the Diet
- Transmissible Spongiform Encephalopathy as a Zoonotic Disease
- Trichothecenes with a Special Focus on DON
- Validation and Verification of HACCP

## Para hacer un pedido

ILSI Europe a.i.s.b.l.  
83 Avenue E. Mounier, Box 6  
B-1200 Brussels, Belgium  
Phone (+32) 2 771 00 14  
Fax (+32) 2 762 00 44  
E-mail: [publications@ilsieurope.be](mailto:publications@ilsieurope.be)

ILSI Europe's Concise Monographs and Report Series can be downloaded from <http://europe.ilsis.org/publications>

ISBN 1-57881-190-2



9 781578 811908