

HIDRATOS DE CARBONO

CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Introducción

Los hidratos de carbono representa un nutriente de suma importancia para la dieta del ser humano, particularmente para los atletas que compiten en deportes que requieren una alta tolerancia aeróbica. Son la principal fuente de energía para el organismo. Los hidratos de carbono son los más baratos, se obtienen con más facilidad y se digieren mejor en comparación con los demás nutrientes.

Autor: Edgar Lopategui

Concepto

Los hidratos de carbono representan compuestos orgánicos sintetizados por las plantas con la ayuda de la luz solar, el agua y el bióxido de carbono. Desde el punto de vista químico, los hidratos de carbono se pueden definir como compuestos contituídos por elemetos orgánicos, a saber: carbóno (C), hidrógeno (H₂) y Oxígeno (O₂).

SÍNTESIS/FORMACIÓN

Origen

Plantas con hojas verdes:

Los hidratos de carbono son sintetizados mediante el proceso de fotosíntesis que ocurre en las plantas con hojas verdes. En éste proceso, las hojas verdes captan la luz solar y recogen bióxido de carbono del aire y agua de la tierra, combinándose todo ésto con la clorofila (pigmento verde de las plantas), para así producir algun tipo de carbohidrato (una mazorca de maíz, una papaya, etc.) y liberar oxígeno hacia el aire.

FUNCIONES DE LOS HIDRATOS DE CARBONO EN EL ORGANISMO HUMANO

Producción de Energía

Representa la función principal de los hidratos de carbono. El cuerpo oxida rápidamente los almidones y los azúcares para proveer calor y energía corporal. Esta es una función de vital importancia para aquellos individuos que practican ejercicios físicos regulares. Por ejemplo, los hidratos de carbono representan la fuente de energía primaria para actividades musculares vigorosas (anaeróbicas).

Ahorrar Proteínas

Los hidratos de carbono evitan que la proteína se utilice como suministro de energía. Esto permite una gran parte de las proteínas puedan ser utilizadas para sus propósitos estructurales básicos en la construcción de tejidos.

Prevención de Cetosis (Acumulación de Cetones en la Sangre)

Los hidratos de carbono cooperan en el metabolismo de los lípidos (grasas). La deficiencia de hidratos de carbono en la dieta puede inducir a un estado de cetoacidosis, el cual resulta del metabolismo incompleto de las grasas.

En un consumo insuficiente de hidratos de carbono (ejemplo: durante un estado de inanición/hambre o en la diabetes sacarina sin controlar), el metabolismo de las grasas no puede completarse. Esto ocasiona una oxidación excesiva de las grasas, lo cual provoca una mayor producción y acumulación de los cuerpos cetones (ácido acetoacético y sus derivados). El resultado es cetoacidosis.

Sistema Nervioso Central

Se requiere una cantidad constante de hidratos de carbono para un funcionamiento apropiado del sistema nervioso central. El consumo deficiente de hidratos de carbono (e.g., durante una dieta peligrosa prolongada para control de peso donde se suprimen los hidratos de carbono o durante la inanición), se puede inducir a un estado hipoglicémico sostenido y profundo. Consecuentemente, esto puede ocasionar daño cerebral irreversible. Además, los hidratos de carbono representan el combustible para la transmisión de impulsos nerviosos.

Fuente de Reservas de Glucógeno

Los hidratos de carbono adquiridos mediante la dieta se almacenan eventualmente en el organismo en la forma de glucógeno. Los lugares principales destinados para las reservas de glucógeno en el cuerpo son el hígado y los músculos esqueléticos. Estos órganos proveen reservas contantes de hidratos de carbono. A pesar de que la concentración de glucógeno es mayor en el hígado, debido a la mayor masa de los músculos esqueléticos, en

éstos se encuentran una mayor cantidad total de glucógeno.

Estos almacenes son de vital importancia en la prevención de afecciones a nivel celular.

El glucógeno protege las células de deficiencias en el metabolismo y de lesiones. Las reservas de glucógeno (particularmente el glucógeno hepático) nos permiten comer intermitentemente al proveer fuentes inmediatas de glucosa sanguínea (entre las comidas) para su uso como combustible metabólico. Durante el ayuno nocturno, el glucógeno hepático también provee la glucosa que el cuerpo necesita.

Las reservas del glucógeno hepático son solamente adecuadas por aproximadamente 12 horas o menos sin depender de las vías gluconeogénicas (síntesis de glucógeno a partir de precursores que no son hidratos de carbono).

Las reservas de glucógeno hepático y musculoesquelético son esenciales para ejecutorias exitosas en deportes de tolerancia aeróbica. El principal combustible metabolizado durante los inicios de un ejercicio (ejemplo: una hora de correr) son los hidratos de carbono que provienen de las reservas de glucógeno. Conforme la intensidad del ejercicio aumenta a niveles sobre el 70% del VO_2 máx, aumenta la dependencia en el metabolismo del glucógeno muscular para la provisión de energía. Aproximadamente entre 85-90% del VO_2 máx la mayoría de la energía es derivada de los hidratos de carbono que provienen de los almacenes de glucógeno.

Biosíntesis/Función Anabólica

Los hidratos de carbono son esenciales para la formación de nuevos compuestos químicos

Constituyentes de Estructuras Corporales

Los hidratos de carbono forma para de los antígenos de membrana, de los nucleótidos y ácidos nucleicos, de los glucosaminoglucanos integrantes de la matriz gelificada del espacio intersticial y del cartílago del tejido conectivo.

Destoxificación por medio del Ácido Glucorónico

Destoxificación de varios productos intermedios del metabolismo normal y de ciertas drogas (ejemplo: morfina, el ácido salicílico y las sulfas).

Confección de Alimentos

Los hidratos de carbono contribuyen al endulzamiento de los alimentos y hacerlos más palatables (con mejor sabor).

CLASIFICACIÓN

Monosacáridos (Azúcares Simples)

Descripción:

Los monosacáridos representan la forma más simple de los hidratos de carbono (una sola unidad/molécula de azúcar). Éstos hidratos de carbono simples se agrupan de acuerdo con el número de átomos de carbón que tienen en su estructura básica, a saber: *triosas* (3 carbonos), *tetrosas* (4 carbonos), *pentosas* (5 carbonos), *hexosas* (6 carbonos) y *eptosas* (7 carbonos).

Las *pentosas* pueden ser de dos tipos, a saber: *ribosa* y *xilosa*. La *ribosa* se forma a través de los procesos metabólicos; el cuerpo la sintetiza mediante la glucosa. Representa el elemento constituyente de los ácidos nucleico y coenzimas, ácido ribonucleico (RNA): ATP, NAD, NADP (DPN, TPN), flavoproteínas. Forma parte de la vitamina riboflavina (B₂). Por su parte, la *xilosa*, producida comercialmente de celulosa y hemicelulosa (provenientes de muchos tipos de madera, particularmente del abedul). El *xilitol* (el azúcar alcohol derivado de xilosa) se utiliza para endulzar y proveer textura a dulces y gomas de mascar sin que contribuya a las caries dentales. En adición, reduce el tiempo del vaciado gástrico y el consumo calórico.

Las *hexosas* representan los monosacáridos más importantes nutricionalmente y fisiológicamente. Éstos monosacáridos se encuentran constituidos por seis átomos de carbono, 12 átomos de hidrógeno y seis átomos de oxígeno (C₆H₁₂O₆).

Existe una variedad de hexosas, entre las más importantes tenemos la *glucosa*, *fructosa* y *galactosa*. Éstos y otros tipos de hexosas se discutirán en los próximos párrafos.

Glucosa (Dextrosa o Azúcar de la Sangre) de Hexosas:

Fuentes. Las fuentes de alimentos de glucosa son frutas (frescas y en jugos) y vegetales, y miel de abeja. Estos alimentos proveen solamente aproximadamente 18 gramos de glucosa por día. Comúnmente, la glucosa se obtiene mediante la hidrólisis/degradamiento de los hidratos de carbono más complejos, tales como los almidones, azúcar de caña, maltosa y lactosa. También se deriva de la hidrólisis de algunos aminoácidos.

Importancia/función. La glucosa representa la fuente de energía principal para el sistema nervioso central (cerebro y fibras nerviosas), los músculos, corazón, pulmones, hemáties

(globulos rojos), entre otros. Representa la única forma en la cual los carbohidratos pueden ser transportados en la sangre hacia los tejidos/células. Además, se utiliza en la práctica clínica como fuente de combustible para la administración de suero intravenoso.

