

## **MÓDULO 1: BASES DEL METABOLISMO PROTEICO BÁSICO APLICADO AL DEPORTE**

- 1.1 Fisiología y metabolismo proteico básico aplicado al deporte
- 1.2 Estructura química y digestión de las proteínas
- 1.3 Absorción y equilibrio dentro del cuerpo
- 1.4 Función energética aplicada a la práctica deportiva.

## 1. 1 FISIOLOGÍA Y METABOLISMO PROTEICO BÁSICO APLICADO AL DEPORTE

Antes de generar una inmersión completa en este apartado, es importante **refrescar algunos conceptos básicos** para poder integrar los posteriores de la mejor forma posible.

Para empezar, recordemos que las **proteínas** son uno de los **tres nutrientes esenciales** junto a las grasas y los hidratos de carbono. A nivel fisiológico, tres cuartas partes de los componentes sólidos que forman nuestro cuerpo son proteínas. Las podemos encontrar en **forma estructural, en forma de enzimas, nucleoproteínas, proteínas transportadoras o proteínas encargadas de la contracción muscular**, entre otras, y llegan a ser tan importantes para nuestra existencia, que son la base de algunas disciplinas científicas, como por ejemplo la bioquímica.

## 1.2 ESTRUCTURA QUÍMICA Y DIGESTIÓN DE LAS PROTEÍNAS

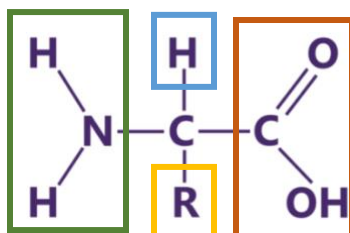
Las proteínas son **macromoléculas** formadas por carbono, oxígeno, nitrógeno, hidrogeno, y en menor cantidad pueden contener: fosforo, azufre y otros elementos como magnesio, cobre y hierro.

Están formadas **largas cadenas de aminoácidos unidas por enlaces peptídicos**, y las solemos ingerir a diario a través de infinidad de alimentos. Las proteínas no pueden ser absorbidas directamente por el organismo, por lo que deben ser hidrolizadas hasta convertirlas en molécula más simples; los aminoácidos.

Como podemos observar, los aminoácidos son la estructura básica de las proteínas, además de compuestos orgánicos que contienen un grupo funcional amino ( $\text{NH}_2$ ) y un grupo carboxilo ( $\text{COOH}$ ).

El ser humano sintetiza varios tipos de aminoácidos, pero los más importantes son los que forman parte del grupo de los  **$\alpha$ -aminoácidos**.

Estos se diferencian por tener, como se observa en la figura 1, un grupo  $\text{NH}_2$  (verde) y un grupo  $\text{COOH}$  (naranja) unidos al mismo átomo de carbono, denominado carbono  $\alpha$ , un átomo de hidrogeno (azul) y una cadena lateral específica para cada aminoácido (amarillo).



**Figura 1:** Creación propia. Fórmula general de un aminoácido.

Las proteínas, son macromoléculas que contienen los alimentos y no pueden ser absorbidas directamente por el organismo, por lo que deben ser hidrolizadas hasta convertirlas en molécula más simples; **los aminoácidos**.

Una vez las masticamos y tragamos los alimentos que contienen proteínas dietéticas, empieza su digestión. Al contrario que otros macronutrientes, **la digestión de las proteínas** dietéticas **empieza** un poco más tarde, **en el estómago**, gracias a los movimientos peristálticos y a la acción de enzimas digestivas.

Las enzimas proteolíticas son aquellas que se encargan de digerir las proteínas y se producen en diferentes puntos del tracto digestivo. Como podrían ser:

- El estómago
- El páncreas
- El intestino delgado

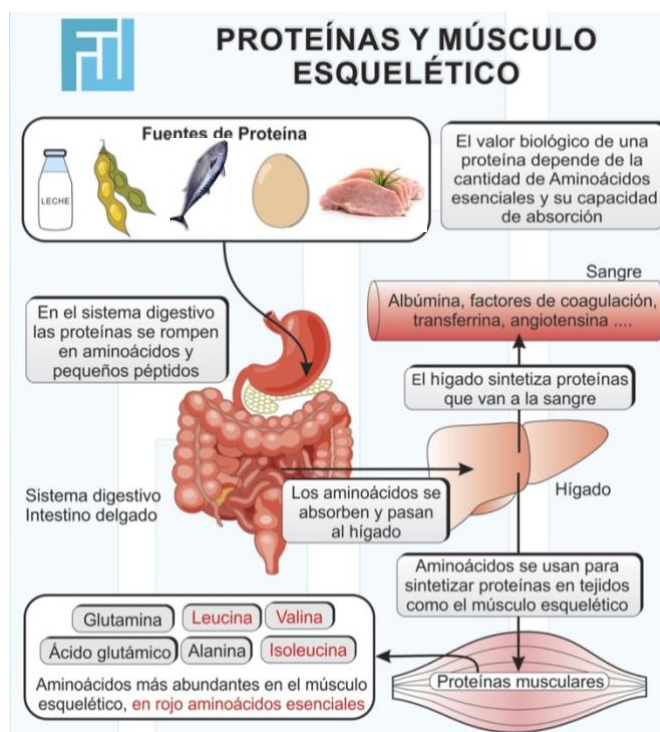


Son los encargados de realizar dicha labor

El proceso de digestión proteica se inicia en el estómago, por medio del ácido clorhídrico (HCl) y la pepsina.

