



## EL METABOLISMO Y LOS SISTEMAS ENERGÉTICOS TISULARES

1.1. Nutrientes energéticos y no energéticos; su función en el mantenimiento de la salud. 1.2. Principales vías metabólicas de obtención de energía. Metabolismo aeróbico y anaeróbico. 1.3. Relación entre duración e intensidad de un ejercicio físico y vía metabólica predominante. 1.4. Consumo y déficit de oxígeno: concepto, fisiología y aplicaciones. 1.5. Adaptación fisiológica tisular a la actividad física.

### 1.0. INTRODUCCIÓN

Las actividades que realiza una célula necesitan materia y/o energía. Así, las células tienen que crecer (acumulando materia), mantener sus estructuras, transportar sustancias a través de la membrana, moverse, reproducirse, etc. y para ello llevan a cabo una gran cantidad de reacciones químicas. [Repasa el concepto de reacción química].

El conjunto de todas las reacciones químicas que tienen lugar en el interior de una célula constituye su **metabolismo**. Dentro de este amplio concepto, el **catabolismo** incluye las reacciones metabólicas que degradan la materia orgánica para producir energía. Por el contrario, el **anabolismo** es el conjunto de reacciones que transforman materia más sencilla en otra más compleja, eso sí, utilizando energía.

### 1.1. NUTRIENTES ENERGÉTICOS Y NO ENERGÉTICOS

Los nutrientes son aquellos elementos o compuestos químicos necesarios para el metabolismo de un ser vivo. En el caso de los animales, los nutrientes se encuentran en los alimentos y son imprescindibles para mantener todas las funciones del organismo (nutrición, relación, reproducción). [Los hongos, las bacterias heterótrofas y los protozoos se alimentan también. Las cianobacterias, las algas y las plantas se nutren pero no se alimentan en sentido estricto porque toman nutrientes pero no alimentos. Busca una definición de alimento].

Los nutrientes pueden clasificarse siguiendo diferentes criterios:

- Según que se utilicen o no como fuente de energía:

Son **nutrientes energéticos** aquellos de los que puede obtenerse energía mientras que de los **no energéticos** no hay posibilidad, pero esto hay que aclararlo.

Los nutrientes energéticos son moléculas orgánicas, es decir constituidas por cadenas de átomos de carbono, con hidrógeno y algunos otros elementos y contienen energía encerrada en los enlaces que unen sus átomos. En el transcurso de una reacción química dicha energía se desprende. Por el contrario, los elementos y moléculas no orgánicas que ingerimos como nutrientes (agua y sales minerales) no contienen energía.

- Según el uso que les da la célula:

**Nutrientes energéticos:** la célula los utiliza para obtener energía. Los glúcidos y los lípidos son generalmente de este tipo.

**Nutrientes plásticos:** la célula los emplea para construir estructuras. Una parte importante de las proteínas se emplean con este fin. Encontramos también lípidos (fosfolípidos, colesterol). Y algunas sales minerales (carbonato cálcico y fosfato cálcico forman los caparazones y esqueletos de muchos animales).

**Nutrientes reguladores:** colaboran en que la célula pueda desarrollar sus funciones y entre ellas que pueda obtenerse energía o construirse nuevas moléculas. Son nutrientes reguladores ciertos elementos minerales, las vitaminas, muchas proteínas y los ácidos nucleicos.

El agua tiene tantas funciones que debería hacerse un grupo especial donde incluirla pero podemos considerarla un nutriente regulador.

La célula “prefiere” emplear las proteínas con fines plásticos y reguladores, pero puede en determinadas ocasiones utilizarlas para obtener energía útil. Hay muchos tipos de lípidos que no se utilizan con finalidad energética, así los fosfolípidos tienen una importante función plástica al formar las membranas celulares y muchos lípidos esteroides tienen función reguladora, como la vitamina A y D o las hormonas sexuales, progesterona y testosterona.

Por último, podemos encontrar moléculas típicamente energéticas como la celulosa (un glúcido) pero que para nuestro organismo es un nutriente no energético porque a pesar de contener gran cantidad de energía, no tenemos la capacidad de extraerla (a la celulosa la denominamos como “fibra”)

En resumidas cuentas es difícil hacer una “buena clasificación” de los nutrientes. Se busca que sea útil para hacerse una idea de los usos preferentes de los nutrientes pero como hemos visto hay muchas excepciones y debemos tenerlo en cuenta.

[Trae una etiqueta de producto alimenticio de tu casa para analizar los nutrientes que posee].

