

El oxígeno en la bioenergética celular

[Dr. Solerme Morales Cudella¹](#)

RESUMEN

La concentración de oxígeno en la atmósfera de la Tierra actualmente es un producto de la evolución de un balance bioquímico biofisiológico entre los animales, quienes consumen el oxígeno, y las plantas que lo generan por medio de la fotosíntesis. La atmósfera en los tiempos del origen de la vida, era notablemente reductora y carente de oxígeno, pues de haber existido éste, las primeras moléculas habrían sido destruidas por oxidación. La incorporación del oxígeno al medio fue lenta y progresiva; y esto facilitó el desarrollo de la vida. Así, los organismos vivos pasaron de una respiración anaerobia a una aerobia que permitió la síntesis de mayor número de moléculas de ATP; sin esta energía no hay vida orgánica, vegetal, animal, ni humana. El solo hecho de estar vivo condiciona determinadas necesidades de energía (ergosia) que son característicos de la etapa del ciclo vital de que se trate, y de no ser satisfechas debidamente, terminan incrementando el riesgo de enfermar en un lapso más o menos largo. El sostén alimentario del estado nutricional es una parte inseparable de la vida, de su duración y calidad. Como la enfermedad en general aumenta los requerimientos metabólicos, la alimentación adecuada se torna un factor indispensable de todo procedimiento terapéutico. La acción efectiva sobre una insuficiencia de oxígeno, ya desarrollada o su prevención, debe ser una constante alerta para el médico actual, con el objetivo de modificar favorablemente el curso de un sinnúmero de enfermedades; y en este sentido el papel de la oxigenación hiperbárica (OHB) debe ser considerado. Conclusiones. Ya no quedan dudas de que el oxígeno es un elemento vital. Entonces, ¿podríamos considerarlo como un nutriente?

DeCS: Aerobia/Ergosia/Nutrición/Oxigenación hiperbárica.

Comencemos el desarrollo de este tema haciéndonos las siguientes preguntas:

¿Qué tiempo puede estar una persona sin:

- Comer? ... semanas.
- Beber agua? ... días.
- Respirar? ... sólo escasos minutos.

Pero, ¿esto fue siempre así? ... Claro que no.

La Tierra se formó hace aproximadamente 4,530 millones de años.

Se cree que durante los primeros 1,500 millones de años se formaron compuestos orgánicos a partir de componentes atmosféricos tales como el hidrógeno, amoníaco, agua y metano; bajo la activación producida por la luz ultravioleta solar, por descargas eléctricas, por ondas de choque, por el calor y otras formas de energía. La concentración de oxígeno en la atmósfera de la Tierra actualmente es un producto de la evolución de un balance bioquímico biofisiológico entre los animales, quienes consumen el oxígeno, y las plantas que lo generan por medio de la fotosíntesis.¹

Lo más probable es que la atmósfera en estos tiempos del origen de la vida, fuera aún notablemente reductora y carente de oxígeno; ya que de haber existido este, las primeras moléculas habrían sido destruidas por oxidación. Este elemento no hizo su aparición hasta mucho más tarde, principalmente como producto de la fotosíntesis de plantas acuáticas, de la descomposición del agua por la acción del sol y de su producción en el interior de la Tierra y su evaporación; de forma lenta y progresiva se fue transformando en una atmósfera rica en oxígeno hasta llegar a los valores actuales, el 21% de la composición del aire atmosférico. Ello facilitó el desarrollo de la vida por 3 razones:

1. Creación de la capa de ozono, que se encuentra a una altura de 10 a 20 kilómetros y evita que las radiaciones ultravioletas solares caigan directamente sobre la Tierra y destruyan la vida en ella.
2. Desarrollo de mecanismos biológicos-enzimáticos de autodefensa de la célula contra la oxidación (superóxido dismutasas, catalasas, peroxidases, citocromoxidasas).
3. Utilización del oxígeno por la célula para su respiración, producción de energía o ergosia (ATP); lo que constituyó una ventaja, ya que se pudieron degradar completamente los componentes orgánicos y disponer de una mayor riqueza bioenergética.

Así, los organismos vivos pasaron de una respiración anaerobia (fermentación o glucólisis: 2 ATP por molécula de glucosa) a una aerobia que permite la síntesis de un mayor número de moléculas de ATP (38 por molécula de glucosa). Sin esta energía no hay vida orgánica, ni vegetal, ni animal, ni humana.

Actualmente el oxígeno es el elemento más abundante de la composición de la

Tierra con el 27,7 %: de cada 5 moléculas de gas atmosférico, 1 es de oxígeno.

El oxígeno como elemento químico fue descubierto por *Priestley*, en 1775;² tiene una masa atómica de 16, masa molecular de 32. El símbolo químico es O. Por ser una molécula diatómica se representa O₂.