El proceso de **digestión proteica se inicia en el estómago**, por medio del ácido clorhídrico (HCl) junto a la enzima pepsina, convirtiéndose ésta enzima en una de las más relevantes en éste proceso.

En una primera instancia, la pepsina es segregada por parte de las paredes del estómago en forma de una **proenzima llamada pepsinógeno**, la cual adquiere su capacidad enzimática gracias a los jugos gástricos, que la hidrolizan gracias al bajo pH que generan en el medio. Es decir, que para conseguir una correcta digestión proteica necesitaremos un medio muy ácido en nuestro estómago (entre 2.0 y 3.0 pH), por lo tanto, en los casos en los que no se llega a conseguir este medio tan ácido de forma habitual, la persona puede mostrar dificultades en la digestión de alimentos proteicos.



**Figura 2:** Esquema adaptada de la web "Fisiología Clínica del ejercicio" (consultado en junio del 2020)

La digestión **continuará en el intestino delgado**, tanto en el duodeno como en el yeyuno, bajo la influencia de otras enzimas proteolíticas, esta vez derivadas de la secreción pancreática.

Son necesarias gran variedad de enzimas proteolíticas para reducir las proteínas de los alimentos a aminoácidos y pequeños péptidos. Cada enzima tiene especificidad para diferentes tipos de enlaces peptídicos.

Las proteínas que ingerimos estimulan la secreción de las proenzimas pancreáticas las cuales se activarán gracias a las enteroquinasas secretadas en el líquido intestinal, y empezarán a hidrolizar estas proteínas dietéticas en fragmentos más pequeños. .

Recordemos que las enteroquinasas son unas glucoproteínas de alto peso molecular que se sintetizan en el enterocito y se integran tanto en las membranas vellositarias del duodeno como en las primeras yeyunales. Las enteroquinasas se activan gracias a las sales biliares y actúan sobre un sustrato específico, el tripsinógeno en este caso, en la luz del duodeno.

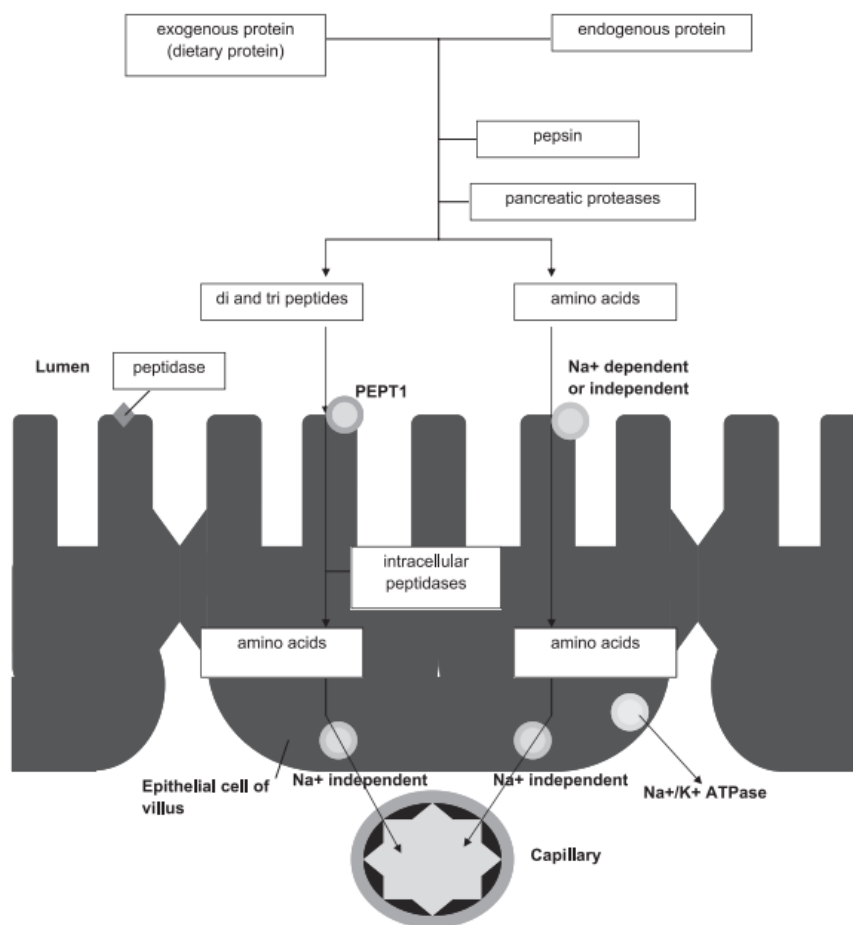
Entre las enzimas más destacables que se encarga de segregar el páncreas para la digestión proteica encontramos: la tripsina, la quimotripsina, aminopeptidasas y carboxipeptidasas. Éstas se encargarán de hidrolizar las proteínas hasta su versión más pequeña, es decir a aminoácidos y pequeños péptidos.

En su mayoría los péptidos de tres o más aminoácidos son hidrolizados extracelularmente por las enzimas en el borde de cepillo de los enterocitos, mientras que los dipéptidos y los tripéptidos pueden ser absorbidos intactos. En el citosol del enterocito los oligopéptidos finalizan sus hidrólisis de forma tal que solo pasan aminoácidos a la vena porta.