Características. La glucosa es un azúcar moderadamente dulce. Es un tipo de carbohidrato a la que se convierten finalmente todos los demás carbohidratos más complejos (a través de la digestión), para que sean transportados por la sangre hacia las células del cuerpo que así lo necesitan.

Alteraciones en la homeostasia (equilibrio) de la glucosa sanguínea. Existen diversos disturbios metabólicos ocasionados por cambios en las concentraciones de glucosa en la sangre, entre los cuales se encuentra la ***hiperglucemia*** y la ***hipoglucemia***.

La ***hiperglucemia*** es una condición en la cual el nivel de azúcar en la sangre se eleva sobre los niveles normales, es decir, sobre 160 miligramos por decilitros (mg/dl ó mg/100 ml). Comúnmente, este disturbio puede ser la manifestación clínica usualmente observada en una diabetes sin controlar. La diabetes se caracteriza por la insuficiencia en la producción de insulina por las células beta del páncreas para que pueda ayudar en el removido de la glucosa de la sangre.

Por otra lado, la ***hipoglucemia***: representa una condición en la cual los niveles de azúcar en la sangre se encuentran por debajo de lo normal (menos de 60 mg/dl). ¿Por qué bajan los niveles de azúcar en la sangre?. La realidad es que existen un sin número de posibilidades. Por ejemplo, una persona que ha esperado mucho tiempo entre comidas puede sufrir de una ***hipoglucemia reactiva***. Este disturbio puede ser ocasionado cuando las células han absorbido la glucosa sanguínea más rápido de la que puede ser respuesta por el hígado (los almacenes de los hidratos de carbono), o después de ingerir una comida alta en hidratos de carbono, particularmente azúcares simples que se absorben rápidamente; esto causa un aumento súbito en la glucosa sanguínea, lo cual a su vez estimula al páncreas a producir más insulina y liberarla en la sangre. Esta insulina viaja hacia las células y las estimula para que absorben con rapidez más glucosa de la sangre. Algunas veces, el páncreas sobre-reacciona y continúa produciendo insulina por más tiempo del necesario, lo cual provoca que los niveles de azúcar disminuyan a niveles muy bajo.

Sorbitol. Es una forma reducida de la glucosa (posee un átomo de hidrógeno adicional). Proviene de las frutas (manzanas, peras, melocotones, entre otras) y de diversos vegetales. El sorbitol ayuda a demorar las sensaciones de hambre, de manera que puede ser un ingrediente utilizado en los programas de adelgazamiento. Además, se emplea en algunas gomas de mascar (chicle) como un aditivo para prevenir las caries dentales.

Fructosa (levulosa o azúcar de fruta):

Fuentes. Este tipo de hexosa abunda en las frutas/jugos de fruta, bayas (fruto polispermo

de pericarpio pulposo, como la uva, naranja y limón) y verduras. También se encuentra en la miel de abaja. Representa una tercera parte de toda la azúcar que contiene la miel. Finalmente, la fructosa puede ser el producto de la hidrólisis/degradamiento de la sucrosa que proviene de la azúcar de caña.

Importancia/función. La fructosa se convierte en glucosa en el hígado e intestinos, de manera que sirva de combustible metabólico para las células. En cantidades controladas sirve como un endulzador nutritivo aceptable para el uso de dietas que modifican los hidratos de carbono y kilocalorías consumidas. Es menos probable que sea cariogénica (que tienda a producir caries dentales) en comparación con otros endulzadores.

Característica. Representa el azúcar más dulce de los azúcares simples. La fructosa tiene un problema: puede aumentar la necesidad de cobre.

Galactosa:

Fuentes. Comúnmente, proviene de la hidrólisis/descomposición de lactosa (azúcar disacárida de la leche y de otros laticinios). Puede producirse mediante la glucosa. Durante la lactancia, la glucosa puede ser reconvertida en galactosa (cuando así lo necesiten las glándulas mamarias) para ser utilizada en la producción de leche.

Importancia/función. La galactosa es convertida a glucosa en el hígado para que sirva de combustible para las células corporales. Es sintetizada en las glándulas mamarias para la producción de lactosa. Además, es constituyente de glucolípidos y glucoproteínas.

Manosa:

Representa el producto que resulta de la hidrólisis de plantas manosas y gomas (resinas). La manosa es parte integral de los polisacáridos de albúminas, globulinas, mucoproteínas y glucoproteínas.

Alcohol (o etanol):

Se produce mediante la fermentación de glucosa por las enzimas en la levadura.

Monosacáridos Importantes en la Medicina:

Los **glucósidos** son utilizados en drogas cardíacas, como digitalis; también se emplean en antibióticos, como estreptomioicín. El monosacárido **deoxiazúcar** (contiene menos oxígeno que átomos de carbón). Representa la azúcar que ocurre en los ácidos nucleicos, como el DNA, el cual es importante para la transmisión de las características genéticas y síntesis de enzimas celulares. Finalmente, los **aminoazúcares** (contienen NH₂) son constituyentes de

diversos antibióticos, tales como eritromiocín y carbomiocín.

Disacáridos (Azúcares Dobles)

Descripción:

Estos son hidratos de carbono formados por dos unidades de azúcares simples (monosacáridos), esto es, cuando una unidad de glucosa se combina con una de las siguientes

unidades: fructosa, galactosa o glucosa.

En la actualidad existen tres tipos de disacáridos, a saber: *sacarosa* (o *sucrosa*), *lactosa*, y *maltosa*. A continuación se discuten estos tipos de disacáridos.

Sacarosa o sucrosa:

Fuentes. La sacarosa abunda en la azúcar de caña. La azúcar blanca/granulada de mesa se encuentra constituida en su totalidad (100%) de sacarosa, mientras que en la azúcar morena sin refinar hay un 97% de sacarosa. Este tipo de monosacárido también se encuentra en la azúcar de remolacha, las melazas, el sorgo, la mermelada de maple, la piña y las zanahorias.

Las unidades de azúcares que componen la sacarosa son la glucosa y la fructosa (sacarosa = glucosa + fructosa)

Importancia/función. La sacarosa se encarga de hidrolizar a la glucosa y fructosa para que luego sirva como fuente de energía para los tejidos corporales. La sacarosa juega también un papel importante para el tratamiento de heridas abiertas y quemaduras. Cuando la herida se llena con azúcar, el azúcar se disuelve en el agua de los tejidos, creando un ambiente bajo en actividad acuosa que inhibe el crecimiento bacteriano. La sacarosa se emplea durante la confección de alimentos para que éstos sean más palatables.

Lactosa:

Fuentes. Básicamente se encuentra en la leche. Se forma solo en las glándulas mamarias de las hembras que amamantan. La lactosa se constituye de una molécula de glucosa y otra de galactosa (lactosa = glucosa + galactosa).

Importancia/función. Es hidrolizada en glucosa y galactosa para que puede proveer combustible metabólico cuando se necesite. Este disacárido ayuda en la absorción de calcio. Además, representa un componente esencial para la producción de leche durante la lactación.

Característica. Representa el disacárido menos dulce.

Disturbios. En nuestra población existe un número de persona que no pueden consumir fuentes de alimentos que contienen lactosa. Esta condición se conoce como ***intolerancia a la lactosa***. Se produce por falta de la enzima lactasa, la cual es necesaria para convertir la lactosa en glucosa y galactosa. La lactosa sin digerir (la cual es muy grande para poder ser absorbida), permanece en el tracto gastrointestinal, el cual sirve como alimento para microorganismos que crecen allí. Algunos de estos organismos causan grandes cantidades de gases resultando en síntomas de flatulencia (gas producido en el colon), inflamación y calambres abdominales. Además, debido a que la lactosa posee un efecto osmótico (una tendencia en atraer agua), su presencia en el colon conduce a la retención de agua, resultando en heces fecales acuosas o en diarrea. En estas condiciones las personas afectadas pueden consumir productos lácteos fermentados (ejemplo: quesos) porque la mayor parte de la lactosa ha sido convertida en ácido láctico. También, pueden comer yogurt, el cual, aunque contiene lactosa, provee enzimas que son activadas y digieren la lactosa cuando el yogurt es calentado en el estómago.