Para mantener la salud debemos ingerir una cantidad concreta de cada nutriente y tanto el déficit e incluso la carencia así como el exceso de algunos de ellos pueden tener consecuencias graves. Así, por ejemplo, la carencia del elemento yodo provoca graves trastornos al no poder fabricarse una hormona reguladora. La carencia de vitamina A llega a producir ceguera y un déficit de litio puede afectar al estado de ánimo. Un exceso de proteínas sobrecarga el trabajo de los riñones y del hígado y un exceso de colesterol afecta a los vasos sanguíneos.

Las necesidades nutricionales de cada especie de ser vivo son diferentes e incluso lo son en la especie humana según el sexo, la edad o la actividad física que se desarrolle habitualmente.

[Recuerda los siguientes conceptos: materia; energía; reacción química; oxidación; reducción; química orgánica]

## 1.2. PRINCIPALES VÍAS METABÓLICAS DE OBTENCIÓN DE ENERGÍA. METABOLISMO AERÓBICO Y ANAERÓBICO.

**Nota:** en este apartado se desarrollan otros conceptos que tienen relación con los que aparecen en el título y sirven de introducción para los temas de metabolismo de la asignatura de Biología de 2º curso de bachillerato.

### Catabolismo

El catabolismo (del griego *katabolé*=echar abajo) es la fase degradativa o destruktiva del metabolismo ya que consiste en la oxidación de los nutrientes orgánicos (glúcidos, lípidos y proteínas) dando lugar a compuestos más pequeños y sencillos (por ejemplo, ácido láctico, etanol, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y NH<sub>3</sub>) con la finalidad de obtener la energía que llevaban encerradas estas moléculas.

Uno de los más importantes ejemplos de reacciones catabólicas es la oxidación de la glucosa con oxígeno, que se transforma en dióxido de carbono y agua, proceso conocido como *respiración celular*, o la formación de alcohol etílico, dióxido de carbono y agua sin emplear oxígeno, denominándose al proceso *fermentación alcohólica* (Hay otras muchas reacciones que también son respiración celular y existen otras fermentaciones distintas de la alcohólica).

### Anabolismo

El anabolismo (del griego *anabolé*=subida) es la fase constructiva o de **biosíntesis** de la célula. La fabricación (síntesis) de moléculas por parte de los seres vivos entra dentro de este conjunto amplio de reacciones. Es posible sintetizar moléculas orgánicas sencillas a partir de moléculas



inorgánicas, utilizando en este caso una fuente de energía externa como es la luz (con dióxido de carbono y agua se consigue glucosa), este proceso anabólico es la fotosíntesis. Pero también las moléculas pequeñas y sencillas se transforman en moléculas mayores y más complejas, como por ejemplo muchos lípidos, los polisacáridos, las proteínas y los ácidos nucleicos (la unión de aminoácidos da lugar a proteínas: recuerda que muchos culturistas toman “anabolizantes” para desarrollar musculatura). La transformación de unas biomoléculas en otras también debe considerarse anabolismo (por ejemplo, transformar glucosa en grasa o bien modificar un tipo de aminoácido para convertirlo en otro diferente). La energía necesaria para llevar a cabo estas reacciones se obtiene de la que se libera en las reacciones catabólicas.

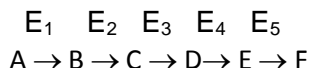
### 1.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS REACCIONES METABÓLICAS. EL ATP Y LAS ENZIMAS.

[Busca información sobre: concepto de catalizador, ejemplos de catalizadores y procesos industriales que los emplean]

Todas las reacciones metabólicas están **catalizadas por enzimas**. Las enzimas son proteínas que aumentan la velocidad de dichas reacciones químicas. De hecho, sin ellas las reacciones no tienen lugar. Por ello, **las enzimas permiten y controlan las reacciones**.

[Busca: enfermedad metabólica producida por la falta de una enzima (hay cientos de ellas) y enumera sus síntomas].

1. Casi nunca a partir de unas sustancias de partida o sustratos se obtiene un producto que resulte de utilidad a la célula. Generalmente se requieren varias reacciones en cadena: las reacciones metabólicas se organizan en **rutas**, de manera que el producto de una reacción sirve como sustrato de la siguiente. Por lo tanto, para llegar a un producto final hay que pasar por una serie de reacciones intermedias, cada una de ellas catalizada por una enzima diferente: la célula dispone de la materia A y de ahí tiene que obtener F.



Donde  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$  y  $E_5$  son cinco enzimas diferentes.