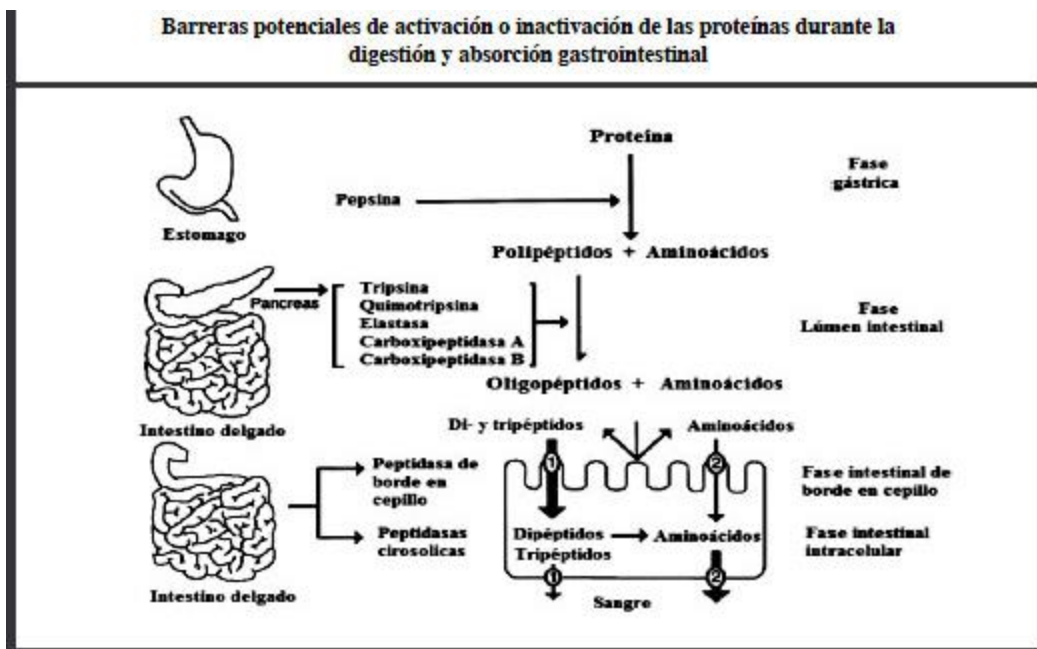
La superficie luminal del intestino contiene aminopeptidasas y exopeptidasas que van a degradar el residuo N-terminal de los oligopéptidos, de esta reacción se obtienen aminoácidos libres y péptidos pequeños.

| Tipos de proteasas  |                                                                     |                   |                                                                                      |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Endopeptidasas      |                                                                     | Exopeptidasas     |                                                                                      |
| Serina proteasas    | Tripsina (arginina, lisina)<br>Quimotripsina (aminoácido aromático) | Carboxipeptidasas | Separan aminoácidos del extremo carboxilo<br>Aminoácido neutral<br>Aminoácido básico |
| SH proteasas        | Papaína, bromelina                                                  | Aminopeptidasas   | Separan aminoácidos del extremo amino                                                |
| Aspartato proteasas | Pepsina, quimiosina                                                 | Dieptidasas       | Separan dipéptidos                                                                   |
| Metalo proteasas    | Colagenasa, termolisina                                             |                   |                                                                                      |
| Otras               | Renina, queratinasa                                                 |                   |                                                                                      |

**Tabla 1.** Clasificación de enzimas que intervienen en la digestión proteica. Extraída de "Proteínas en alimentación artificial" Miguel León Sanz



**Figura 3:** Proceso de digestión y absorción proteica con sus principales enzimas y transportadores



**Figura 4:** Extraída de "Efecto de la digestión en la biodisponibilidad de péptidos con actividad biológica"

Segura-Campos M. et al.

### 1.3 ABSORCIÓN Y EQUILIBRIO DENTRO DEL CUERPO

Se cree que más del 99 por ciento de los productos finales de la digestión proteica se absorben en forma de aminoácidos, con una escasa absorción de péptidos y una muy rara absorción de moléculas enteras.

Ya **en sangre**, la concentración habitual de aminoácidos ronda los 35-65 mg/dl, aunque **las concentraciones de los diferentes aminoácidos no son equivalentes entre ellas**. Algunos aminoácidos los encontramos en mayor concentración que otros según diferentes aspectos como podrían ser **nuestra alimentación, el equilibrio de los mismos que requiere el propio cuerpo, o incluso el momento del día (mañana o noche)**.

Por ejemplo, tras una ingesta de alimentos ricos en proteínas, la concentración de aminoácidos en sangre empieza a incrementarse progresivamente, aunque este exceso de nuevos aminoácidos será absorbido rápidamente por las células del cuerpo con el fin de utilizarse.

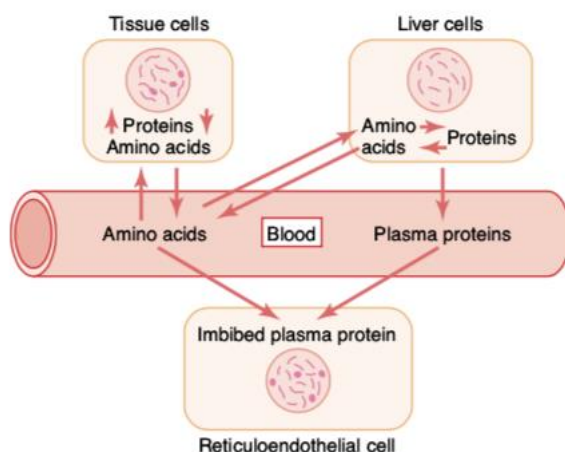
Pese a que nuestro cuerpo no cuenta con un lugar específico dedicado a formar reservorios de proteínas, sí contamos con el llamado **pool de aminoácidos**, es decir, un **total de aminoácidos**, que, dependiendo de las necesidades energéticas, estados metabólicos o posibles afectaciones de salud, se podrán utilizar o intercambiar.

