

Tema 3

Hidratos de carbono

Dr. Alfredo Fernández Quintela
Dpto. Farmacia y Ciencias de los Alimentos
Universidad del País Vasco (UPV/EHU)

Hidratos de carbono

- ▶ Definición, clasificación y composición
- ▶ Funciones en el ser humano
- ▶ Digestión, absorción y metabolismo
- ▶ Regulación del metabolismo
- ▶ Fuentes y recomendaciones
- ▶ Bibliografía

Generalidades

- ▶ Compuestos formados por **C, H y O**: fórmula empírica $C_n (H_2O)_n$
 - No se aplica a oligosacáridos, polisacáridos y polialcoholes (sorbitol, maltitol, manitol, galactitol y lactitol)
- ▶ Aportan entre un **40-75 % de la ingesta energética**
- ▶ Elevada **digestibilidad**
- ▶ Presencia en la dieta inversamente proporcional a los **ingresos económicos**

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Tipos de clasificación

- ▶ En términos de su **papel fisiológico o nutricional**,
 - **Asimilables**
 - Digeribles y absorbibles
 - **No asimilables**
 - No son hidrolizados y algunos fermentables
- ▶ En términos de su **grado de polimerización**,
 - **Hidratos de carbono sencillos** (monosacáridos, disacáridos y polialcoholes)
 - **Oligosacáridos** (3 a 10 unidades)
 - **Polisacáridos** (de 10 a miles de unidades)

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Hidratos de carbono sencillos. Monosacáridos

- ▶ No pueden ser desdoblados por hidrólisis
- ▶ Su cadena puede constar de 3, 4, 5, 6 y 7 átomos de carbono (triosas, tetrosas, pentosas, hexosas y heptosas)
- ▶ Las más importantes en nutrición son las **pentosas** y las **hexosas**

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Hidratos de carbono sencillos. Monosacáridos. Pentosas

- ▶ **No** pueden considerarse una **fente de energía** para el organismo humano
- ▶ Las **principales** pentosas son:
 - *D-xilosa*: estructuras de los vegetales
 - *L-arabinosa*: frutas y raíces
 - *D-ribosa*: ácidos nucleicos y nucleótidos del citoplasma
 - *Desoxirribosa*: ácidos nucleicos
 - *Xilitol*: frutas, edulcorante

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Hidratos de carbono sencillos. Monosacáridos. Hexosas

- ▶ Glucosa
 - Única hexosa libre en el cuerpo humano
 - Principal producto de la hidrólisis de otros HC complejos y disacáridos
 - Elemento energético **privilegiado**
 - Absorción muy rápida
 - Todas las células del organismo pueden utilizarla
 - Algunos tejidos en exclusividad (condiciones normales)
 - Puede almacenarse: glucógeno
 - Alcohol derivado: sorbitol

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Hidratos de carbono sencillos. Monosacáridos. Hexosas

- ▶ Fructosa
 - Fruta, miel, sacarosa...
 - Poder edulcorante elevado
 - Absorción 40% más lenta que la de la glucosa
 - Incorporación a la célula sin necesidad de insulina
- ▶ Galactosa
 - Forma parte de la lactosa
 - Presente en glucoesfingolípidos (lípidos de membrana) y vísceras

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Hidratos de carbono sencillos. Disacáridos

- ▶ Sacarosa (Glc α 1-2 Fru)
 - Disacárido más abundante en la naturaleza
 - Sacarasa
- ▶ Lactosa (Glc β 1-4 Glc)
 - Azúcar de la leche (síntesis en las glándulas mamarias)
 - Lactasa: digestión lenta
 - Expresión tardía en el desarrollo del enterocito
 - Pérdida de expresión tras el destete
- ▶ Maltosa (Glc α 1-4 Glc)
 - Producto de la digestión del almidón e hidrólisis del glucógeno
 - Maltasa
- ▶ Isomaltosa (Glc α 1-6 Glc)
 - Ramificación de la amilopectina
 - Isomaltasa

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Hidratos de carbono complejos. Oligosacáridos

- ▶ Polímeros de 3 a 10 monosacáridos
- ▶ Fermentación colónica
- ▶ Flatulencia (familia de la rafinosa)
- ▶ Fructooligosacáridos: favorecen la colonización intestinal con bifidobacterias

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Hidratos de carbono complejos. Polisacáridos

- ▶ Almidón
 - Reserva glucídica de los vegetales
 - Homopolisacárido que se compone de dos tipos de polímeros:
 - Amilosa
 - 250-300 glucosas unidas por enlace α 1-4
 - No ramificado (helicoidal)
 - Amilopectina
 - Glucosas unidas por enlace α 1-4
 - Cada 15-20 monómeros aparece un enlace α 1-6 (ramificación)

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Hidratos de carbono complejos. Polisacáridos

