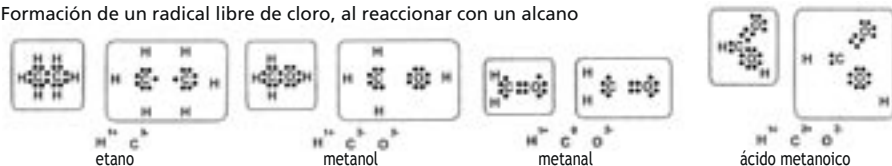


Formación de un radical libre de cloro, al reaccionar con un alcano



búsqueda va asociada la formación de otro radical libre, y así sucesivamente, generándose una suerte de reacción en cadena.

Un radical libre es, por lo tanto, una especie neutra con un carbono que tiene sólo tres enlaces y siete electrones de capa externa, uno de los cuales no está apareado. Una reacción muy estudiada sobre radicales libres es la de la destrucción de la capa de ozono por medio de los clorofluorocarbonos (haloalcanos o halogenuros de alquilo, de acuerdo con el lenguaje IUPAC para la química orgánica). En este proceso, las moléculas halogenadas se disocian por efecto de la radiación en la estratosfera y generan un radical libre de cloro con sólo siete electrones, el cual reacciona posteriormente con la molécula de ozono, y así se genera la reacción en cadena que va destruyendo la capa de este importante gas protector de rayos UV.

Los radicales libres no son necesariamente malos, pero cuando se encuentran en exceso en el cuerpo por un desequilibrio alimenticio o fisiológico, pueden generar trastornos graves y acelerar el envejecimiento. Ejemplos son el SOD (ión superóxido) y el hidroperóxido. Los electrones libres también pueden reaccionar entre sí, formando especies neutras (el oxígeno) e iones (el hidróxido).

## VI. Actividades

1. Conviene realizar esta actividad con alumnos del Área II o de opciones químico-biológicas de otros bachilleratos, aunque también puede adaptarse para segundo de preparatoria y primer año de CCH.
  - a) Hacer la lectura del artículo y solicitar a los alumnos que anoten todos los temas mencionados que les sean conocidos.
  - b) Volver a hacer la lectura e identificar ahora aquellos conceptos (tanto químicos como bioquímicos) que no queden del todo cla-

ros o tengan un mayor grado de dificultad para comprenderse.

- c) Proponer a los alumnos que formen equipos y cada uno elabore entre cinco y 10 preguntas con las dudas que les hayan surgido.
  - d) Identificar entre todos cuáles son esas dudas y los temas de biología (bioquímica) o química orgánica en los que hay que incidir.
  - e) Solicitar a los alumnos que intercambien sus cuestionarios y asignar un tiempo adecuado (dos días, como mucho) para que se contesten los cuestionarios elaborados.
  - f) Compartir las respuestas en una sesión plenaria en la que se haga conciencia de la importancia de la integración que existe entre el conocimiento químico y el conocimiento biológico.
2. Proponer que los alumnos elaboren un menú equilibrado en cuanto a aporte energético, vitamínico y de antioxidantes, en el que se haga consulta de las tablas de nutrición en las que se marcan los niveles adecuados de cada nutriente de acuerdo con cierta porción del alimento considerado.
  3. Investigar con mayor profundidad cómo funcionan de manera combinada la vitamina E (tocoferol) y la vitamina C (ácido ascórbico).

## VII. Bibliografía

- Garritz, A. y J. A. Chamizo, *Química*, Addison Wesley Iberoamericana, México, 1994.
- Bailey y Bailey, *Química orgánica. Conceptos y aplicaciones*, Pearson Educación, México, 1998.
- K. Timberlake, *Chemistry. An introduction to General, Organic and Biological Chemistry*, Addison Wesley Longman, 1999.

Los profesores pueden copiar esta guía para su uso en clase. Para cualquier otro uso es necesaria la autorización por escrito del editor de la revista.

# Cuando el estrés oxidativo nos alcance

De: Agustín López Munguía  
(No. 89, p. 10)

## Maestros:

Esta guía se ha diseñado para que un artículo de cada número de *¿Cómo ves?* pueda trabajarse en clase con los alumnos, de modo que se adapte a los programas de ciencias naturales y a los objetivos generales de estas disciplinas a nivel bachillerato. Esperamos que la información y las actividades propuestas sean un atractivo punto de partida o un novedoso "broche de oro" para dar un ingrediente de motivación adicional a sus cursos.

## I. Relación con los temarios de la UNAM

Esta guía y el artículo pueden usarse en las materias de química y biología, particularmente cuando se abordan los procesos oxidativos de las rutas metabólicas (bioquímica). También son pertinentes en materias relacionadas con las ciencias de la salud.