En relación con la capacidad de almacenamiento que comentamos, el cuerpo humano no tiene un reservorio específico de proteínas o de aminoácidos, al contrario de lo que sucede con las grasas en los adipocitos y los azúcares en los depósitos de glucógeno. Esto es así porque, para que el cuerpo pueda obtener energía a través de las proteínas, necesita romper tejidos estructurales y funcionalmente importantes (músculos esqueléticos) para conseguir extraer carbonos al romper los enlaces amino de los aminoácidos, los cuales entrarán en la vía energética del músculo.

Alternativamente, tenemos algunos órganos, como podrían ser el hígado o los riñones que son capaces de contener aminoácidos disponibles para convertirse en glucosa o cuerpos cetónicos, es decir, listos para ser utilizados como energía en el caso que sea necesario.

También podremos encontrar grandes cantidades de proteínas en los tejidos musculares, tanto en el tejido liso como el esquelético. Y aunque en este caso **las proteínas del músculo tendrán una función principalmente estructural, nuestro cuerpo podrá recurrir a ellas para obtener energía** en el caso que sea necesario. Éstos dos procesos que realizan los tejidos musculares, tanto la función estructural de las proteínas, como la capacidad de aportar de energía, serán procesos clave para entender cómo debe ser la alimentación humana en la práctica deportiva y el rendimiento.

En los casos de **actividades físicas extenuantes y de larga duración** los tejidos musculares de nuestro cuerpo sufren una **depleción proteica, es decir, la pérdida o disminución de masa muscular al ser utilizada por el cuerpo para obtener energía**. En estos casos, las proteínas plasmáticas serán las encargadas de ir al tejido afectado para recuperarlo; y órganos como el hígado, los encargados de formar nuevas proteínas plasmáticas para recuperar la concentración habitual en sangre. Por lo tanto, tal y como podemos ver, existe un constante equilibrio entre los niveles de proteínas plasmáticas y los aminoácidos presentes tanto en el plasma como en los tejidos.



**Figura 5:** Equilibrio entre las proteínas de los tejidos, las proteínas y los aminoácidos plasmáticos. Extraída del libro "Textbook of Medical Physiology de Guyton & Hall", onceava edición.

En estos casos en los que el **cuerpo necesita recuperar tejido muscular dañado** por la práctica deportiva, utilizará los aminoácidos disponibles para sintetizar nuevas proteínas. Esta **síntesis proteica puede estar condicionada por** diferentes aspectos dietéticos como:

- **La co-ingestión de nutrientes:** La combinación de nutrientes más estudiada es la de ingerir hidratos de carbono junto a las proteínas con el fin de generar un entorno hormonal anabólico gracias a la acción de la insulina principalmente, aspecto que favorecerá la síntesis proteica. De estos aspectos hablaremos más en detalle en el módulo 3.

- **Cantidad total de proteínas de la dieta:** Por mucho deporte que se realice, si la ingesta diaria de proteínas no es suficiente, el cuerpo apenas podrá generar tejido muscular nuevo.
- **El "Timing":** La sincronización de nutrientes o "timing" se define operacionalmente como el consumo de nutrientes antes, durante o después de la práctica deportiva, y se ha recomendado como una estrategia para optimizar las adaptaciones del cuerpo a la práctica deportiva, al rendimiento y al incremento de la masa muscular desde 1999.

En 2002, gracias a los estudios de Lemon Berardi y Noreen surgió la teoría de la "**ventana anabólica**", la cual defiende la idea: si aportamos un bolo proteico entre los 45 minutos y la hora posterior a la práctica deportiva, conseguiremos optimizar al máximo la síntesis de proteínas musculares. Desde entonces, la **ingesta proteica posterior** al ejercicio ha sido una de las estrategias nutricionales más estudiadas y recomendadas. No fue hasta el 2013, que Aragon y Schoenfeld, tras realizar una revisión de la literatura, averiguaron que la ventana anabólica no era tan estrecha como se pensaba, y propusieron un intervalo temporal de 5 o 6 horas después de ejercicio. **Actualmente** todo parece indicar que, pese a que la ventana anabólica es beneficiosa y útil, sobretudo en deportistas de élite, para optimizar la síntesis de proteínas musculares, **prima la ingesta total de proteínas diarias**.

- **Tipo de proteína ingeridas:** Diferenciaremos entre proteína tipo "whey" o de absorción rápida, y caseína o proteína de absorción lenta.

La proteína "**whey**" o proteína de suero de leche, se absorbe rápidamente al estar formada de proteínas globulares principalmente. La **caseína** es una proteína que se encuentra igualmente en la leche (igual que la proteína "whey") en forma de un complejo soluble de calcio y fósforo, representa aproximadamente el 80% del contenido proteico de la leche, y se le llama proteína de absorción lenta porque tarda entre un 30% y un 40% más de tiempo en ser absorbida.

- **El balance energético:** En casos de seguir un plan alimenticio con déficits calóricos importantes, la síntesis proteica se limita, ya que, aunque le aportemos al cuerpo la cantidad de proteínas que necesita para incrementar masa muscular, la energía de la que dispone para realizar este proceso no es la suficiente.