- ▶ Glucógeno
 - Reserva glucídica de los animales
 - Estructura de amilopectina con ramificaciones más frecuentes (cada 8-10 monómeros de glucosa)
 - Importancia metabólica: mantenimiento de la glucemia

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Funciones en el ser humano

- ▶ 1- Energética
 - 1 g = 4 kcal (almidón y glucógeno: 4,2 kcal/g; hexosas y pentosas: 3,7 kcal/g)
- ▶ 2- Impiden que las proteínas sean utilizadas como fuente de energía
- ▶ 3- Regulación del metabolismo de la grasa
 - Lipogénesis, lipolisis, cuerpos cetónicos

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Funciones en el ser humano

- ▶ 4- Función estructural
 - Ácido hialurónico: cimentación celular, tejido conjuntivo, tejido óseo, etc...
 - Galactósidos: constituyentes del sistema nervioso
- ▶ 5- Detoxificación
 - Ácido glucurónico

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Digestión de los hidratos de carbono

- ▶ En la composición de los hidratos de carbono de la dieta aparece de forma mayoritaria el almidón ($\approx 50\%$)
- ▶ La glucosa es el monosacárido mayoritario ($\approx 90\%$)
- ▶ Polisacáridos no digeribles

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Digestión de los hidratos de carbono

- ▶ Digestión
 - Boca
 - Ptilina (α -amilasa salival)
 - Intestino delgado
 - Amilasa pancreática
 - Amilasa intestinal
 - Disacaridasas (lactasa, sacarasa, maltasa, isomaltasa)
 - Otras: dextrinasa límite, trehalasa

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Absorción de los hidratos de carbono

- ▶ **Glucosa y galactosa**
 - Difusión simple
 - Difusión facilitada
 - Transporte activo secundario (dependiente de sodio)
- ▶ **Fructosa**
 - Difusión simple
 - Difusión facilitada
- ▶ Especialmente en **yeyuno**

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Almacenamiento de los hidratos de carbono: glucógeno

- ▶ **Localización**
 - Hígado y músculo
- ▶ **Características**
 - Síntesis a partir de glucosa
 - Cantidad limitada (adaptación por entrenamiento)
 - De uso prioritario frente a grasas
 - Desaparece en pocas horas de ayuno o actividad física
 - Regulación hormonal
 - Retiene agua (3 g de agua/g de glucógeno)
- ▶ **Diferencia tisular**
 - Hígado: control glucemia y energía a otros tejidos
 - Músculo: energía para autoconsumo

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Metabolismo de los monosacáridos

- ▶ Resumen de los destinos metabólicos de la glucosa
 - Utilización energética por el enterocito y otros órganos o tejidos
 - Síntesis de material de reserva
 - Glucógeno
 - Triglicéridos
 - Síntesis de otras moléculas
 - Aminoácidos, azúcares derivados...

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Metabolismo de los monosacáridos

- ▶ Glucolisis
 - Ruta central del catabolismo de la glucosa
 - Obtención de energía
 - Obtención de precursores para la síntesis de otras moléculas
 - Catabolismo de otros monosacáridos: fructosa y galactosa

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Metabolismo de los monosacáridos

▶ Glucolisis

- Destinos del ácido pirúvico
 - Acetil CoA (aerobiosis)
 - Ácido láctico (anaerobiosis)
 - Síntesis de aminoácidos no esenciales
- Destinos del acetil CoA
 - Energía: Krebs
 - Síntesis de lípidos (ácidos grasos, colesterol)
 - Síntesis de cuerpos cetónicos

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

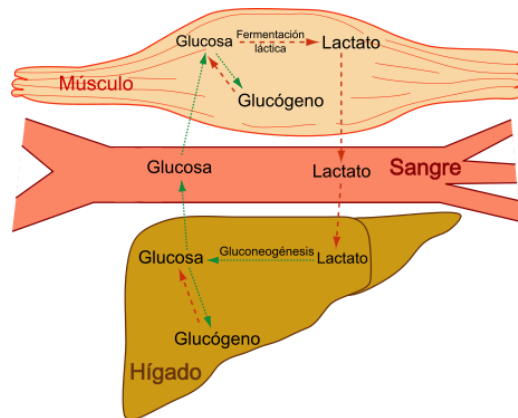
Metabolismo de los monosacáridos

▶ Fermentación láctica

- Músculo esquelético y eritrocitos
- Anaerobiosis
- Destino del ácido láctico
 - Ciclo de Cori

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Anexo. Gluconeogénesis. Ciclo de Cori



Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Imagen con licencia Creative commons-BY-SA-2.5
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CoriCycle-es.svg>
Autora: PatriciaR