## II. Los temas

En el artículo de referencia encontramos una enorme riqueza conceptual, que puede aprovecharse para el desarrollo de diversas temáticas en las clases de química o biología donde se estén estudiando los procesos metabólicos. Es por ello importante detectar los principales contenidos que se pueden abordar en cada parte del artículo y estructurar así un mejor uso de éste como herramienta didáctica en la clase. Al seguir el artículo en el orden que plantea el autor, las temáticas consideradas son las siguientes: la oxidación;

metabolismo y obtención de energía por medio de ATP y óxido-reducción de grasas y aceites; los malos de la película: formación de radicales libres; el ión superóxido, y agentes antioxidantes naturales.

## III. Metabolismo, catabolismo y anabolismo

El conjunto de todas las reacciones químicas que suceden en las células vivas y que implican el rompimiento o la formación de moléculas se conoce como metabolismo. Muchas de las reacciones, cada una de ellas catalizada por una enzima específica, se llevan a cabo de manera seriada, formando una especie de cadena reactiva a la que se llama ruta metabólica. Algunas rutas metabólicas producen energía como resultado del proceso reactivo, otras, por el contrario, la consumen para que las reacciones se lleven a cabo.

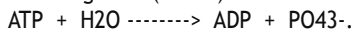
Cuando digerimos los alimentos, los productos que se obtienen son lo suficientemente pequeños (moléculas de glucosa) para ser absorbidos por las células del cuerpo. Una vez dentro de la célula, la oxidación de estas moléculas libera energía, que se almacena en los enlaces de un compuesto conocido como adenosin trifosfato o trifosfato de adenosina (ATP). Nuestras células requieren de ATP para que los tejidos y órganos del cuerpo puedan hacer un trabajo: contraer los músculos, sintetizar moléculas más grandes como proteínas, enviar impulsos nerviosos y transportar sustancias a través de las membranas celulares.

Existen dos tipos de reacciones metabólicas: las catabólicas y las anabólicas. En las reacciones catabólicas, las moléculas complejas derivadas de la digestión de alimentos se rompen en moléculas más simples y en el proceso se libera energía. Las reacciones anabólicas requieren energía para construir moléculas a partir de otras más simples.

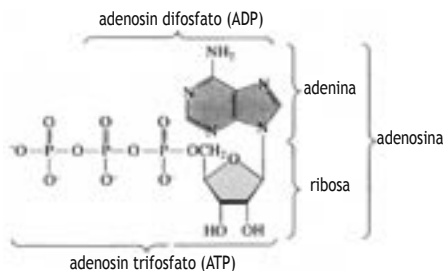
#### IV. Obtención de energía por medio del ATP

En nuestras células, la energía que se libera de la oxidación de los alimentos se utiliza para que, a partir de la reacción entre otras moléculas e iones presentes en el protoplasma, se forme el ATP. Este proceso sucede en las mitocondrias, los organelos responsables de producir energía para la célula. La mitocondria tiene dos distintos tipos de membrana, una interior y otra exterior. La región que se encuentra entre las dos se conoce como espacio intermembranas y en el compartimiento central del mismo se encuentra la matriz. Las moléculas de carbohidratos, grasa y aminoácidos se mueven a través de la membrana exterior hacia la matriz, donde las enzimas pueden oxidarlos a dióxido de carbono y agua. La energía liberada en el proceso es la que se utiliza para formar el ATP, que tiene tres partes: adenina (un amino-acido), ribosa (un glúcido) y tres grupos fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) inorgánicos. El ATP se puede comparar con una pila que funciona dentro de la célula: provee de energía al sistema al llevar a cabo ciertas reacciones, pero la energía de la molécula se acaba si no se recarga.

La energía de las moléculas de ATP se libera cuando éste lleva a cabo reacciones de hidrólisis, es decir, cuando reacciona con una molécula de agua. Por cada mol de ATP se liberan de siete a 12 kCal de energía, y los productos de la reacción son el adenosin difosfato (difosfato de adenosina) y un ión fosfato inorgánico (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>):



En una célula que esté realizando alguna tarea metabólica se pueden hidrolizar de uno a dos millones de moléculas de ATP por segundo. Tanto en la formación de ATP como



en su hidrólisis intervienen procesos de óxido-reducción.

#### La óxido-reducción

Históricamente, los términos oxidación y reducción se aplicaron a procesos en los que ocurre transferencia de oxígeno, de hidrógeno o de electrones. Así, la oxidación se expresaba sólo como la ganancia de oxígeno (o pérdida de electrones) y la reducción, como la ganancia de hidrógeno (o de electrones).

En el área de química inorgánica, y en particular para los compuestos iónicos, este concepto evolucionó a la ganancia o pérdida de electrones exclusivamente. Así, un metal que pierde electrones frente a un agente oxidante (oxígeno, cloro, bromo, ión nitrato, ión sulfato, etc.) se oxida, y la otra especie (otro metal, o un no metal, por ejemplo) simultáneamente se reduce.