2. En cualquier reacción química, fuera y dentro de los seres vivos, la energía está presente. En unos casos se desprende y en otros hay que aportarla. En las células, el **ATP** está siempre involucrado en los desprendimientos o consumos de energía de las reacciones metabólicas. En unos casos habrá **síntesis** (formación) y en otros descomposición. Y siempre que hay un trasvase o transformación energética se produce una pérdida de energía en forma de calor (por eso el cargador del móvil se calienta, las bombillas además de luz emiten calor o los motores de los coches).
3. En muchas reacciones metabólicas algunos electrones pasan de una molécula a otra. Estas reacciones, conocidas como **reacciones de oxidación-reducción**, tienen gran importancia en los seres vivos. Así, por ejemplo, reacciones que incorporan energía, como la fotosíntesis, y reacciones que liberan energía, como la respiración, son reacciones de oxidación-reducción. Los electrones contienen energía que es la que se aprovecha para realizar las reacciones. [Perder electrones es oxidarse; ganar electrones es reducirse. Si un átomo pierde electrones es porque otro los gana].

### 1.2.2. EL ATP

Todos los seres vivos tenemos que tomar energía del medio ya que no podemos crearla. Los organismos autótrofos utilizan la energía de la luz y la “guardan” en los enlaces químicos de la

materia orgánica que fabrican mediante la fotosíntesis. El resto de seres vivos (organismos heterótrofos) tomamos la energía contenida en la materia orgánica de los alimentos.

El **ATP** es una molécula que actúa como transportador de energía en las células de TODOS los seres vivos. Esta energía química almacenada en el ATP se empleará para llevar a cabo las actividades celulares.

Cuando decimos que la glucosa es una molécula energética, nos referimos a que encierra energía en sus enlaces. Esta energía no puede ser utilizada directamente por las células. Habrá que transformarla en energía útil y esto significa sintetizar ATP.

Químicamente el ATP es un **nucleótido** que está formado por adenina, ribosa y tres grupos de ácido ortofosfórico (ver esquema), que normalmente llamaremos grupos fosfato. Los enlaces entre los dos últimos grupos fosfatos son importantes en la función del ATP, pues son muy energéticos, es decir, para formarlos hace falta suministrar mucha energía. Y esta energía se liberará cuando se rompan.

Cuando un grupo fosfato del ATP se separa por hidrólisis (añadiendo agua y en presencia de la enzima correspondiente) se forma ADP (adenosín difosfato) y se libera energía:



Puede ocurrir también que se liberen dos grupos fosfato, produciéndose AMP (adenosín monofosfato) y libera igual cantidad de energía.



Se escribe Pi para indicar ácido ortofosfórico y no confundirlo con el elemento químico P (fósforo),

El ATP se produce en los procesos de respiración, fermentación y fotosíntesis, tanto en las células procariontas como en las eucariotas. En estas últimas, la respiración ocurre en las mitocondrias y la fotosíntesis en los cloroplastos. La fermentación siempre en el citoplasma celular.

La energía del ATP se emplea en todas las actividades celulares que requieren energía, tales como:

- Las reacciones anabólicas o de biosíntesis.
- El *transporte activo* de moléculas e iones a través de la membrana citoplasmática (transporte en contra de gradiente).
- Los movimientos celulares (contracción muscular, movimiento de cilios y flagelos, etc.)
- La transmisión del impulso nervioso a través de las neuronas.

Podemos considerar al ATP como una “batería recargable” la única batería que permite que funcione la célula, y que habrá que “cargar” oxidando la glucosa u otros nutrientes o utilizando la luz. Por eso, no es estrictamente correcto decir que mediante la fotosíntesis o mediante la oxidación de la glucosa se obtiene ATP: lo que la célula hace es recargar la molécula descargada (ADP o AMP). Estas moléculas ya fueron fabricadas mediante otros procesos anabólicos.

### 1.2.3. LAS ENZIMAS

La mayor parte de las reacciones químicas se desarrollan muy lentamente a temperatura ambiente. En un laboratorio, una reacción puede acelerarse mediante dos mecanismos: calentando los reactivos o empleando catalizadores (lo normal es utilizar ambos). En las células solo se puede elevar la temperatura hasta cierto punto (no más allá de 40°C) y siempre



intervienen las enzimas (en realidad los seres homeotermos mantienen una temperatura constante que facilita las reacciones).

Las enzimas son **catalizadores biológicos** que facilitan las reacciones químicas que tienen lugar en los seres vivos. Sin ellas, las reacciones químicas serían tan lentas que la vida se detendría.

Como todos los catalizadores, las enzimas aumentan la velocidad de una reacción química disminuyendo la cantidad de energía necesaria para ponerla en marcha (energía de activación) y posibilitando que comience.

En las reacciones enzimáticas la sustancia o sustancias que reaccionan y sobre las cuales actúa la enzima se llaman **sustratos**. Las enzimas se unen temporalmente a sus sustratos formando un complejo **enzima-sustrato**. Luego se rompen esos complejos, liberando el **producto** de la reacción y recuperándose la enzima intacta, por lo que puede volver a actuar.