Metabolismo de los monosacáridos

- ▶ Vía de las pentosas fosfato
 - Tejidos que sintetizan ácidos grasos y esteroides (hígado, tejido adiposo, glándulas suprarrenales y gónadas)
 - Finalidad
 - Obtención de coenzimas reducidos (NADPH + H⁺)
 - Obtención de ribosa fosfato (síntesis de nucleótidos ⇒ ADN)
 - Degradación de pentosas de la dieta

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Metabolismo de los monosacáridos

▶ Gluconeogénesis

- Hepatocitos y otros tejidos
- Finalidad
 - Reserva de glucosa \Rightarrow control de la glucemia
 - Necesidad de glucosa como combustible metabólico
 - Neuronas
 - Glóbulos rojos, médula renal, cristalino
- Sustratos
 - Lactato: eritrocitos, ejercicio intenso (Ciclo de Cori)
 - Glicerol: lipólisis
 - Aminoácidos glucogénicos: alanina (Ciclo glucosa-alanina)

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Anexo. Gluconeogénesis. Ciclo de la glucosa-alanina

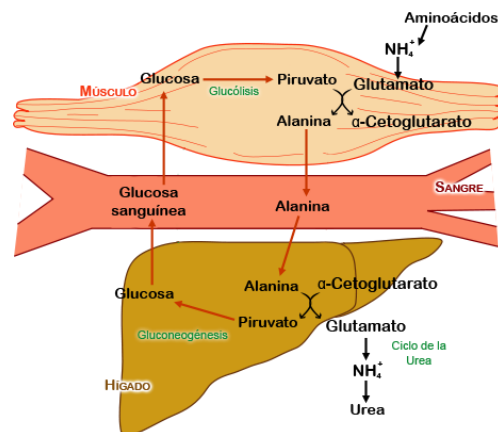


Imagen con licencia Creative commons-BY-SA-3.0
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:CCahill-es.png>
Autora: PatriciaR

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Metabolismo de los monosacáridos

- ▶ Glucogenogénesis
 - Hígado y músculo
 - Finalidad
 - Reserva de glucógeno
 - Hígado: control de la glucemia
 - Músculo: autoconsumo
- ▶ Glucogenolisis
 - Se produce glucosa-6-P
 - Glucosa 6-fosfatasa hepática (control glucemia)

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Metabolismo de los monosacáridos

- ▶ Lipogénesis
 - Hígado y tejido adiposo
 - Finalidad
 - Reserva de energía ante un exceso de glucosa

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Metabolismo de los monosacáridos

▶ Galactosa-P

- Entra en el metabolismo del glucógeno
- Glucolisis
- Formación de glucoproteínas

▶ Fructosa-P

- Metabolismo muy rápido
- Incorporación a la ruta glucolítica (triosas-P)
- Formación de glucoproteínas

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Metabolismo de los polialcoholes

▶ Polialcoholes

- Sorbitol
 - Catabolismo → fructosa → metabolismo glucosa
- Xilitol
 - Vía de las pentosas-P

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Regulación del metabolismo. Glucemia

- ▶ En una persona normal, la glucemia en ayunas es de **70–110 mg/dL (3,9–8,6 mM)**
 - Se eleva a 140 mg/dL, una hora después de la ingesta
 - Desciende en periodos de ayuno prolongado
 - Hiperglucemia: niveles > 120 mg/dL en ayunas
 - Hipoglucemia: niveles < 50 mg/dL en ayunas

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Regulación del metabolismo. Glucemia

Equilibrio dinámico de la glucemia

Descenso de la glucemia

Transporte al interior de las células y oxidación

Síntesis de glucógeno

Síntesis de otras moléculas: glucoproteínas, ácidos nucleicos...

Eliminación renal (>180 mg/dL)



Aumento de la glucemia

Absorción intestinal

Glucogenolisis hepática

Gluconeogénesis

Conversión de galactosa, fructosa y ácido láctico

70-110 mg/dL

Imagen con licencia Creative commons-BY-3.0
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Balance_justice.JPG
Autor: Eurobas

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Regulación del metabolismo. Glucemia

Importancia del mantenimiento de la glucemia

- ▶ Que no descienda
 - Tejidos que la precisan preferentemente o en exclusividad
 - El encéfalo precisa >50% de la glucosa
 - independiente de la insulina
- ▶ Que no aumente
 - Exceso de glucosa plasmática puede provocar deshidratación celular
 - Glucemia elevada ⇒ glucosuria ⇒ diuresis osmótica renal ⇒ deshidratación

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Regulación hormonal de la glucemia

Insulina

- ▶ Estimulan la secreción
 - Aumento de la glucemia
 - Presencia de aminoácidos
 - Otras hormonas
 - Gastrina
 - Secretina
 - Polipéptido inhibidor gástrico
 - Colecistoquinina
 - Embarazo
 - Hormonas placentarias (estrógenos)
- ▶ Inhiben la secreción
 - Descenso de la glucemia
 - Otras hormonas
 - Adrenalina
 - Noradrenalina