Maltosa:

Fuentes. Se forma como resultado de la digestión de los almidones por amilasa. La maltosa no existe libre en la naturaleza y se elabora al degradarse (vía hidrólisis enzimática o ácida) el almidón (hidrato de carbono complejo) durante el proceso digestivo. Se haya también en productos comerciales de malta derivados de la hidrólisis de los almidones. La cerveza y otras bebidas de malta, donde se fermenta la malta en alcohol contienen maltosa. En adición, la maltosa abunda en los granos cereales germinados. Durante la germinación, el almidón/fécula cereal se degrada en unidades de maltosa de dos moléculas de glucosa. Estas se degradan a su vez en unidades simples de glucosa para alimentar la semilla desarrollándose. La maltosa se compone de dos unidades de glucosa (maltosa = glucosa + glucosa)

Importancia/función. Es hidrolizada a D-glucosa. Sirve de combustible y metabolito corporal básico; representa un factor metabólico de valor en la nutrición humana, puesto que es un producto intermediario de la digestión de los almidones. La maltosa es fermentable. A veces se usa combinada con la dextrina como ingrediente de fórmulas caseras para lactantes, cuando conviene contar con una forma soluble de hidratos de carbono que no fermente pronto en el aparato digestivo.

Características. Es menos dulce que la sacarina y sumamente hidrosoluble.

Polisacáridos (Azúcares Complejos)

Descripción:

Se componen de enlaces de muchas unidades de glucosa (3 ó más), formando así cadenas largas de dichos azúcares. Los tipos de polisacáridos se habrán de discutir en los próximos párrafos.

Almidón (o fécula):

Fuentes. Se encuentra en los granos cereales (trigo, maíz, arroz, avena, casava, cebada, centeno, mijo, sorgo, triticale). Las harinas (de trigo, maíz, arroz, avena, cebada, centeno) son básicamente almidones. Éstos también abundan en los productos elaborados de las harinas de los granos cereales (pastas, pan, bizcochos y otros productos de repostería), los tubérculos/viandas (batata, malanga, papa, entre otros) y en otros granos o semillas (guisantes, habichuelas, ajonjolí, entre otros).

Estructura compleja de los almidones. Los almidones se encuentran constituídos de *amilosa* y *amilopectina*. La *amilosa* representa la porción más pequeña del almidón (compone del 15% al 20% de la molécula de almidón. Es una estructura sin ramas, enrollada; son unidades de glucosa en cadena ligadas del mismo modo que las de maltosa (enlaces glucosídicos). La amilosa es la parte soluble del almidón. Por otro lado, la *amilopectina* representa la porción más grande del almidón (compone del 80% al 85% de la estructura del almidón). Es una estructura ramificada de unidades de glucosa con un enlace distinto al de la maltosa en las ramificaciones (enlaces glucosídicos pero similares en todo el resto de la cadena); consiste de muchas cadenas ramificadas que no se enrollan, dando un parecido a la estructura de un árbol. La amilopectina es la parte insoluble del almidón, la cual forma pasta con agua caliente y se espesa durante la cocción. Cocinar el almidón mejora su sabor y suaviza y rompe las células de éste, lo cual facilita los procesos digestivos enzimáticos.

Importancia/función. Las metas dietéticas actuales recomiendan un 48% en el consumo de almidones en relación a la dieta total. Los almidones son menos cariogénicos. Más aún, estos polisacáridos reducen las posibilidades de una hipoglicemia reactiva. Debido a su estructura compleja, entran en la sangre lentamente, lo cual no aumenta súbitamente los niveles de glucosa en

la sangre ni estimula la producción exagerada y continua de insulina. Las féculas son fuentes de diversas vitaminas y minerales (particularmente en su forma granulada). Para los individuos que practican ejercicios regulares o deportes (recreativos o competitivos) de naturaleza aeróbica, los almidones representan la fuente de combustible metabólico preferido para la contracción muscular de las fibras/células de los músculos esqueléticos. Esto implica que la dieta para los atletas que participan en deportes de tolerancia aeróbica (e.g., maratonista, ciclistas, triatletas, nadadores de larga distancia, entre otros) se compone principalmente de almidones.

Fibra Dietética:

Descripción. Representan los alimentos que permanecen sin digerir al entrar en el intestino grueso. Las fibras son aquellos polisacáridos que forman del armazón interno de las plantas, son las estructuras que les dan soporte y constituyen lo que comúnmente llamamos bagazo. La dieta normal diaria de toda persona debe incluir de 20 a 35 gramos de fibra o de 10 a 13 gramos por cada 1000 kilocalorías (kcal) consumidas.

Características. Comúnmente no pueden ser digeridas por el ser humano. Las fibras resisten la acción de las enzimas gastrointestinales. Sin embargo, algunas de las bacterias que pueblan nuestro intestino grueso pueden digerirlas (particularmente las fibras solubles) parcialmente.

Función/Efectos Fisiológicos. La fibra que se consume posee la importante función de absorber el agua (hidrófila). Esto contribuye al aumento en la formación de la masa de las heces fecales, lo cual provee una función de laxante al aumentar la motilidad intestinal. Este pasaje acelerado de la masa alimenticia a través del tracto digestivo afecta la velocidad de absorción de diversos nutrientes en la mezcla alimenticia. El consumo diario de fibra también ayuda a la prevención de la auto-intoxicación causada por la acción bacteriana al actuar sobre productos de desecho de los alimentos. Algunas de las sustancias que no son de fibra proveen sustratos fermentables para las bacterias del colon, lo cual puede producir ácidos grasos volátiles y gas. Otro efecto fisiológico protector de la fibra consiste en enlazar ciertos materiales no celulósicos. Las fibras son capaces de enlazar sales biliares y colesterol y prevenir su absorción. Esta función puede reducir los niveles séricos de los lípidos y posiblemente ayudar en la prevención de las enfermedades cardiovasculares.

La fibra dietética ayuda a la saciedad (i.e., sentirse lleno o satisfecho después de una comida).

Esto es debido a que la fibra le añade masa a la mezcla de alimento. Además, los alimentos altos en fibra comúnmente toman más tiempo en consumirse. En ambos casos, se ayuda a controlar la cantidad de alimento ingerido, lo cual contribuye en el manejo/control de la obesidad y diabetes.

Por otro lado, el consumo exagerado de fibra puede producir ciertos efectos adversos en nuestro organismo. Si un alto consumo de fibra no se acompaña con una alta ingestión de agua, las heces fecales pueden endurecerse y ser difíciles y dolorosas de eliminar. Grandes cantidades de fibra dietética consumida puede enlazar minerales importantes, especialmente aquellos con una carga positiva, tales como calcio, cinc y hierro. Eventualmente, esto puede resultar en la deficiencia de estos minerales vitales. Para algunos individuos, la fibra puede inducir malestares gastrointestinales, tales como gas intestinal y fitobezoars. Ésta última son bolas grandes de fibras en el estómago, que resultan de su alto consumo. Finalmente, grandes cantidades de fibra dietética ingerida puede desarrollar un exceso en el tamaño de las masas alimenticias a nivel gastrointestinal, lo cual puede resultar en una reducción en el consumo de alimentos (y calorías) necesarios para el desarrollo y maduración normal de los niños.

Tipos. La fibra que se consume a través de los alimentos puede agruparse en dos principales categorías, a saber aquellas que son *insolubles* y las *solubles*.

- Bajo el grupo de las fibras insolubles encontramos a la *celulosa*, *hemicelulosa* y *ligninas*:

Celulosa: Es polímero de glucosa sin ramificar insoluble que puede absorber volúmenes de agua relativamente grandes. Alrededor del 43% de la celulosa que entra en los intestinos puede ser digerida por la flora bacteriana que se encuentra allí. Su estructura molecular posee cadenas largas rectas de unidades de beta D-glucosa unidas mediante enlaces-beta. La estructura de la cadena principal se compone de poliglican, un polímero de glucosa sin ramificaciones. La celulosa forma parte de las paredes celulares, tallos y hojas de las plantas. Abunda en los vegetales hojosos (e. g., lechuga, repollo, entre otros). La *celulosa cítrica* representa la parte blanca de las frutas cítricas (ejemplos: la naranja/china, toronja, limón, entre otras). Este tipo de fibra es el constituyente principal de la cascarilla (el *salvado* o "*bran*") externa de semillas y cereales (del trigo, maíz, entre otros), de las frutas (ej.: manzanas, peras) y vegetales (zanahoria). La celulosa ayuda a producir la masa necesaria para la acción peristáltica normal y eficaz (contracción muscular) de los intestinos; aumenta la masa de las heces fecales, no sólo por su propio volumen, sino porque además absorben gran cantidad de agua. Esta masa estimula los movimientos musculares del intestino, lo cual favorece la evacuación rápida y regular de las heces fecales, disminuyendo así el esfuerzo que hacen los vasos sanguíneos e intestinos. Esta función ayuda a reducir las probabilidades de constipación (estreñimiento) y a disminuir el peligro de

hemorroides (debido a que reduce la elevación de la presión colónica intraluminal) y de diverticulosis (pequeñas bolsas que se forman en el colon, y que pueden formar abscesos). Además, la fibra del tipo celulosa posee la importante función de prevenir ciertas enfermedades (e.g., incapacitantes (ejemplo: cáncer, aterosclerosis, entre otras). Diversas investigaciones han sugerido que posiblemente pueda ayudar a reducir la incidencia del cancer en el colon y las enfermedades cardiovasculares. La celulosa se enlaza con el Cinc.Comercialmente, la producción de flor de harina (proveniente de la celulosa cítrica) baja en calorías se utiliza para la preparación de pan y productos de repostería de dieta. Este tipo de fibra se caracteriza por ser hidrófilos, i.e., absorben agua como si fueran esponjas y aumentan notablemente de tamaño.