Para formar estas proteínas, nuestro cuerpo trabaja con un alfabeto de **veinte aminoácidos**. **Once** de los veinte aminoácidos que necesita el cuerpo humano pueden ser sintetizados por nuestras células sin problemas, a estos les llamaremos **aminoácidos no esenciales**; y los **otros nueve** solo se sintetizan en cantidades muy pequeñas, las cuales son insuficientes para nuestros requerimientos, a estos les llamaremos **aminoácidos esenciales** y los hemos de consumir en las cantidades suficientes a través de nuestra alimentación.

Aminoácidos esenciales y no esenciales:

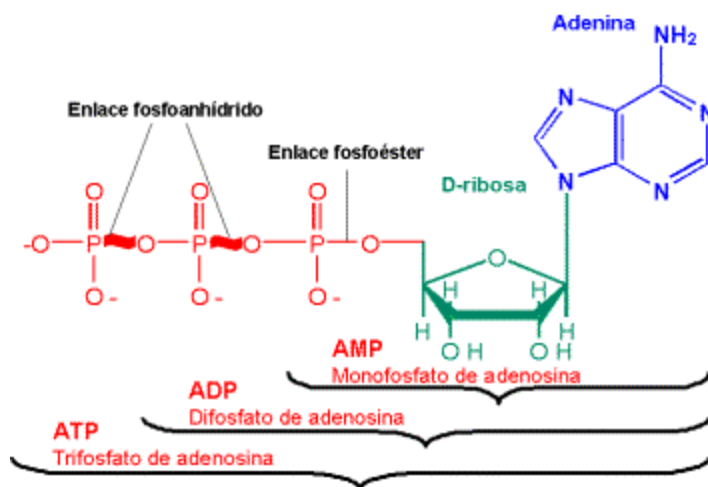
| Esenciales   | No esenciales |
|--------------|---------------|
| Isoleucina   | Alanina       |
| Leucina      | Arginina      |
| Lisina       | Tirosina      |
| Metionina    | Aspartamo     |
| Fenilalanina | Cistena       |
| Treonina     | Glutamato     |
| Triptófano   | Glutamina     |
| Valina       | Glicina       |
| Histidina    | Protina       |
|              | Serina        |
|              | Asparagina    |

## 1.4 FUNCIÓN ENERGÉTICA APLICADA A LA PRÁCTICA DEPORTIVA

Durante la **actividad físico-deportiva**, comparando con el estado de reposo es necesaria una **gran cantidad de energía** de forma prolongada durante largos periodos de tiempo, como sería el caso de maratones, triatlones, ciclismo, etc; o en cortos periodos de tiempo como sería el caso de "sprint", saltos o lanzamientos.

Con el fin de obtener dicha energía, el cuerpo utiliza **tres sistemas energéticos** principales **para conseguir** la moneda energética llamada adenosin trifosfato. El adenosin trifosfato o ATP es un nucleótido compuesto por tres moléculas: una base nitrogenada en forma adenina, un azúcar en forma de ribosa una ribosa y 3 grupos de fosfatos. El ATP es una fuente de energía vital para las células.

Cabe destacar que, aunque dichos sistemas los vayamos a explicar de forma escalonada en el siguiente punto, la realidad es que se van relacionando entre sí.



**Figura 6:** Estructura del ATP. Extraída de "Estructura y propiedades del ATP, ADP y AMP". Metabolismo energético y nutrición. Universitat Illes Balears.

La **Adenosina trifosfato o ATP**, es un nucleótido fundamental producido durante la respiración celular y es la única molécula que se puede convertir directamente en energía.

Cada **molécula de ATP** produce (aproximadamente) **7,3 Kcal**

Este diagrama de flujo ilustra el metabolismo energético de tres tipos de biomoléculas: lípidos, carbohidratos y proteínas.

- LÍPIDOS:** Se degradan en **Ácidos grasos + glicerol**. Los ácidos grasos sufren **Oxidación β** para convertirse en **Acetil-CoA**.
- CARBOHIDRATOS:** Se degradan en **Glucosa/glucógeno**, que sufre **Glucólisis** para producir **Piruvato**.
- PROTEÍNAS:** Se degradan en **Aminoácidos**, que experimentan **Desaminación** para convertirse en **Piruvato** o **Acetil-CoA**.

El **Piruvato** puede seguir una vía **Anaerobia** para convertirse en **Lactato**, o entrar en la vía **Aerobia** convirtiéndose en **Acetil-CoA**.

El **Acetil-CoA** entra en el **Ciclo de Krebs** (representado como un ciclo con **Citrato** y **α-cetoglutarato**). Durante este ciclo, se liberan **CO<sub>2</sub>** y se producen intermediarios como **Succinato** y **Oxalacetato** (que se regenera).

Los intermediarios del ciclo de Krebs y el **Lactato** participan en la **Cadena de transporte de electrones** (Aerobia):

- H<sup>+</sup>** y **O<sub>2</sub>** son los reactivos principales.
- Las reacciones clave son:
  - $\text{NAD}^+ \gg \text{NADH}^2$
  - $2 \text{Fe}^{3+} \gg 2 \text{Fe}^{2+}$
  - $\text{FAD} \gg \text{FADH}_2$
- Se involucran citocromos: **Cit b, cit b, cit c, cit a, cit a3**.
- Se produce **ATP** a partir de **ADP + P**.
- El oxígeno molecular (**O<sub>2</sub>**) se reduce a agua (**H<sub>2</sub>O**).