La unión del sustrato a la enzima tiene lugar en una pequeña parte de la molécula de enzima que tiene forma de hueco o cavidad, denominada **centro activo**. En el centro activo existen unos aminoácidos encargados de reconocer el sustrato para la formación del complejo ES y otros encargados de la fase catalítica es decir, de la transformación del sustrato en producto.

Muchas reacciones enzimáticas son **reversibles** y las enzimas, como todos los catalizadores, aceleran la reacción tanto en un sentido como en otro. Puesto que sin enzimas no hay reacciones, estas moléculas son las responsables de que haya metabolismo y en definitiva de que la célula y el organismo funcione. La carencia de una sola enzima puede ocasionar enfermedades o defectos muy graves (Se conocen como metabolopatías y tienen un origen genético: un error en el ADN hace que la enzima sea defectuosa. Ej: la fenilcetonuria)

(<https://www.abacid.es/contenidos/Publicaciones.aspx> Dentro de la página, pincha en “prueba del talón ampliada”)

Principales propiedades de las enzimas:

- **Son proteínas**. Algunas proteínas enzimáticas para llevar a cabo su función necesitan de otras moléculas, que pueden ser orgánicas o bien iones minerales. (Si son orgánicas reciben el nombre de coenzimas).

- **Son específicas**. Esto quiere decir que cada enzima cataliza sólo una reacción particular o un tipo de reacciones muy relacionadas. Así, la sacarasa únicamente actúa sobre la sacarosa y la lactasa sobre la lactosa (las bacterias del yogur degradan la lactosa pero no pueden aprovechar la sacarosa); los humanos tenemos amilasas que descomponen el almidón, pero no tenemos celulasa, por lo que no digerimos la celulosa (aunque sabemos que almidón y celulosa son moléculas muy semejantes constituidas por unidades de glucosa).

- **No se consumen** en la reacción. Como consecuencia de ello, pueden utilizarse muchas veces.

- **Se inactivan por el calor**. Esto es debido a que son proteínas. La mayoría de las enzimas se desnaturalizan a temperaturas superiores a 45°C y por tanto pierden su función.

- Son **sensibles a los cambios de pH**. La mayoría de las enzimas trabajan a pH neutro y los cambios de pH afectan a su actividad. Normalmente, por debajo y por encima de su pH óptimo, las enzimas disminuyen su actividad.

- Son **catalizadores muy eficientes**. Una molécula de enzima puede catalizar la transformación de miles a millones de moléculas de sustrato por minuto. Por tanto, sólo se necesita un pequeño número de moléculas de enzima para llevar a cabo una reacción.

(Muchas enzimas se nombran añadiendo el sufijo -asa al nombre del sustrato, o tipo de sustrato, sobre el que actúan. Así, la enzima que actúa sobre la sacarosa se llama sacarasa).

#### 1.2.4. INCORPORACIÓN Y GASTO DE ENERGÍA EN LOS SERES VIVOS

La vida depende de una incorporación continua de energía. La fuente inicial de energía es el Sol (Hay alguna excepción). Los organismos productores absorben la energía solar durante la fotosíntesis y la incorporan a la materia orgánica que fabrican. Parte de esta energía almacenada en la materia orgánica pasa a los consumidores, que se alimentan de los productores o de otros consumidores y a los descomponedores (recuerda el flujo de materia y energía en los ecosistemas).

Los seres vivos utilizan la energía contenida en la materia orgánica para realizar todas sus funciones vitales. Para ello, llevan a cabo la **oxidación** de dicha materia mediante un proceso conocido como **respiración** (catabolismo). La respiración se da en la mayor parte de los organismos pero hay otro mecanismo de obtención de energía llamado **fermentación** que es empleado por ciertas bacterias y hongos e incluso por algunas de nuestras células en circunstancias especiales. La fermentación es también una oxidación pero sin empleo de oxígeno.

Por tanto, los seres vivos incorporan energía del medio, luego la almacenan durante un tiempo y finalmente la utilizan en sus funciones vitales. Durante este proceso parte de dicha energía se convierte en trabajo y otra parte se transforma en calor que no puede volver a ser utilizado. Es por ello, y ya se vio al hablar de la energía en los ecosistemas, que necesitamos un continuo aporte energético (la materia se recicla, pero la energía no).

#### 1.2.5. LA PRODUCCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA: FOTOSÍNTESIS Y QUIMIOSÍNTESIS.

La **fotosíntesis** (*foto=luz; síntesis=fabricación*) es el proceso en virtud del cual algunos organismos, como cianobacterias, algas y plantas son capaces de captar la energía luminosa y transformarla en energía química (encerrada en la materia orgánica y en el ATP).

Estos organismos consiguen producir mediante la fotosíntesis una gran variedad de compuestos orgánicos que contienen energía química. En las algas y las plantas estas reacciones químicas se desarrollan en los cloroplastos. El oxígeno resulta ser un producto residual de la fotosíntesis (por eso se expulsa).