Hemicelulosa: Es el nombre genérico para una variedad de polímeros (compuestos de cadenas grandes) de azúcares de cinco carbonos. Las bacterias pueden digerir de 56-87 por ciento de la hemicelulosa que entra en el intestino grueso. La xilosa, manosa, galactosa, glucosa (cadenas en ramas) representan la estructura de su cadena principal. La hemicelulosa es parte estructural del material de las paredes de las plantas/vegetales y de la cascarilla externa (salvado) de las semillas, cereales íntegros y frutas. En legumbres (guisantes, lentejas) y otros granos (trigo, centeno, gandules, garbanzos, entre otros). Esta variedad de fibra absorbe agua y aumenta la masa de las heces fecales. La hemicelulosa favorece más que la celulosa el aumento del volumen de las heces. También, posee la función de reducir la elevada presión colónica. En adición, se enlaza con ácidos biliares. La "*psyllium*" es un tipo de hemicelulosa, la cual se encarga de absorber agua y acelerar el tiempo de tránsito en los intestinos. En la actualidad, la "*psyllium*" es utilizado como un suplemento de fibra añadido en muchos alimentos (pan, mantequilla de maní, entre otros).

Ligninas: Realmente no es un hidrato de carbono. Representa un grupo polímeros complejos (de unidades de fenilpropano) insolubles no perteneciente a la categoría de los hidratos de carbono. Se compone de un polímero fenilpropano, no-carbohidrato. Las ligninas son el principal componente de la estructura maderosa de las plantas. Estas fibras trabajan como antioxidantes y se enlazan con los ácidos biliares y metales.

- Bajo el grupo de las fibras solubles encontramos a la ***pectina*** y ***resina***:

Pectinas: Son polímeros solubles en agua que contienen un derivado de galactosa (ácido galactúrico). 95% de las pectinas pueden ser digeridas por las bacterias intestinales. El ácido galacturónico representa su estructura de la cadena principal. Se derivan de el cemento intercelular del material de las plantas, de las cáscaras y corazón de las manzanas, frutas cítricas, zanahorias y de las algas marinas. Las pectinas poseen propiedades coloidales, i.e., la capacidad para absorber agua y formar gel. Se enlazan con agua, cationes y ácidos biliares. Además pueden reducir la cantidad de grasa que absorbe el tracto digestivo (una prioridad en los programas de control de peso). Las pectinas y las avenas desmenuzadas reducen la concentración de colesterol sanguíneo con más eficacia que el salvado ("bran") de trigo. En el comercio, son usadas en la producción de jaleas y gelatina, y en ciertos productos farmacéuticos.

Resinas (gomas y mucilagos): Son representadas por goma de guar y goma de tragacanto. Representan polisacáridos altamente ramificados. Aún no se conoce bien su grado de digestión en el intestino grueso. Su cadena principal se

compone de ácido manoso galacturónico, y ácido ramnoso galacturónico. Las mucilagos contienen en adición, una molécula de arabinosa-xilosa. Se encuentran las secreciones de plantas, las gomas (salvado de avena, avena, cebada, habichuelas secas) y en los mucilagos (semillas). Entre sus funciones encontramos que sirven para disminuir el vaciado gástrico, forma gel, provee material fermentable para las bacterias colónicas con producción de gas y ácidos grasos volátiles, se enlaza con agua y los ácidos biliares Forman gomas vegetales (arábica, tragacanto, guar y xanthan); se utilizan en muchos productos como sustancias hidrófilas, espesadoras y estabilizadoras.

Valor/Importancia de los Hidratos de Carbono Complejos Altos en Fibra (e.e., Frutas, Vegetales, Legumbres, Productos de Grano Entero, Nueces, entre otros):

Reduce los desordenes y enfermedades gastrointestinales. La celulosa proveniente de alimentos tales como frutas, vegetales y granos cereales íntegros, aumenta la fortaleza de las paredes gastrointestinales, lo cual ayuda al movimiento normal gastrointestinal y a reducir los problemas de constipación. Dicho efecto también ayuda a reducir ciertas enfermedades del intestino grueso) y cáncer en el colon.

Reduce las enfermedades en las arterias coronarias del corazón. Las personas que ingieren alimentos ricos en fibra disminuyen su consumo de grasa y carbohidratos simples (factores de riesgo para las cardiopatías coronarias) y aumentan la evacuación de las grasas en sus heces (resultando en una disminución del colesterol sanguíneo); esto ayuda a prevenir la aterosclerosis.

Ayuda a controlar la azúcar de la sangre en personas diabéticas. La absorción de azúcar es lenta, debido a que se requiere tiempo para degradar los carbohidratos complejos.

Glucógeno (almidón animal):

Descripción. Es la forma en que los hidratos de carbono se almacenan en el cuerpo (músculo esquelético, hígado, cerebro, entre otros). Su estructura

Estructura. Su estructura altamente ramificada, con cadenas de 11 a 18 unidades de glucosa que componen en general la estructura molecular.

Lugares principales de almacenamiento del glucógeno en el ser humano. Las reservas principales de glucógeno en el organismo humano se encuentran en el hígado y en los músculos esqueléticos. Los almacenes hepáticos poseen alrededor de 70 gramos de glucógeno (1.2 milijulios ó 280 kilocalorías). Por otro lado, las reservas a nivel de las fibras musculoesqueléticas cuentan con aproximadamente 400 gramos de glucógeno (6.7 milijulios ó 1,600 kilocalorías). Otros lugares de almacenaje para el glucógeno son el tejido cardíaco, riñón, cerebro, entre otros.

Fuentes. Las carnes (tejido muscular) de animales sacrificados posee poco glucógeno porque desaparece durante la rigidez cadavérica. Otras fuentes alimentarias de glucógeno incluyen los mariscos (crustáceos), los huevos (Poseen pequeñas cantidades de glucógeno), las veneras y ostiones/ostras (contienen grandes cantidades de glucógeno).

Importancia/función. Toda la energética humana se fundamenta en la biosíntesis del glucógeno. El glucógeno ayuda a mantener los niveles de azúcar en la sangre a niveles normales durante períodos de ayuna (e. g., durante las horas de dormir) y provee una fuente inmediata de combustible para actividades musculares vigorosas. El glucógeno como nutriente en los alimentos posee poco valor.

Característica. El glucógeno puede fragmentarse en sus subunidades de D-glucosa por hidrólisis ácida o mediante las mismas enzimas que atacan al almidón. En los organismos vivos, la enzima fosforilasa cataliza la fragmentación del glucógeno (*glucogenólisis*) en ésteres de fosfato de la glucosa.

Dextrinas:

Descripción. Representan compuestos/fragmentos polisacáridos que se producen mediante la descomposición de los almidones en el proceso de formación de malta.

Estructura. Se compone de muchas unidades de glucosa unidas con ligaduras semejantes a las de la maltosa, y las cadena rectas del almidón. Son moléculas más pequeñas que los almidones.

Fuentes. Aparecen principalmente como productos intermedios en la hidrólisis de los almidones por acción enzimática o por cocción. Además, pueden encontrarse en el pan (pan tostado y pan Zwieback).

Importancia/función. El cuerpo digiere sin dificultad las dextrinas y metaboliza las moléculas de glucosa. Se utiliza para impedir la cristalización del azúcar en ciertos tipos de dulce.

EL ÍNDICE GLUCÉMICO (IG) DE LOS HIDRATOS DE CARBONO

Concepto

El índice glucémico representa una razón (proporción) que compara la habilidad relativa de un hidrato de carbohidrato en elevar los niveles de glucosa sanguínea con la habilidad del pan blanco (o glucosa) en aumentar los niveles de glucosa en la sangre.

Es un índice que mide el grado en el cual la glucosa sanguínea se eleva sobre los niveles basales durante un período de tiempo luego de haber ingerido un alimento que contenga 50 gramos de carbohidratos. La magnitud del aumento en la glucosa sanguínea se expresa como un por ciento relativo al aumento observado luego de consumir un tipo de hidrato de carbono estándar (e. g., pan blanco o glucosa), el cual se tasa/valora como 100.