En química orgánica esta asignación no es tan simple, porque al tratarse de compuestos siempre covalentes, la transferencia electrónica no ocurre, y sólo hay cambios en los entornos electrónicos de los diferentes átomos de las moléculas (esos cambios son más notables en las fracciones moleculares que presentan el grupo funcional característico).

Dado que la química orgánica es tan parte de la química como la inorgánica, hoy en día se acepta más definir la óxido-reducción como un cambio en los números de oxidación de los átomos reactivos. Hay que recordar que el número de oxidación no es la carga ni la valencia de un átomo, sino una convención que los químicos han inventado para poder entender qué cambios de entorno electrónico hay en las distintas moléculas después de una reacción

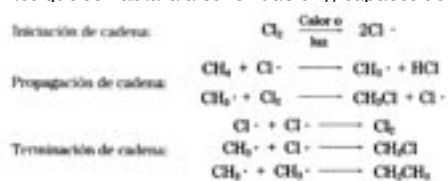
de tipo redox. Se trata de un número entero que se asigna a cada elemento presente en un compuesto, con la idea de comparar el ambiente electrónico de ese mismo elemento con el de su estado libre.

La forma más operativa para decidir si un elemento se ha oxidado es ver si ha aumentado su número de oxidación (aumento de izquierda a derecha en una recta numérica de -7 a +7), y se dice que un elemento se reduce cuando su número de oxidación disminuye (de +7 a -7).

Existe una serie de reglas para asignar números de oxidación que, otra vez, son muy simples en el entorno inorgánico, y se pueden consultar en la bibliografía recomendada. En química orgánica, sin embargo, suele ser difícil utilizar las reglas, y es preferible partir de las estructuras de puntos de Lewis para observar los números de oxidación. Cuando hay grupos funcionales presentes (por ejemplo el -OH o hidroxilo en el caso de un alcohol o un C=O o hidroxilo en una cetona), cada uno de los átomos de carbono puede tener un número de oxidación diferente.

El carbono está muy oxidado en el dióxido de carbono (con un número de oxidación de 4+). Este compuesto puede reducirse (ganar hidrógeno en la convención antigua o reducir el número de oxidación del carbono a 2+ en la convención actual) y convertirse en ácido metanoico o ácido fórmico (HCOOH), el cual, a su vez, puede reducirse a metanol o formaldehído (HCHO), y es posible apreciar la pérdida de oxígeno o el paso del número de oxidación del carbono a 0. Y así sucesivamente hasta llegar al metano, el compuesto de carbono con menor número de oxidación (mayor cantidad de hidrógeno).

En las reacciones metabólicas humanas, el principal agente oxidante es el oxígeno, pero como se explica en el artículo existen otras especies oxidantes (como los radicales libres de los que se hablará a continuación), capaces de



N	Ejemplos
-4	CH <sub>4</sub>
-3	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>
-2	CH <sub>3</sub> OH, CH <sub>3</sub> Cl, CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>
-1	HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH, C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>2</sub>
0	HCHO, CH <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>
+1	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> F <sub>2</sub>
+2	HCOOH
+3	C <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub>
+4	CO <sub>2</sub> , CF <sub>4</sub>

cambiar drásticamente el entorno electrónico de las sustancias con las que chocan. Cuando estas reacciones no están en equilibrio en el organismo (por falta de antioxidantes que reaccionen primero con los radicales y eviten el deterioro a nivel celular) el resultado es el envejecimiento prematuro o la generación de un proceso degenerativo maligno como el cáncer y otras enfermedades.

#### V. El oxígeno y los radicales libres

El oxígeno es un reactivo básico de las reacciones metabólicas, indispensable en los procesos de digestión y respiración celular. Sin embargo, también exhibe un lado negativo, ya que a lo largo de esos procesos se generan los llamados radicales libres, responsables de muchos de los daños asociados al envejecimiento. Las evidencias más contundentes de que el oxígeno es dañino provienen de estudios con animales; en ellos se ha demostrado que animales criados en cámaras que contienen aire con más del 20% de concentración de oxígeno, viven considerablemente menos tiempo que los que se desarrollan en una atmósfera normal.

Los radicales libres son moléculas que exhiben un electrón desapareado en su estructura, lo cual las hace sumamente reactivas. Los conocimientos que se tienen sobre estructura molecular han demostrado que los electrones adquieren niveles menores de energía (y por lo tanto mayor estabilidad química) cuando se aparean con otro electrón. Un radical libre, por lo tanto, es una especie capaz de arrancarle electrones a cualquier otra especie que encuentre, para reparar su deficiencia. La especie con un electrón desapareado original se estabiliza cuando consigue otro, pero a esa