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Regulación hormonal de la glucemia

▶ Glucagón

- Principal estímulo: hipoglucemia
- Efectos opuestos a los de la insulina
 - Activación de la fosforilasa hepática (desdoblamiento del glucógeno)
 - Aumenta la gluconeogénesis hepática
 - Aminoácidos
 - Ácido láctico
 - Activación del pirúvico

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Regulación hormonal de la glucemia

▶ Catecolaminas

- Secretadas en situaciones de estrés por la médula de las cápsulas suprarrenales
- Permiten al organismo una respuesta rápida
 - Activación de la fosforilasa hepática (desdoblamiento del glucógeno)
 - Estimula el desdoblamiento del glucógeno muscular
 - Disminución de la secreción de insulina

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Regulación hormonal de la glucemia

▶ Glucocorticoides

- Secretadas por las cápsulas suprarrenales
- Antagonista de la insulina
 - Estimulan la gluconeogénesis
 - Aumento del catabolismo proteico en los tejidos
 - Mayor captación hepática de aminoácidos
 - Inhibe la utilización de la glucosa por los tejidos periféricos

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Regulación hormonal de la glucemia

▶ Tiroxina (T_3)

- Secretada ante un descenso de la glucemia
- Aumentan la acción de la adrenalina
 - Incremento del desdoblamiento del glucógeno
 - Gluconeogénesis
- Aumento de la absorción intestinal

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Regulación hormonal de la glucemia

- ▶ **Hormona de crecimiento**
 - Secretadas por la hipófisis en respuesta a la hipoglucemia
 - Efectos
 - Disminución de la captación celular de glucosa
 - Aumento de la movilización de la grasa
 - Ácidos grasos como fuente de energía
 - Acetil-CoA inhibe la glucólisis

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Regulación hormonal de la glucemia

- ▶ **Aumentan la glucemia**
 - Glucagón
 - Catecolaminas
 - Glucocorticoides
 - Tiroxina
 - Hormona de crecimiento
- ▶ **Disminuye la glucemia**
 - Insulina

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Regulación del metabolismo del glucógeno

- ▶ Regulación de la síntesis
 - Músculo esquelético
 - Activada por insulina e inhibida por adrenalina
 - Aumenta con la contracción muscular
 - Hígado
 - Activada por insulina e inhibida por glucagón

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Regulación del metabolismo del glucógeno

- ▶ Regulación de la degradación
 - Músculo esquelético
 - Fosforilasa dependiente de AMP y Ca^{++}
 - Activada por adrenalina
 - Aumenta con la contracción muscular
 - Hígado
 - Regulada por glucagón, adrenalina y noradrenalina

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Fuentes y recomendaciones

Fuentes

- ▶ Hidratos de carbono sencillos
 - Glucosa: miel, frutas
 - Galactosa: cantidades insignificantes en vísceras
 - Fructosa: miel, frutas
 - Sacarosa: azúcar de mesa
 - Lactosa: leche (fuente de galactosa)
 - Maltosa: no aparece como tal en la dieta (hidrólisis de polisacáridos)
 - Trehalosa: aparece en hongos e insectos

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Fuentes y recomendaciones

Fuentes

- ▶ Hidratos de carbono complejos
 - Glucógeno: escasa presencia en la dieta. Hígado y músculo
 - Almidón: cereales, legumbres y patatas

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Fuentes y recomendaciones

Recomendaciones

- ▶ Hidratos de carbono sencillos y almidón
- ▶ Preferible el aporte de azúcares complejos
 - Absorción más lenta
 - Menor índice glucémico
- ▶ 50–60 % de la energía de la dieta
- ▶ 5 % en forma de azúcares sencillos
- ▶ Requerimientos mínimos 100–130 g/d
- ▶ Asegurar glucosa a tejidos gluco-dependientes

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013

Bibliografía

- ▶ Englyst KN, Englyst HN (2005). Carbohydrate bioavailability. Br J Nutr, 94: 1–11
- ▶ Englyst KN, Liu S, Englyst HN (2007). Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates. Eur J Clin Nutr, 61 (suppl 1): S19–39
- ▶ Higgins JA (2004). Resistant starch: metabolic effects and potential health benefits. J AOAC Int, 87: 761–758
- ▶ Kellett GL, Brot-Laroche E, Mace OJ, Leturque A (2008). Sugar absorption in the intestine: the role of GLUT2. Annu Rev Nutr, 28: 35–54
- ▶ Palou A, Bonet ML, Picó C (2009). On the role and fate of sugars in human nutrition and health. Introduction. Obes Rev, 10 (suppl 1): 1–8

Alfredo Fernández (UPV/EHU)
OCW 2013