Los primeros productos de la fotosíntesis son moléculas orgánicas sencillas a partir de las cuales se obtendrán glúcidos, lípidos y proteínas más complejos. Las materias primas que se precisan para la fotosíntesis son el **agua y sales minerales** procedentes del suelo y el **CO<sub>2</sub>** del aire que penetra en las hojas a través de los estomas y se difunde al interior. La energía, imprescindible para el proceso, la proporciona la **luz solar**.

La clorofila (pigmento que da color verde a la planta) se encarga de captar la energía luminosa para que pueda ser transformada en energía química. Una parte quedará almacenada en los enlaces del ATP, y será utilizada en las reacciones químicas propias de este complejo proceso de fotosíntesis.

Las reacciones químicas de la fotosíntesis las agrupamos en dos procesos: fase luminosa y fase oscura.

La **fase luminosa** se llama así porque para su realización es indispensable la presencia de luz. El primer paso para la conversión de la energía luminosa en energía química es la absorción de la luz. Las moléculas encargadas de absorber la energía de la luz son los pigmentos fotosintéticos, siendo el más importante la clorofila.

Cuando la luz incide sobre una molécula de clorofila, la energía es transferida a dos de sus electrones (los fotones golpean la clorofila y le arrancan dos electrones) y posteriormente es utilizada para formar ATP. De esta forma la energía luminosa queda fijada en los enlaces químicos del ATP. La energía captada por la clorofila se utiliza también para descomponer el



agua en hidrógeno y oxígeno (Fotólisis del agua). Los hidrógenos se utilizarán en la fase siguiente, el oxígeno es liberado al medio (como un residuo) y los dos electrones de los hidrógenos serán cedidos a la clorofila para que recupere los que perdió.

La **fase oscura** se denomina así porque no depende directamente de la luz, aunque no es obligado que tenga lugar en la oscuridad. En esta segunda etapa de la fotosíntesis, se utilizan los hidrógenos, los electrones y la energía del ATP, obtenidos en la fase luminosa, para *reducir* el carbono procedente del CO<sub>2</sub> y formar glucosa [reducir: darle electrones y además protones (H<sup>+</sup>). Tomando seis moléculas de dióxido de carbono, y añadiendo hidrógenos se produce la glucosa]

La reacción global que resume todo el conjunto de reacciones químicas de la fotosíntesis es la siguiente:  $6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$

Las moléculas de glucosa producidas por la fotosíntesis son rápidamente utilizadas para formar almidón que se almacena en las células.

Las células utilizan los azúcares de la fotosíntesis de muchas formas:

- **Respiración**. La glucosa puede oxidarse para obtener energía.

- **Reserva de energía y de materia**. Los azúcares que no se necesitan inmediatamente para la respiración son transformados otra vez en almidón y almacenados. Algunas plantas lo hacen en las células de sus tallos o de sus raíces. Otras plantas, como la patata, tienen órganos de almacenamiento especiales (tubérculos). Los azúcares también pueden almacenarse también en las semillas de algunas especies de plantas, como los cereales (contienen almidón). Los frutos de muchas plantas, las uvas por ejemplo, contienen gran cantidad de sacarosa, en este caso para atraer animales que diseminarán las semillas.

- **Síntesis de otras sustancias**. A partir de la glucosa y añadiendo sales minerales, los vegetales producen el resto de las moléculas que precisan. Para fabricar proteínas una planta necesita nitrógeno y azufre, además de carbono, hidrógeno y oxígeno. Estos elementos los obtiene del medio en forma de sales minerales. El nitrógeno para esta síntesis viene de los **nitratos** que son absorbidos del suelo por las raíces. El azufre es absorbido del suelo en forma de **sulfatos**. El fósforo es necesario para el ADN y para el ATP y se toma como **fosfato**. También precisan sodio, potasio, calcio...

[Anota la composición de los sacos de abono que echan vuestros padres al olivar]

La **quimiosíntesis**, al igual que la fotosíntesis es un proceso de nutrición autótrofa: se parte de materia inorgánica sencilla como fuente de materia pero como fuente de energía va a emplear la que se desprende de ciertas reacciones químicas de sustancias presentes en el medio. Estos procesos son realizados sólo por algunos grupos de bacterias. Por citar un ejemplo, algunas especies utilizan el H<sub>2</sub>S procedente de emisiones volcánicas submarinas o aguas termales para obtener energía mediante la oxidación a azufre (el S<sup>2-</sup> pasa a S<sup>0</sup> e incluso puede ser oxidado con oxígeno quedando como S<sup>2+</sup>). Estos dos electrones arrancados aportarán una energía que será empleada de modo semejante a la de la luz en la fotosíntesis. Se han descubierto no hace muchas décadas ecosistemas submarinos en los que el nivel trófico de los **productores** está ocupado por estas bacterias, alrededor de las cuales viven multitud de organismos. Estos ecosistemas se encuentran en el rift de las dorsales oceánicas, allí donde la actividad volcánica es muy elevada y hay numerosas emisiones de gases disueltos en el agua marina caliente.