Fórmula

El índice glucémico de un tipo de hidrato de carbono que se ha consumido se puede estimar al dividir el nivel de glucemia (glucosa sanguínea) luego de dos horas de la última comida entre el nivel de glucemia posterior a las dos horas de haber ingerido pan blanco. Su ecuación es la siguiente:

$$IG = \frac{\text{Glucosa Sanguínea luego de 2 hrs de haber Comido}}{\text{Glucosa Sanguínea luego de 2 hrs de Comer Pan Blanco}}$$

Clasificación de los Valores (por ciento) del Índice Glucémico de los Alimentos

Una vez se ha determinado el valor del IG del tipo de hidratos de carbono consumido, se podrá determinar si éste es alto, moderado o bajo.

Alto Índice Glucémico:

Se considera que el IG es alto si la razón excede el 85 por ciento. Los hidratos de carbono agrupados bajo esta categoría son la azúcar de caña, miel de abeja, pasas, papas, bebida con una concentración de polímero de glucosa (maltodextrin) de 20% .

Moderado Índice Glucémico:

Si el hidrato de carbono se encuentra entre 60 y 85 por ciento, entonces se puede decir que éste posee un moderado IG. Ejemplo de algunos alimentos bajo esta clasificación encontramos la avena, arroz, espagueti, pan de centeno de grano íntegro, uvas, chinas, maíz, habichuelas, entre otros.

Bajo Índice Glucémico:

Un IG menor de 60 por ciento se clasifica como un índice alto. Bajo este grupo de alimentos se hayan las manzanas, peras, ciruelas, dátiles, toronja, garbanzos, guisantes, lentejas rojas, leche descremada e íntegra, yogurt (sin nada), entre otros..

Tabla 1a

ÍNDICE GLUCÉMICO DE LOS ALIMENTOS

Alimento	Índice	Alimento	Índice
<i>Granos y Cereales:</i>		<i>Vegetales:</i>	
Pan blanco	100	Papa horneada	135
Pan integral	99	Papas instantáneas	116
Arroz integral	96	Papas nuevas	81
arroz blanco	83	Batatas mameyas	74
Espaguetti blanco	66	Guisantes congelados	74
<i>Cereales de Desayuno:</i>		Batatas blancas	70
Hojuelas de maíz	119	<i>Legumbres secas:</i>	
"Shredded Wheat"	97	Habichuelas enlatadas cocinadas	60
"All Bran"	73	Habichuelas coloradas	54
Avena	85	"Butter bean"	52
<i>Frutas:</i>		Garbanzos	49
Pasas	93	Lentejas	43
Guineos	79	Habichuelas soyas	20
Jugo de china	67	<i>Productos Lácteos:</i>	
Chinas	66	Mantecado	52
Uvas	62	Yogurt	52
Manzanas	53	Leche íntegra	49
Peras	47	Leche descremada	46
Melocotón	40		
Toronjas	36		
Ciruelas	34		

Modificado por: Jenkins, D.A., y otros. "The Glycemic Response of Carbohydrate Foods. *Lancet*, 2 (388), 1984.

Tabla 1b

ÍNDICE GLUCÉMICO DE LOS ALIMENTOS: * Endulzadores *

ALIMENTO	ÍNDICE GLUCÉMICO
Maltosa	152
Glucosa	138
Miel de abeja	126
Sucrosa	86
Fructosa	30

Modificado por: Jenkins, D.A., y otros. "The Glycemic Response of Carbohydrate Foods. *Lancet*, 2 (388), 1984.

Predicciones Utilizando el Índice Glucémico de un Alimento

Los alimentos que poseen un bajo índice glucémico son aquellos que al ingerirse causan un aumento gradual en los niveles de glucosa sanguínea. Las predicciones del IG dependerá de los siguientes factores:

1. *La cantidad de fibra dietética en el alimento:*

Algunos alimentos (ejemplo: la avena) contiene una alta cantida de fibra soluble. Este tipo de fibra dietética causa que el alimento en el intestino se transforme en gel, lo cual produce una reducción en el aumento de la glucosa sanguínea luego de consumir el alimento.

2. *La velocidad de la digestión de los alimentos:*

Algunos alimentos (e.g., la papa) son rápidamente digeridos, ocasionando un rápido aumento en la glucosa sanguínea luego de comer.

3. *El contenido total de grasa en el alimento:*

El mantecado posee un índice glucémico bajo (52) en comparación con el pan (100). La razón de esto se debe a la alta cantidad de grasa que posee el mantecado. La grasa reduce la velocidad del vaciado gástrico.

ENDULZADORES ARTIFICIALES

Ciclamato

Este endulzador artificial fue prohibido en el 1970 por la "Federal Drug Administration" (FDA) debido a su relación con cáncer y defectos de nacimiento. Los oficiales de la FDA establecen que una sustancia prohibida puede volver al mercado si hallazgos de investigaciones prospectivas (en el futuro) así lo ameritan.

Sacarina

Representa el primer sustituto de azúcar manufacturado. Se caracteriza por ser 300 veces más dulce que la azúcar de mesa. Su nombre comercial es "*Sweet'nLow*." Investigaciones con animales de laboratorio han encontrado cáncer en la vejiga cuando este endulzador se administraron en altas dosis (e.g., 850 latas de soda por día) de sacarina, particularmente animales expuestos en la segunda generación. En el 1977 la FDA trató de prohibir la venta de sacarina debido a su relación con cáncer. Debido a la demanda de la gente por este tipo de endulzador, el congreso de los Estados Unidos evitó que la FDA prohibiera la venta de sacarina.

Aspartame

Representa un endulzador artificial creado en el 1981 compuesto de dos aminoácidos fenilalaninos y ácido aspártico, con la adición de metanol. Sus nombres comerciales son "*NutraSweet*" (cuando se añade a los alimentos) e "*Equal*" (cuando se vende como azúcar granulada). El aspartame provee 4 kilocalorías por gramo. Esto se debe a que, debido a que principalmente se compone de aminoácidos, pertenece al grupo de las proteínas. La capacidad endulzadora el aspartame es de 180 a 200 veces más dulce que la sucrosa. Su metabolismo sigue la misma vía metabólica que la proteína dietética. Esto se debe a que los aminoácidos que compone el aspartame se encuentra también en las carnes, productos lácteos y vegetales. Actualmente, el aspartame es utilizado en bebidas, postres de gelatina, gomas de mascar, entre otros. Nunca ha sido vinculado con cáncer. Sin embargo, se han reportado alrededor de 4,000 quejas al FDA de consumidores de este endulzador. Estos individuos se quejan de dolores de cabeza, mareos, convulsiones, reacciones alérgicas, entre otros. Este grupo de personas sensitivos al aspartame es relativamente pequeño con la demás población de norteamericanos. Las conclusiones de los resultados de experimentos bien controlados, e dudó si el aspartame causaba dolor de cabeza. Los niveles de aminoácidos sanguíneos pueden aumentar a niveles muy altos si el aspartame no se consume con otros aminoácidos que comúnmente se encuentra en los alimentos proteínicos. Según la FDA, el consumo diario seguro de aspartame es de 50 miligramos por kilogramo

del porso corporal por día; esto equivale al consumo de 14 latas de gaseosas de dieta por día en un adulto.

Aquellas personas que padecen de fenilketonuria (particularmente los niños) no pueden metabolizar el fenilalanino que contiene el aspartame.

Acesulfame ("Sunette")

Representa el edulzador artificial más reciente aprobado en el 1988 por la FDA, el cual no provee kilocalorías en la dieta debido a que no se degrada en el cuerpo. Es 200 veces más dulce que la sucrosa. Se emplea en gomas de mascar, bebidas en polvo, gelatinas, pudín, y cremas no lácteas. Puede ser utilizado para hornear, mientras que el aspartame no, debido a que el aspartame se degrada cuando se calienta. Ciertas investigaciones científicas con animales han encontrado que este edulzador induce neoplasmas malignos (cáncer). No obstante, la FDA analizó estos estudios y concluyeron que son de esperarse estos tumores cancerosos encontrados en las especies de animales utilizados, lo cual le dio el visto bueno para su venta.

DIGESTIÓN DE LOS HIDRATOS DE CARBONO

Boca

La masticación muele los alimentos, convirtiéndolos en pequeñas partículas que mezcla con la saliva. En un ambiente de pH alcalino, la enzima (alfa-amilasa) de la saliva (ptialina), la cual es secretada por la glándula parótida, comienza a hidrolizar/degradar el almidón moléculas en moléculas más pequeñas (dextrinas y maltosa).