**Figura 7:** Esquema de los procesos de obtención de energía a partir de los lípidos, carbohidratos y proteínas. Extraído del libro Medicina deportiva Clínica. Tratamiento médico y rehabilitación. Walter R.Frontera. Elsevier. 2008

**Los tres sistemas energéticos** principales **para conseguir** la moneda energética son:

- **Sistema anaeróbico aláctico:**

Es el sistema utilizado en esfuerzos duran aproximadamente 10 segundos o menos, y es el sistema de mayor utilización en deportes explosivos y/o de corta duración, como spints, saltos o lanzamientos.

En este sistema se utilizan las moléculas de fosfocreatina presentes en el interior de las células para generar ATP de forma muy rápida. Las moléculas de fosfocreatina son unas moléculas de creatina fosforilada que encontramos dentro de la célula muscular y que puede ser utilizada para regenerar el adenosintrifosfato (ATP) a partir de adenosindifosfato (ADP) durante la contracción muscular, es decir, el músculo la utiliza para obtener energía en forma de ATP. Al ser un proceso tan rápido, se realiza sin presencia de oxígeno (anaeróbico) y sin fabricación posterior de ácido láctico (aláctico).

- **Sistema anaeróbico láctico:**

Una vez el cuerpo detecta que se están **empezando a vaciar los depósitos de fosfocreatina** dentro de la célula muscular esquelética, es decir, que se está empezando a gastar el sustrato más inmediato, pero que por otro lado la actividad física va a continuar, **se activará el sistema anaeróbico láctico**.

Esta activación se realiza mediante la utilización de glucosa proveniente de los depósitos de glucógeno muscular, también en ausencia de oxígeno. Podríamos decir que la velocidad a la que se da la reacción de este proceso no es tan alta como en el caso anterior, es decir, no producimos tanta energía por unidad de tiempo, por lo que proporcionalmente obtendremos menos cantidad de ATP por unidad de tiempo que con el sistema anaeróbico aláctico, y ello va a condicionar la intensidad del ejercicio, que como puede suponerse va a ser inferior a la intensidad que nos permitía el

Con este sistema también se consigue energía (ATP) de forma bastante rápida, pero, en vez de usar fosfocreatina, el sustrato escogido será la glucosa presente en los depósitos de glucógeno del músculo esquelético.

Al seguir siendo un **proceso bastante rápido**, sigue sin necesitar la presencia de oxígeno para llevarse a cabo (anaeróbico) pero sí que genera ácido láctico como producto de desecho.

Nuestro cuerpo **utilizará este sistema durante los posteriores 30 segundos a 1 minuto** aproximadamente.

Por cada molécula de glucosa usada se obtiene 2 moléculas de ATP y 2 moléculas de ácido láctico.

- **Sistema aeróbico:**

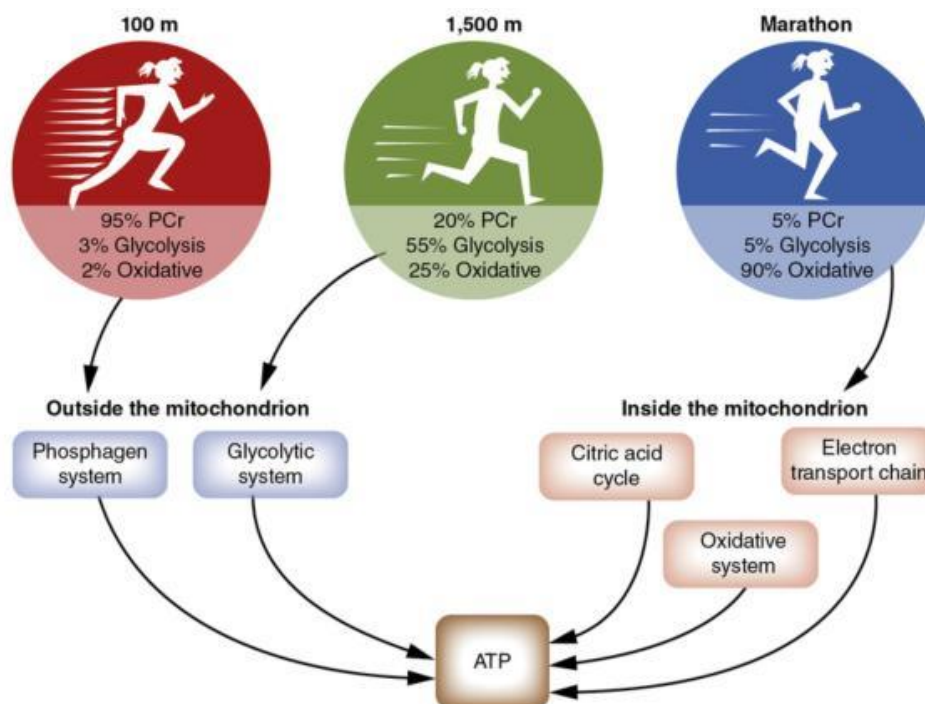
Finalmente, cuando el cuerpo detecte que **el ejercicio va a durar**, más o menos, **más de tres minutos**, se empezará a activar en el citoplasma un nuevo sistema de producción de energía para proporcionar energía a la mitocondria, llamado el sistema aeróbico. Recordemos que el citoplasma es un líquido que encontramos alrededor del núcleo de la célula y envuelto por la membrana exterior, en el cual podemos encontrar suspendidos diversos orgánulos celulares como los ribosomas o las mitocondrias.