[Busca información acerca de los “humeros” o fumarolas negras y de los gusanos llamados “Riftia”].

### 1.2.6. LA RESPIRACIÓN.

La respiración es un proceso químico que tiene lugar en las células. No debe ser confundida con los procesos de intercambio de gases, que tienen lugar en los pulmones. De ahí que se denomine también respiración celular. Todas las células tienen que obtener energía de los

nutrientes orgánicos, **incluidas las células vegetales**. Para ello, los degradan mediante procesos de oxidación y transfieren la energía al ATP. La energía almacenada en el ATP es la que luego utiliza la célula para llevar a cabo todas sus actividades.

**La respiración es el proceso más frecuente mediante el cual las células obtienen energía de los nutrientes. Consiste en la oxidación completa de los nutrientes orgánicos utilizando el oxígeno. Por tanto, es un proceso *catabólico* y *aeróbico*.**

La glucosa es el principal nutriente que utilizan las células para obtener energía. Durante la respiración la glucosa se oxida completamente a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O siendo la reacción global de este proceso la siguiente:



La molécula de glucosa se degrada en una compleja serie de reacciones, cada una de ellas catalizada por una enzima diferente. De esta forma la energía se libera poco a poco y se consiguen formar 38 moléculas de ATP (Se consiguen “recargar” 38 moléculas de ATP).

La energía almacenada en el ATP la utilizan los seres vivos para lo siguiente:

- Los animales para el movimiento (contracción muscular), para transmitir impulsos nerviosos, para transportar sustancias en el interior del cuerpo y para realizar muchas reacciones de anabolismo.
- Las plantas para tomar las sales minerales del suelo, para transportar nutrientes y para realizar muchas reacciones de anabolismo.
- Todos los seres vivos necesitan energía para su crecimiento, para la división celular, para el transporte activo de iones y moléculas y, en definitiva, para mantenerse vivos.

Otra parte de la energía de la glucosa se disipa en forma de calor. En los animales endotermos (aves y mamíferos) este calor es retenido para mantener la temperatura de su cuerpo. En las plantas el calor se pierde emitiéndose al medio (fundamentalmente por evaporación de agua) tan rápido como se produce (las actividades de los vegetales no requieren un gasto tan grande de energía como las de los animales por lo que se emite muy poco calor).

En las **mitocondrias** tiene lugar la mayor parte de las reacciones de la respiración aeróbica. Por tanto, es en este orgánulo donde se genera la mayor parte del ATP que la célula eucariota utiliza como fuente de energía para todas sus actividades.

### 1.2.7. LA FERMENTACIÓN.

La fermentación es un proceso de obtención de energía de los nutrientes orgánicos sin la intervención del O<sub>2</sub>. Por ello se trata de un proceso **anaeróbico**. Dado que la vida surgió en una atmósfera que carecía de oxígeno, la fermentación es el proceso más antiguo mediante el cual los seres vivos obtienen energía de los nutrientes. Además es un proceso más sencillo y menos eficiente. La fermentación consiste en una degradación parcial de los nutrientes orgánicos obteniendo energía en forma de ATP y dando como productos finales compuestos orgánicos más simples que los iniciales (más oxidados, esto es, con menos electrones y protones). Un nutriente muy utilizado en la fermentación es la glucosa.

**Fermentación alcohólica.** Las levaduras (hongos unicelulares) degradan la glucosa obteniendo ATP y dando como productos finales etanol y CO<sub>2</sub>. Se trata de la fermentación alcohólica cuya reacción global es la siguiente:



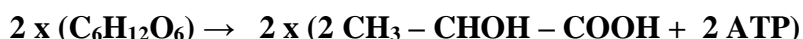
Al igual que la respiración aeróbica, la fermentación es un proceso que consta de diversas reacciones, cada una de las cuales está catalizada por una enzima diferente. Dichas reacciones se realizan en el citoplasma de la célula. En la fermentación se produce mucha menos energía que en la respiración: por cada molécula de glucosa degradada se obtienen solo 2 moléculas de ATP en lugar de 38. Esto es porque el alcohol es un compuesto orgánico que todavía contiene una gran cantidad de energía, que la levadura es incapaz de utilizar. (El alcohol es una molécula





más oxidada que la glucosa pero menos que el dióxido de carbono). Para la célula de levadura el producto importante de la fermentación es el ATP cuya energía utilizan para su crecimiento y actividades vitales; el alcohol y el CO<sub>2</sub> son productos de desecho (estos productos sin embargo nos resultan muy útiles a los humanos y por eso llevamos varios miles de años utilizando levaduras y bacterias fermentadoras).