Estómago

Aquí se lleva a cabo la digestión mecánica mediante las contracciones sucesivas (peristalsis) de las fibras musculares localizadas en la pared del estómago. Esta acción mezcla las partículas de comida con secreciones gástricas para que la actividad química de la digestión se lleve a cabo eficientemente. Las secreciones gástricas ácidas (ácido clorhídrico) contrarresta/interrumpe la actividad alcalina de la alfa amilasa. Finalmente, a nivel gástrico, se forma el quimo, i.e., una masa densa y cremosa (semilíquida) lista para pasar al duodeno (primera parte del intestino delgado).

Intestino Delgado

En este tracto digestivo se reciben secreciones exocrinas provenientes del páncreas (desde el duodeno) y del mismo intestino. Las secreciones pancreáticas (vía el conducto común biliar) llegan hasta el duodeno. La alfa-amilasa pancreática continúa el degradamiento del almidón en maltosa.

El jugo intestinal (producidos por las secreciones intestinales) contienen tres disacáridos (sacarosa, lactosa y maltosa), los cuales actúan sobre sus respectivos disacáridos para transformarlos en monosacáridos (glucosa, galactosa y fructosa), de manera que se encuentren listos para ser absorbidos hacia la circulación sanguínea portal (entrada hacia la circulación portal de la sangre vía el hígado). Una vez absorbidos, todos los monosacáridos se convierten en glucosa. Si se encuentran en exceso para su necesidad inmediata de energía, la glucosa se convierte en glucógeno o grasa.

ABSORCIÓN DE LOS HIDRATOS DE CARBONO

Forma Estructural en que se Absorben Hacia el Torrente Sanguíneo

Los hidratos de carbono son absorbidos principalmente en la forma de glucosa, con algunos azúcares de galactosa y fructosa.

Areas/Superficie Intestinal (Delgado) de Absorción

Millones de protuberancias capilares (proyectan en forma de dedo de la membrana mucosa) permite que el 90% de los materiales alimenticios digeridos sean absorbidos.

Intestino Grueso

En el tubo gastrointestinal que corresponde al intestino grueso, solamente se realiza la absorción de agua.

Destino Final de los Monosacáridos Absorbidos

Los azúcares simples pasan al hígado. En el hígado, la fructosa y la galactosa se transforman en glucosa, mientras que la glucosa se convierte en glucógeno. El glucógeno se vuelve a convertir en glucosa si el cuerpo lo necesita.

METABOLISMO DE LOS HIDRATOS DE CARBONO

Destino Metabólico de los Carbohidratos que entran en la Sangre

Glucosa:

Efectos fisiológicos de la glucosa que entra en el torrente sanguínea procedente de los enterocitos. Ocurren cambios hormonales, tales como aumento rápido en la liberación de insulina y la disminución en la liberación de glucagón. Como consecuencia de estos cambios hormonales ocurre la incorporación de glucosa al tejido muscular y adiposo y un aumento en la síntesis hepática y muscular de glucógeno. La insulina estimula la formación de la enzima glucógeno sintetasa desfosforilada (forma activa de la enzima glucógeno sintetasa), la cual promueve la formación de glucógeno (glucogénesis).

Distribución por centual del destino de la glucosa que ingresa en la sangre. De 10-15 por ciento va dirigido a satisfacer las necesidades energéticas basales (en reposo) de los músculos y otros tejidos. 25 por ciento se conduce hacia el cerebro las células sanguíneas (globulos rojos). El 60 por ciento termina en el hígado (vía circulación portal). En este órgano, la glucosa se fosforila (proceso de fosforilación regulado por la enzima glucoquinasa) a **glucosa-6-fosfato**. Esta molécula eventualmente puede emplearse para la **glucogénesis** (síntesis de glucógeno y almacenamiento hepático y muscular) o para su **oxidación** vía glucólisis (con formación de ácido pirúvico y/o ácido láctico) y ciclo de Krebs/ciclo de los ácidos Tricarboxílicos (vía también común para los ácidos grasos y aminoácidos).

En resumen del destino metabólico de la glucosa ingerida pueden ser los siguientes:

- Glucogénesis a nivel hepático y musculoesquelético.
- Glucólisis.
- Oxidación vía Ciclo de Krebs.
- Conversión a ácidos grasos y almacenamiento como triglicéridos.
- La sangre (glucosa libre sanguínea).

Fructosa:

La fructosa entra en el hígado. Aquí se convierte en una fuente directa de carbonos para la construcción de ácidos grasos y triglicéridos. Cuando fructosa es la única azúcar consumida (o cuando así lo demande el cuerpo durante o después de un ejercicio intenso), la fructosa se

convierte en ácido pirúvico y/o en glicerofosfato (siguiendo la inversión de la glucólisis) para la formación de glucosa (en el hígado) o glucosa 6-fosfato (en el músculo).

Galactosa:

Glucogénesis hepático y musculoesquelético. Luego de ser convertida en uridín difosfatoglucosa, se utilizará como elemento glucogénico en el hígado y los músculos.

Fuentes de Glucosa Plasmática

Glucogenólisis Hepática y Musculoesquelética:

La glucosa de la sangre puede provenir de la descomposición/degradamiento del glucógeno a glucosa. El 75% de la glucosa en la sangre proviene de la glucogenólisis procedente del glucógeno almacenado en el hígado.

La glucogenólisis se dependerá de la intervención de ciertas hormonas, a saber: el **glucagón** y las **catecolaminas** (particularmente la **epinefrina**). El glucagón promueve la glucogenólisis mediante la acción de la adenosina monofosfatada cíclica (AMPc). El mecanismo de acción de las catecolaminas se produce mediante el efecto alfa-adrenérgico por vía de los iones de calcio (Ca^{++}) y el efecto beta-adrenérgico canalizado por la AMPc. La epinefrina (adrenalina) activa la fosforilasa e inhibe la sintetasa, lo cual produce glucosa-1-Fosfato. Otros posibles procesos metabólicos para los efectos glucogénicos o catabólicos que poseen de las catecolaminas incluye la inhibición de la liberación de insulina (efecto alfa-adrenérgico) y el aumento en los niveles de AGL.

Gluconeogénesis:

Descripción. Este proceso representa la formación de glucosa a partir de lactato (vía ciclo de Cori), proteínas (aminoácidos desaminados, tales como alanina y glutamina) y grasas/lípidos (el glicerol que compone los triglicéridos). El 25% de la glucosa sanguínea procede de la gluconeogénesis.

Funciones. Durante estados de inanición (de pasar hambre) o períodos de consumo limitado de carbohidratos, donde los niveles del glucógeno son bajos, la gluconeogénesis juega un papel importante en el mantenimiento de una concentración adecuada de la glucosa sanguínea. Durante un ejercicio severo, cuando los altos niveles de las catecolaminas han movilizado reservas de hidratos de carbono y de lípidos, la vía gluconeogénica permite la utilización de lactato de la glucólisis, y la de glicerol que proviene del degradamiento de las grasas (específicamente, de los triglicéridos). Por otro lado, cuando ocurre la acidosis metabólica, la gluconeogénesis renal (en el riñón)

permite la excreción de un elevado número de protones. La gluconeogénesis permite que la proteína dietética (la que se consume en la dieta) pueda utilizarse en las vías metabólicas de los carbohidratos, después de haber eliminado en la urea el nitrógeno de los aminoácidos.

Hormonas que promueven la gluconeogénesis. Entre éstas se encuentran el *glucagon*, los *glucocorticoides*, la *adrenocorticotrofina (ACTH)* y la *hormona de crecimiento*. El glucagón trabaja mediante la desactivación por AMPc de la piruvatoquinasa y el aumento de los niveles sanguíneos de los ácidos grasos libres (AGL). Los AGL inhiben la captación de glucosa y estimulan la gluconeogénesis. Por otro lado, la hormona de crecimiento disminuye la captación de glucosa debido a la reducción de la sensibilidad a la insulina, de manera que aumentan en los niveles de AGL y el estímulo a la gluconeogénesis.

Los glucocorticoides promueven la gluconeogénesis a través de una variedad de mecanismos, los cuales serán descritos a continuación:

- Aumento en el flujo de sustratos de aminoácidos a partir de la degradación de las proteínas musculares. El mecanismo de desaminación en la gluconeogénesis (catalizado por la cortizona) resulta de la promoción para la formación de glucosa que inducen los corticosteroides.
- Inducción a la síntesis hepática de enzimas gluconeogénicas (e. g., transaminasas, piruvato carboxilasa, glucosa-6-fosfatasa).
- Disminución en la captación de glucosa. Mecanismo que resulta por la disminución de la sensibilidad de la insulina (regulación en menos receptores). Aumento en los niveles de AGL. Esto favorece la acción lipolítica que poseen las catecolaminas.