Tal y como se muestra en la imagen, la reacción por la cual el cuerpo conseguirá energía a través del sistema aeróbico empezará en el citoplasma, pero la energía la producirá la mitocondria a través de la respiración celular aeróbica.

Este sistema **es el que menos energía (ATP) produce por unidad de tiempo, pero el que más tiempo puede estar funcionando sin agotarse**, de ahí que necesite oxígeno para poder llevarse a cabo (aeróbico).

El **sustrato** utilizado en estos casos **variará** entre glucosa, grasas o proteínas., en función del sustrato que tenga más disponible el cuerpo en ese momento. Por ejemplo, si hemos empezado a hacer deporte hace pocos minutos, seguramente el cuerpo utilizará la glucosa como fuente principal, sobre todo si tenemos nuestros depósitos de glucógeno llenos, a medida que vaya pasando el rato y los depósitos de glucógeno se vayan gastando, el músculo empezará a utilizar las grasas principalmente, y finalmente las proteínas.

La utilización de proteínas en condiciones normales supondrá el 2-3% de la energía total que requeriremos para una sesión de entrenamiento de una intensidad moderada, pero en situaciones de esfuerzos de varias horas que produzcan disminuciones importantes de la reserva de glucógeno muscular, el uso de proteínas para la obtención de energía puede llegar al 10% de la energía total.



**Figura 8:** Representación de los sistemas energéticos. Imagen extraída de la página web Human Kinetics of Canada

Sistemas energéticos utilizados:



Velocistas  
Anaeróbio Aláctico



Natación  
Anaerobio Láctico



Ciclismo  
Aeróbico

Las vías energéticas comentadas funcionan simultáneamente, pero con predominio de una vía sobre las demás en función de:

- ✓ Duración del ejercicio
- ✓ Intensidad de la contracción muscular
- ✓ Cantidad de sustratos almacenados

|                                                 | <b>M.ANAERÓBICO<br/>ALÁCTICO</b>      | <b>M.ANAERÓBICO<br/>LÁCTICO</b> | <b>M.AERÓBICO<br/>(Oxidativo)</b> |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Fuente de energía</b>                        | Fosfágeno                             | Glucosa                         | HC, grasas y Aa                   |
| <b>Velocidad con la que se forma la energía</b> | Muy rápida                            | Rápida                          | Lenta                             |
| <b>Producción de energía</b>                    | Muy poca                              | Poca                            | Mucha                             |
| <b>Tiempo de producción de energía</b>          | Muy corto (1-10 segundo)              | Corto (45" a 9 minutos)         | Largo (de minutos a horas)        |
| <b>DEPENDENDE LAS RESERVAS ENERGÉTICAS</b>      |                                       |                                 |                                   |
| <b>Intensidad del esfuerzo</b>                  | Muy intenso (VO2 max)                 | Intenso (80-100% VO2 max)       | Moderado-bajo (50-80% VO2 max)    |
| <b>Tipo de ejercicio o Deporte</b>              | Carrera de 100m, saltos, lanzamientos | Carreras de 200 a 300 m         | Carreras de 5km a maratones       |
| <b>Tipo de Fibra Muscular</b>                   | Rápida tipo IIB.                      | Rápida tipo IIa                 | Lenta tipo I                      |
| <b>Toxicidad metabólica</b>                     | No                                    | Si, acidosis muscular           | No                                |

**Tabla 2:** Tabla extraída del Artículo de la revista digital EFDeportes.com titulado Valoración fisiológica y bioquímica del deportista de resistencia, escrito por Aritz Urdampilleta en el 2013

Por lo tanto, podemos observar que las vías metabólicas de obtención de energía se clasificarán según:

- El sustrato que utilizan para producir energía.
- El sustrato utilizado, la rapidez de obtención de energía (potencia versus capacidad bioenergética).
- La forma de utilizar energía; aeróbicamente (en presencia de oxígeno) o anaeróbicamente (sin oxígeno).

Cabe puntualizar que, **pese a que** hayamos comentado que **existe la capacidad de obtener energía a través de los aminoácidos, nuestro cuerpo siempre preferirá generar ATP a través de la glucosa**, ya que el cuerpo podrá utilizar directamente la glucosa de los depósitos de glucógeno para la utilización de energía. Por el contrario, para obtener glucosa a partir de los aminoácidos necesita realizar dos procesos, primero una proteólisis, es decir la degradación de las proteínas para generar aminoácidos, y posteriormente una gluconeogénesis, a partir de la cual obtendremos moléculas de glucosa a partir de aminoácidos.

Nuestro cuerpo es capaz de obtener glucosa a través de todos los aminoácidos excepto de la lisina y de la leucina, ya que no disponen del carbono necesario para la síntesis de glucosa. Por cada molécula de glucosa se obtendrán un máximo de 38 moléculas de ATP. De ahí que digamos que la práctica deportiva es gluco-dependiente en su amplia mayoría.

En resumen, podemos decir que con la vía aeróbica tardaremos más en obtener energía a través del sustrato energético, pero será una obtención de energía que podremos mantener de forma mucho más duradera, y que con la vía anaeróbica obtendremos mucha energía de forma muy rápida, pero no la podremos mantener durante mucho tiempo.

Así, la obtención de energía a través de la **vía aeróbica** es la que más capacidad tiene, es decir, la obtención de energía es **lenta pero muy duradera**, al tener muchos depósitos energéticos a través de la grasa. No obstante, su uso puede tener ciertas limitaciones, ya que esta grasa no es totalmente disponible, es decir, esta grasa debería de estar disponible en la sangre o a nivel intramuscular, y en la mayoría de los casos se almacena sobre todo a nivel subcutáneo, excepto en los deportistas más entrenados que son capaces de almacenar grasa a nivel intramuscular.