**Fermentación láctica.** Esta fermentación la realizan algunas bacterias del género Lactobacillus y Streptococcus. Para ello, descomponen la lactosa (azúcar de la leche), según la reacción global siguiente:



En esta fermentación la glucosa se degrada a ácido láctico y se obtienen en el proceso 2 moléculas de ATP. Los lactobacilos se encuentran en los productos lácteos e intervienen en la elaboración de derivados de la leche, tales como el queso, el yogur, la cuajada, etc. (cada molécula de lactosa es previamente dividida en sus dos monosacáridos integrantes).

**También se produce esta reacción en las células musculares de nuestros músculos esqueléticos. Así, durante una actividad física intensa no llega suficiente oxígeno a las células musculares las cuales obtienen su energía mediante fermentación, degradando la glucosa a ácido láctico.** La producción de ácido láctico en estas células es la causa de la fatiga muscular y también, parece ser, de las agujetas. (Ejercicios anaeróbicos).

(Como no están las cosas para tirar nada, las moléculas de ácido láctico son más tarde recompuestas a glucosa en el hígado con un pequeño gasto de energía).

### 1.3. RELACIÓN ENTRE DURACIÓN E INTENSIDAD DE UN EJERCICIO FÍSICO Y VÍA METABÓLICA PREDOMINANTE.

En educación Física se habla con frecuencia de ejercicios aeróbicos y anaeróbicos. Ambos hacen referencia a la manera en que el organismo obtiene la energía, con oxígeno en el primer caso y sin él en el segundo. Aunque en los dos tipos de ejercicios se dan los dos procesos, es verdad que en cada uno de ellos predomina uno de los dos tipos de reacciones. Así, podemos diferenciar los ejercicios físicos:

**Ejercicios aeróbicos:** son ejercicios de media o baja intensidad y de larga duración, donde el organismo quema hidratos y grasas para obtener energía y para ello necesita oxígeno. Son ejemplos de ejercicios aeróbico: correr, nadar, ir en bici, caminar, etc. Se suele utilizar a menudo para bajar de peso, ya que como hemos dicho, con este tipo de ejercicio se quema grasa. También, al necesitar mucho oxígeno, el sistema cardiovascular se ejercita y produce numerosos beneficios.

[Oxidación con oxígeno es sinónimo de combustión o de quema. Piensa qué es realmente lo que ocurre dentro de un motor de coche o al quemar un leño en la chimenea].

**Ejercicios anaeróbicos:** son ejercicios de alta intensidad y de poca duración. No se utiliza oxígeno porque no se dispone de él y la energía proviene de fuentes inmediatas que no necesitan ser oxidadas por el oxígeno, como son el ATP muscular, la PC o fosfocreatina y la glucosa. Son ejemplos de ejercicios anaeróbicos: hacer pesas, carreras de velocidad y ejercicios que requieran gran esfuerzo en poco tiempo. Este tipo de ejercicios son buenos para el trabajo y fortalecimiento del sistema musculoesquelético (tonificación).

La elección de un tipo de ejercicio depende de los objetivos que se tengan, aunque en el ámbito de la salud es recomendable alternar y complementar ambos tipos de ejercicios, ya que se conseguirán beneficios cardiovasculares y musculares.

#### 1.4. CONSUMO Y DÉFICIT DE OXÍGENO: CONCEPTO, FISIOLÓGIA Y APLICACIONES.

En condiciones de reposo las células de nuestro organismo demandan una cierta cantidad de oxígeno para oxidar materia orgánica en las mitocondrias y así obtener la energía que precisan para sus funciones.

Si emprendemos un ejercicio (echar a correr por ejemplo), el organismo tiene que hacer frente a un gasto de energía súbito y para ello necesitaría una cantidad extra de oxígeno que no llega a las células porque todavía el corazón no ha empezado a bombear más sangre ni los pulmones han aumentado su tasa de ventilación. Se dice que hay un déficit de oxígeno.

Así la situación, las células musculares implicadas en el movimiento agotan todo el ATP que poseen y rápidamente utilizan una molécula que tienen de reserva, la fosfocreatina (CP), que emplean para recargar el ATP consumido (transformado en ADP).



Pero la reserva de fosfocreatina es limitada y se agota en apenas 20 segundos. Estos dos procesos iniciales no utilizan oxígeno y por eso se habla de **anaerobiosis láctica** (porque no se produce ácido láctico).

Como todavía no llega el oxígeno suficiente por la sangre, las células musculares recurren a fermentar la glucosa obteniendo la energía que se precisa (siempre en forma de ATP) y producen ácido láctico como desecho. Por lo tanto trabajan en **anaerobiosis láctica**.