Glucosa Sanguínea:

Obviamente, la glucosa que se encuentra en la sangre representa una fuente directa para la glucosa plasmática.

La Dieta (Alimentos Consumidos):

Una fuente importante para la glucosa del plasma es suministrada a través de los alimentos (particularmente hidratos de carbono) que se ingieren diariamente.

Fuentes principales incluyen aquellos alimentos que contengan monosacáridos, disacáridos y polisacáridos.

Los alimentos que contengan aminoácidos gluconeogénicos pueden ser transaminados para convertirse en ácido pirúvico y eventualmente en glucosa. Además, éstos pueden contribuir con una cierta proporción de átomos de carbono para la gluconeogénesis.

Otra fuente son los alimentos que contengan triglicéridos. El glicerol liberado de los triglicéridos puede convertirse fácilmente en glucosa en el hígado.

Organos que Contribuyen a la Regulación de la Glucosa Sanguínea

Hígado:

- Absorbe los monosacáridos vía vena porta hepática. Casi todos son convertidos por isomerasas a glucosa.
- Actúa como un regulador o amortiguador de la glucosa sanguínea mediante diversos mecanismos, a saber 1) glucogénesis, 2) gluconeogénesis, y 3) glucogenólisis.
- Activación de la glucosa (adición de fosfato inorgánico). La glucosa fosforilada (adición de fosfato inorgánico) activa la glucosa en el hígado. Esta glucosa fosforilada puede entrar la vía glucolítica o quedar almacenada como glucógeno.

Músculo esquelético:

Los músculos esqueléticos actúan como un consumidor metabólico de la energía derivada de la degradación de la glucosa. Además, representan la reserva principal de glucógeno.

Páncreas:

Este órgano sintetiza y secreta tres tipos de hormonas importantes encargadas de regular la homeostasia de la glucemia. Estas son: la insulina, el glucagón y la somatostatina. El nivel de glucosa circulante será el factor regulador de estas hormonas

Las **células beta** (β) del páncreas producen insulina. La insulina regula el azúcar sanguíneo a través de los siguientes mecanismos:

- **Glucogénesis.** Estimula la conversión de glucosa a glucógeno en el hígado, de manera de poder mantener una reserva constante de energía.
- **Lipogénesis.** Estimula la conversión de glucosa a grasa para su almacenaje en el tejido adiposo.
- **Permeabilidad Celular a la glucosa.** Aumenta la permeabilidad celular a la glucosa, de manera de poder permitir su transporte de los líquidos extracelulares hacia las células para su oxidación y suministro energía según se necesite.
- **Fosforilación.** Influencia el paso inicial y necesario de acoplamiento con el fósforo, lo cual permite a la glucosa entrar a la vía metabólica de la célula con fines de producción de energía.
- **Síntesis de proteína.** Promueve la síntesis de proteína como resultado indirecto del aumento energético que requiere la oxidación de la glucosa, lo cual se encuentra disponible para la construcción de tejidos.

Las **células alfa** del páncreas sintetiza la hormona conocida como glucagón. Su acción es opuesta a la de la insulina, i.e., induce un aumento en el degradamiento del glucógeno para formar glucosa (glucogenólisis). El glucagón mantiene a niveles normales la glucosa sanguínea

durante el estado de ayuno en que se encuentra el cuerpo al dormir por la noche.

Finalmente, las **células delta** produce somatostatina, la cual suprime la acción de la insulina y glucagón. Esto ayuda a mantener a niveles normales la glucosa sanguínea a actuar como un modulador general de actividades metabólicas relacionadas.

Glándula suprarrenal:

La **médula suprarrenal** secreta epinefrina y tan solo pequeñas cantidades de norepinefrina (noradrenalina). Los factores reguladores/control de la epinefrina incluyen parcialmente el nivel de glucosa en la sangre y la inervación simpática (sistema nervioso central) Éste último consiste de la estimulación por fibras colinérgicas preganglionares del sistema nervioso simpático.

Una de las acciones/funciones de la epinefrina es de estimular la glucogenólisis (hepática y muscular). Esto aumenta la glucosa y el lactato en la sangre. Otra función consiste en aumentar la secreción de la adrenocortropina (ACTH)

La norepinefrina actúa principalmente como neurotransmisor del sistema nervioso central y simpático.

La **corteza suprarrenal** produce glucocorticoides, los cuales son estimulados cuando el nivel de glucosa es bajo en la sangre. Estas hormonas (ejemplo: la cortizona) desvían el metabolismo de las proteínas y grasas, de manera que puedan proveer sustratos glucolíticos (gluconeogénesis):

Específicamente, las hormonas glucocorticoides liberan unidades de carbono provenientes del metabolismo de los aminoácidos, los cuales son necesarios para la síntesis de glucógeno vía gluconeogénesis. En adición, actúan como antagonistas de la insulina, bloqueando su efecto de bajar la glucosa sanguínea.

Adenohipófisis (hipófisis/pituitaria anterior):

Esta estructura sintetiza dos hormonas importantes que regulan la glucemia, a saber la hormona de crecimiento (somatotropina) y la hormona adrenocorticotrófica (ACTH).

Una disminución en el nivel de glucosa sanguínea dispara un estímulo a la adenohipófisis para que secrete la hormona de crecimiento (somatotropina). Este tipo de hormona inhibe la utilización de la glucosa por el músculo esquelético, lo cual resulta en un aumento en la glucosa sanguínea.

Por otro lado, la adrenocorticotrófica (ACTH) actúa como un antagonista de la insulina.

Tiroides:

La tiroides produce tiroxina. esta hormona se encarga de aumentar en términos generales el metabolismo celular. Esto afecta el grado de captación de la glucosa sanguínea.

Específicamente, la tiroxina:

- Afecta la velocidad de la destrucción de la insulina.
- Aumenta la absorción de glucosa del intestino.
- Estimula la liberación de epinefrina.

Hipotálamo:

A nivel del hipotálamo se sintetiza la hormona somatostatina, la cual inhibe directamente la secreción de insulina y glucagón.

Regulación de la Captación de la Glucosa del Plasma

Transporte de Glucosa a través de las Membrana Celulares:

La insulina efectúa la captación de glucosa mediado por un mecanismo de transporte mediado por un transportador.

Factores que Influyen sobre las Velocidades de Captación de Glucosa:

Nivel de glucosa plasmática - autoregulación. Incluso en ausencia completa de insulina, la captación de glucosa continúa en todos los tejidos.

Acidos grasos libres (AGL). Reducen la velocidad de captación de glucosa por los músculos cardíacos y esquelético a cualquier nivel de insulina.

Trabajo muscular - contracción musculoesquelética. Aumentan la velocidad de captación de glucosa en los músculos esqueléticos a cualquier nivel de ésta en la sangre.

Efectos hormonales. A continuación se enumeran las hormonas que influyen en la velocidad de captación de la glucosa:

- **Insulina.** Aumenta directamente la velocidad de transporte de glucosa dentro de la células.
- **Glucocorticoides.** Disminuyen la captación de glucosa en los tejido periféricos. La cortizona ayuda a esta función indirectamente por medio del aumento en la liberación de los AGL desde el tejido adiposo.
- **Catecolaminas.** Reducen la captación de glucosa por los tejidos. Tienen un efecto indirecto sería el aumento en los niveles plasmáticos del AGL.
- **Hormona de crecimiento.** Efecto agudo (1 a 2 horas). Durante este tiempo aumenta la captación de glucosa. En el efecto crónico (a largo plazo), disminuye la captación de glucosa por parte de los tejidos musculoesqueléticos y adiposo.
- **Somatostatina.** Inhibe la liberación de glucagón e insulina y la absorción intestinal de glucosa.

Factores que Influyen sobre la Velocidad de Liberación Hepática de Glucosa:

Regulación de la síntesis y degradación del glucógeno. Las siguientes hormonas afectan el control para la producción y catabolismo de los almacenes de glucógeno en el organismo:

- **Glucagon.** Representa el estímulo fisiológico más importante para la degradación del glucógeno y para la liberación de glucosa a partir del hígado.
- **Catecolaminas.** Aumentan la degradación del glucógeno. Paralelamente las catecolaminas inhiben la liberación de insulina.
- **Insulina.** Favorece la acumulación de glucógeno e inhibe su degradación. Desde esta premisa, la insulina: 1) contrarresta los efectos del glucagón y de las catecolaminas, 2) favorece la captación de glucosa por el hígado y 3) inhibe la liberación de glucosa hepática.