Es por ello que, en la mayoría de los casos, **al no encontrarse la grasa disponible cerca de los músculos esqueléticos en los momentos de práctica deportiva, el cuerpo tenderá a degradar masa muscular a través de la proteólisis:**

1) Se activa el ciclo de Cahill o de la glucosa-alanina a nivel muscular, el cual es un ciclo que se encarga de degradar los aminoácidos para conseguir glucosa mediante el traspaso del grupo amino de un aminoácido a un  $\alpha$ -cetoácido. A esta reacción le llamaremos transaminación, y de esta manera podemos conseguir glucosa a través de los aminoácidos a nivel muscular y hepático.

2) Se obtiene energía directamente a nivel muscular a través de los aminoácidos valina, leucina e isoleucina (aminoácidos ramificados). En este estado el organismo empezará un proceso conocido como **catabolismo muscular**, que generará un incremento de los niveles de urea, alanina o un aumento de cuerpos cetónicos.

El paso de la vía aeróbica a la anaeróbica, se le conoce coloquialmente como **"barrera o pared"** ya que es un momento en el que el deportista nota mayor fatiga durante un intervalo variable de tiempo hasta volverse a notar con energía de nuevo.

Los deportistas menos entrenados notan esta "barrera" de forma más acusada que los más entrenados, y una de las funciones de la nutrición deportiva es la de conseguir que el deportista pase de una vía anaeróbica a una aeróbica con la mayor facilidad y la menor sensación de fatiga posible entre medio; además de diseñar estrategias que nos aseguren el sustrato suficiente en cada momento según las diferentes vías metabólicas vayamos a ir utilizando a lo largo de la competición. Por este motivo, **a nivel nutricional no será lo mismo preparar el año deportivo de un maratoniano, como de un corredor de 100 metros lisos, como de un boxeador o de un deportista que compite en halterofilia**, ya que los sustratos energéticos, y por lo tanto gran parte de su rendimiento, vendrán de diferentes fuentes dietéticas.

## Bibliografía:

1. **Arthur C. Guyton, John E. Hall.** *Textbook of medical physiology*. Pennsylvania : Elsevier Saunders, 2006. 0-8089-2317-X.
  
2. *EFFECTO DE LA DIGESTIÓN EN LA BIODISPONIBILIDAD DE PÉPTIDOS CON ACTIVIDAD BIOLÓGICA.* **Maira Segura-Campos, Luis Chel-Guerrero, David Betancur-Ancona.** 3, s.l. : Rev Chil Nutr, 2010, Vol. 37. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182010000300014> .
  
3. *International society of sports nutrition position stand: nutrient timing.* . **Chad M. Kerksick, Shawn Arent, Brand J. Schoenfeld.** s.l. : Journal of the International Society of Sports Nutrition, 2017. DOI: 10.1186/s12970-017-0189-4.
  
4. *Position of the Academy of Nutrition and Dietetics of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic performance.* . **Academy of nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, American College of sports medicina.** s.l. : Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 2016.
  
5. *Nutritional Recommendations for Physique Athletes.* **Brandon M Roberts<sup>1</sup>, Eric R Helms<sup>2</sup>, Eric T Trexler<sup>3</sup>, Peter J Fitschen.** 79-108, s.l. : Journal of Human Kinetics, January 2020., Vol. vol. 71/2020 . DOI:10.2478/hukin-2019-0096.
  
6. *Pre- versus post-exercise protein intake has similar effects on muscular adaptations.* **Brad Jon Schoenfeld<sup>1</sup>, Alan Aragon<sup>2</sup>, Colin Wilborn<sup>3</sup>, Stacie L. Urbina<sup>3</sup>, Sara E. Hayward<sup>3</sup> and James Krieger.** s.l. : PeerJ, 2017, Vol. 5:e2825. DOI 10.7717/peerj.2825.
  
7. *El fundamento de la fisiología del ejercicio.* **Montero, Francisco J. Calderón.** 169-176, s.l. : Archivos de medicina del deporte, 2015, Vol. 32(3).
  
8. **Don MacLaren, James Morton.** *Biochemistry for Sport and Exercise Metabolism.* s.l. : Wiley, 2012. 978-0-470-09184.
  
9. *Fisiología del ejercicio físico y del entrenamiento.* **J.R. Barbany.** Barcelona : Paidotribo, 2012. 978-84-8019-589-8.

10. *Nutrición para el entrenamiento y la competición* . **Dra.Cristina Olivos O, Dra. Ada Cuevas M, Dra.Veronica Álvarez.** s.l. : Rev.Med.Clin. Condes, 2012.
11. *Alimentación, Nutrición e Hidratación en el Deporte.* **Dra.Nieves Palacios Gil-Antuñano, Dr.Zigor Montalvo Zenarruzabeita, Dña. Ana Maria ribas Camacho.** s.l. : Consejo Superior de Deportes, Ministerior de educación política social y deporte, 2009.
12. *Post-Exercise Muscle Glycogen Resynthesis in Humans.* **Louise M.Burke, Luc J.C. Van Loon, John A.Hawley.** s.l. : American Physiological Society, 2016.
13. *Valoración fisiológica y bioquímica del deportista de resistencia.* **Urdampilleta, Aritz.** 181, Buenos Aires : EFdeportes, 2013