Solo a partir de los tres minutos de haber empezado el ejercicio el mayor aporte de oxígeno permite hacer a las células musculares respiración y por lo tanto trabajar en **aerobiosis**. En aerobiosis las mitocondrias oxidan glucosa pero también pueden recurrir a las grasas y a los aminoácidos. . [Se pasa de mover 5 litros de sangre por minuto a más de 20 y de introducir 0,5 litros de aire en cada inspiración y de hacer unas 14 inspiraciones por minuto a inspirar 3 litros 40 veces por minuto].

En la naturaleza, plantas, animales, hongos y bacterias realizan la respiración de forma habitual pero de entre ellos hay algunos grupos de seres vivos, preferentemente bacterias, que cuando se agota el oxígeno disponible o bien porque habitan en medios anóxicos (sin oxígeno) pueden mantenerse vivos y activos recurriendo a la fermentación.

Los organismos que pueden vivir en presencia o en ausencia de oxígeno se les denomina anaerobios facultativos y a los que nunca utilizan el oxígeno e incluso su presencia les es dañina son llamados anaerobios estrictos (Un ejemplo de este último tipo es la bacteria del tétanos y de ahí la costumbre de limpiar las heridas con agua oxigenada).

La especie humana (y por extensión a los mamíferos) somos seres aerobios y en ausencia de oxígeno morimos en cuestión de minutos por falta de energía útil (ATP). La muerte se produce porque el sistema nervioso, que controla el organismo es el primero que se ve afectado por la anoxia. Y si falla el sistema de control, falla el organismo completo.



Resumiendo el proceso hay que insistir en que la adaptación del organismo al ejercicio no es instantánea y los músculos deben contraerse cuando se les ordena, para ello cuentan con una reserva de “baterías cargadas”, el ATP, que rápidamente son utilizadas y descargadas (se transforman en ADP). Hay un segundo mecanismo: recargar las baterías con el grupo fosfato que contienen otras moléculas, las de fosfocreatina. Pero también se agotan al cabo de muy poco tiempo. Mientras tanto las células musculares ya han empezado a fermentar glucosa. Sin estos procesos anaeróbicos iniciales sencillamente no podríamos emprender ningún ejercicio porque no tendríamos de energía (ni levantarnos de la silla, ni caminar, ni subir escaleras,...). Estos procesos están diseñados para dar tiempo a que el sistema cardiopulmonar pueda suministrar oxígeno suficiente para oxidar la glucosa ahora ya en las mitocondrias y obtener toda la energía que necesitarán las células musculares.

### 1.5. ADAPTACIÓN FISIOLÓGICA TISULAR A LA ACTIVIDAD FÍSICA

Un organismo vivo reacciona a los estímulos (función de relación) y si realiza ejercicio físico de manera regular, diferentes tejidos, órganos y aparatos sufren modificaciones para responder a las exigencias que suponen esas actividades “extras”.

Los seres vivos cumplen con un principio básico: el del mínimo esfuerzo.

[mailto:http://elpais.com/elpais/2015/09/10/ciencia/1441894457\\_406695.html](mailto:http://elpais.com/elpais/2015/09/10/ciencia/1441894457_406695.html)

Fabricar y mantener un cuerpo supone un gasto importante de materia y energía que hay que conseguir con gran esfuerzo (hay que comer y digerir mucha hierba y evitar que otros te coman si eres herbívoro y cuesta mucho cazar si eres carnívoro, por poner dos ejemplos).

Volviendo al caso de los humanos, contamos con un cuerpo que dispone de unos aparatos y sistemas adaptados al uso que se les da. Si comenzamos a hacer ejercicio de manera regular, el organismo “entiende” que debe ser más eficaz en las nuevas condiciones y como se explicó en el apartado anterior comenzarán a desarrollarse los músculos que se ejercitan creándose nuevas células y también lo harán los huesos para poder atender al mayor esfuerzo a que se ven sometidos. Y por supuesto el sistema cardiovascular también sufre modificaciones. El corazón aumenta de tamaño y se crean nuevos vasos sanguíneos en torno a los músculos para poder llevar más sangre. Los pulmones también se desarrollan aumentando su capacidad.

[Un ejemplo de este principio de mínimo esfuerzo o ahorro es el que se aprecia cuando tras la fractura ósea de un miembro, este se inmoviliza con una escayola durante un tiempo: al quitar la escayola, el brazo o pierna aparecen muy adelgazados con respecto al brazo o pierna no accidentado. El organismo “entiende” que si no se utiliza ese miembro, para qué mantener una cantidad “sobrante” de músculo y de hueso. Bastarán unas semanas de ejercicio para que hueso y músculo recuperen su tamaño normal].