Regulación de la gluconeogénesis y glucólisis. Bajo este aspecto, existen efectos directos vía modificación de las actividades enzimáticas y efectos indirectos vía modificación de la llegada de sustratos gluconeogénicos (aminoácidos, lactato, glicerol) al hígado. Estos sustratos son convertidos en glucosa.

- **Glucagón.** Tiene efectos tanto directos como indirectos. Los efectos directos estimula la conversión de ácido pirúvico en fosfoenolpiruvato. El efecto indirecto se encarga de movilización de los AGL.
- **Epinefrina (adrenalina).** La epinefrina aumenta la gluconeogénesis. Directamente estimula la conversión del ácido pirúvico en fosfoenolpiruvato. Indirectamente aumenta la movilización de los AGL para el estímulo de la gluconeogénesis vía el glicerol.
- **Insulina.** suprime la gluconeogénesis a través de los siguientes mecanismos: 1) reducción del flujo de aminoácidos desde el músculo, 2) disminución en los niveles de AGL, y 3) reducción en la actividad de la glucosa-6-fosfatasa y otras enzimas gluconeogénicas.
- **Cortizona.** Indirectamente aumenta la gluconeogénesis vía catabolismo de las proteínas, de manera que se provean al hígado aminoácidos gluconeogénicos.
- **Acidos grasos libres (AGL).** Canalizan sustratos gluconeogénicos hacia la glucosa-6-fosfato.

Esquema General del Proceso Metabólico de la Glucosa Sanguínea

Glucólisis:

Descripción. Proceso enzimático mediante el cual se degrada la glucosa (contiene seis carbonos) en dos moléculas de ácido pirúvico (contiene tres carbonos) efectuado en el citoplasma de la célula. Es una vía oxidativa anaeróbica (que no requiere oxígeno).

La glucólisis puede ser de naturaleza anaeróbica o aeróbica. La glucólisis anaeróbica representa el nombre que se le asigna a la glucólisis cuando éste proceso se lleva a cabo sin la presencia de oxígeno. Por el contrario, el proceso metabólico de la glucólisis aeróbica se

realiza con la presencia de oxígeno. La producción neta que resulta del proceso de glucólisis (anaeróbica o aeróbica) es la aenosina de trifosfato (ATP).

Etapas/fases. La glucólisis se pueden desglosar en dos fases generales. La primera se encarga de la conversión de hexosa a triosa fosfatada. esta es una serie de reacciones que requiere el gasto de dos moléculas de ATP por cada molécula de hexosa degradada. a segunda fase consiste en la conversión de triosa fosfatada a ácido pirúvico. Esta etapa representa el proceso durante el cual dos moléculas de ATP son producidas por cada molécula de triosa fosfatada convertida en ácido pirúvico, o cuatro moléculas de ATP por cada molécula de hexosa utilizada.

Resumen del control enzimático de la glucólisis. A continuación una descripción breve concerniente a la regulación enzimática que se lleva a cabo durante la glucólisis. Básicamente, las enzimas involucradas son, a saber: hexoquinasa, fosfofructoquinasa y quinasa pirúvica:

- **Hexoquinasa.** Es aloestéricamente inhibida por glucosa 6-fosfato. Limita la fosforilación si la glucosa 6-fosfato no es utilizada.
- **Fosfofructoquinasa.** Representa la enzima regulatoria principal en la mayoría de los tejidos. Es Inhibida por ATP y citrato aloestéricamente, y también por iones de hidrógeno (H⁺). La glucólisis es limitada por una carga celular alta o por un exceso de citrato más allá del aquel utilizado para la síntesis de los ácidos grasos. La inhibición se cancela mediante ADP, AMP, y Pi.
- **Quinasa pirúvica.** Es inhibida por ATP, alanina, ácidos grasos y acetyl CoA. Se encuentra presente en el hígado como una isoenzima, la cual es fuertemente activada por FDP. Es regulada vía fosforilación y defosforilación mediante la quinasa proteínica dependiente de AMP-cíclico y fosfatasa, respectivamente. Se encuentra inactiva cuando es fosforilada.

Ciclo de Krebs o Ciclo Tricarboxílico:

Descripción. Es la vía común para el catabolismo de los carbohidratos, grasas y proteínas, con la participación de oxígeno. Provee más del 90% de la energía del cuerpo. se lleva a cabo en las mitocondrias. El punto de entrada de los substratos al ciclo de Krebs ocurre cuando entra a esta vía metabólica el acetyl-CoA. Este compuesto producido se une al oxalacetato y resulta en el ácido cítrico, que se transformará en ácido isocítrico, oxalosuccínico, alfa-cetoglutárico, fumárico y málico.

Resumen de las reacciones que se llevan a cabo: Las reacciones que intervienen durante el ciclo de Krebs serán se descritas brevemente a continuación:

- **Acetyl-CoA.** Diversas vitaminas del complejo B están envueltas en la formación de acetyl-CoA. Este compuesto representa el enlace principal que integra el metabolismo de los carbohidratos, grasas y proteínas, puesto que la acetyl-CoA puede ser formada también de ácidos grasos y ciertos aminoácidos.

- **Oxaloacetato (ácido oxaloacético)**. Este compuesto clave es formado del ácido pirúvico, así como de ciertos aminoácidos, y reacciona con acetil-CoA para formar ácido cítrico. Oxaloacetato representa el combustible de carbohidrato necesario para mantener funcionando el ciclo energético clave.

Resultado Final. Los productos finales del ciclo de Krebs son:

- Producción de adenosina de trifosfato (ATP). Se producen 36 moléculas de ATP por cada mol de glucosa oxidado.
- Bióxido de carbono (CO₂).
- Agua (H₂O).

REFERENCIAS

Bullock, J., Boyle, J. III, & Wang, M. B. (Eds.) (1984). *Biochemistry: The National Medical Series for Independent Study* (pp. 147-162, 165-174, 205-212). Pennsylvania: Harwal Publishing Company.

Clark, N. (1993). How safe are artificial sweeteners?. *The Physician and Sportsmedicine*, *21*(2), 45-46.

Coyle, E. F. & Coyle, E. (1993). Carbohydrates that speed recovery from training. *The Physician and Sports Medicine*, *21*(2), 111-123.

Garrison, R. H., Jr., & Somer, E. (1985). *The Nutrition Desk Reference (NDR)* (pp. 13-21, 127-134). Connecticut: Keats Publishing, Inc.

González-Ruano, E. (1986). *Alimentación del Atleta* (pp. 25-48). Madrid, España: Editorial Marban, S.A..

Guthrie, H. A. (1989). *Introductory Nutrition* (5ta. ed., pp. 69-97). St. Louis: The C.V. Mosby Co..

Guyton, A. (1977). *Tratado de Fisiología Médica* (5ta. ed., pp. 898-909). México: Nueva Editorial Interamericana.

Kerschner, V. L. (1984). *Nutrición y Terapéutica Dietética* (pp. 65-74). México: Editorial el Manual Moderno.

Mitchell, H. S., Rynbergen, H. J., Anderson, L., & Dibble, M. V. (1978). *Nutrición y Dieta de Cooper* (16ma. ed., pp. 12-23). México: Editorial Interamericana.

Scheider, W. (1985). *Nutrición: Conceptos Básicos y Aplicaciones* (pp. 35-70). México: McGraw Hill.

Strand, F. L. (1982). *Fisiología Humana: Un Enfoque Hacia los Mecanismos Reguladores* (pp. 390-400). México: Editorial Interamericana.

Suiter, C. W. & Crowleu, M. F. (1984). *Nutricion: Principles and Application in Health Promotion* (2da. ed., pp.34-35, 59-62). Philadelphia: J.B. Lippincott Company..

Terrados C. N. (1992). Metabolismo energético durante la actividad Física. En: J. Gallego González (Ed.). *Fisiología de la Actividad Física y del Deporte* (pp 75-94). Madrid: McGraw-Hill-Interamericana de España..

West, J. B. (1986). *Best y Taylor Bases Fisiológicas de la Práctica Médica* (11ma. ed. pp 923-938). Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.

Williams, S. R. (1985). *Nutrition and Diet Therapy* (pp. 21-49, 257-261, 269-270). St Louis: Times Mirror/Mosby College Publishing Co.

Zamora Navarro, S., Sánchez De Medina, F., Gil Hernández, A., Antonio, J., & Pérez, M. (1992). Nutrición y dietética en la actividad física. En: J.Gallego Gomzález (Ed.). *Fisiología de la Actividad Física y del Deporte* (pp. 19-51). Madrid: McGraw-Hill-Interamericana de España., 1992.