Es insípido, inodoro, incoloro en estado gaseoso y azul claro en estado líquido, lo cual se logra a -183 grados centígrados (punto de ebullición). Posee un alto poder de combinación química, excepto con los gases nobles.³ Su uso en medicina fue descrito por primera vez por *Beddoes*, en 1796.⁴ Tiene propiedades tóxicas cuando se respira a presiones superiores a las 3 ATA (intoxicación aguda o neurológica) descrita por *Paul Bert*, en 1878;⁵ o cuando se prolonga a su exposición en una atmósfera de oxígeno puro (intoxicación crónica o pulmonar) descrita por *Lorrain Smith*, en 1899.⁶

Por tanto, el oxígeno, de enemigo fundamentalmente de los organismos anaerobios, pasó a ser necesario e imprescindible para los aerobios y por ende para el desarrollo del hombre; y se convirtió en un elemento vital. “La lucha por mantener la vida orgánica es una guerra por la energía libre” planteó Gibbs, creador de la termodinámica.

El solo hecho de estar vivo condiciona determinadas necesidades de energía (ergosia)⁷ que son características de la etapa del ciclo vital de que se trate, de no ser satisfechas debidamente, terminan incrementando el riesgo de enfermar en un lapso más o menos largo.

Para abastecer y mantener el metabolismo (ergosis), la función biológica más importante de los seres vivos, se necesita el aporte, regular y sistemático, de un conjunto de sustancias químicas conocidas con el nombre de nutrientes, nutrimentos o substratos, contenidos en los distintos tipos de alimentos que conforman la dieta, además de un conjunto de enzimas y el indispensable oxígeno. Estas sustancias generalmente son almacenadas en el organismo, por lo que se cuenta con cierta reserva, excepto el oxígeno, que se consume constantemente, de ahí su carácter vital.

Como la vida representa un trabajo constante de todas las células del organismo, se requiere de una hidrólisis constante de millones de moléculas de ATP, y la ruptura de estas mismas moléculas de ATP, demandan una formación constante de ellas. El sostén alimentario del estado nutricional es una parte inseparable de

la vida, de su duración y calidad. Las moléculas de ATP se forman al final de las sendas metabólicas, en estas sendas son oxidados los nutrientes principales: grasas, carbohidratos y proteínas en presencia de un conjunto enzimático conocido como citocromoxidas.⁸ Cualquier déficit en estos elementos puede conducir a una insuficiencia bioenergética o hipoergosis (Fig. 1).



Fig.

La insuficiencia bioenergética puede clasificarse⁷ en:

Hipoergosis desasimilativa. Alteración en el desprendimiento de la energía acumulada en las moléculas de sustancias alimenticias.

- Hipoergosis subtractiva: no es suficiente la entrada de substratos a la mitocondria.
- Hipoergosis hipóxica: disminución de la entrada de oxígeno a la mitocondria.
- Hipoergosis enzimática: disminución de la actividad de los fermentos del ciclo de Krebs y de la cadena respiratoria mitocondrial (citocromoxidasas).

Hipoergosis acumulativa. Alteración en la acumulación de energía que es liberada por las moléculas de sustancias alimenticias en los enlaces macroérgicos del ATP.

- Hipoergosis subtractiva: Resulta de la insuficiencia de substratos de fosforilación en la mitocondria.
- Hipoergosis desacoplada: desacople de los procesos de oxidación y fosforilación.
- Hipoergosis enzimática: Resulta de la disminución de la actividad de la enzima ATP-asa.

Hipoergosis de utilización. Alteración en el aprovechamiento de la energía acumulada en forma de ATP.

- Hipoergosis transmitocondrial: Por trastornos en la transportación intramolecular del ATP desde la mitocondria, donde se sintetiza, hasta los organelos, donde se utiliza.
- Hipoergosis destructiva: Resulta de la desintegración de las estructuras celulares y de los fermentos contenidos en ellas.
- Hipoergosis enzimática: Disminución de la actividad de la ATP-asa; Alteración en la hidrólisis del ATP (ATP: ADP + P).

Como la enfermedad, en general, aumenta los requerimientos metabólicos, es decir, la necesidad de energía, la alimentación adecuada se torna un factor indispensable de todo procedimiento terapéutico.⁹ El diseño de un apoyo nutricional apropiado pone a prueba el conocimiento y el real ingenio del médico y de los restantes profesionales del equipo de salud.¹⁰

La acción efectiva sobre una insuficiencia de oxígeno, ya desarrollada o su prevención, debe ser una constante alerta para el médico actual, con el objetivo de modificar favorablemente el curso de un sinnúmero de enfermedades; y en este sentido el papel de la oxigenación hiperbárica (OHB),^{11,12} respiración de oxígeno a presiones superiores a la atmosférica, debe ser considerado.

El origen y desarrollo de la OHB¹³ se encuentra estrechamente vinculado con los métodos de compresión y descompresión (efectos físicos sobre los gases) que forman parte del arsenal terapéutico de la Medicina Subacuática; como disciplina médica está contemplada dentro de la Medicina Hiperbárica y se fundamenta en las leyes de los gases y los principios de la Fisiología Ecológica o de Ambientes Especiales.¹⁴

La cantidad de oxígeno disuelto es proporcional a su presión parcial (Ley de Henry), lo que hace que en ciertas situaciones resulte conveniente respirar oxígeno a presiones superiores a la presión atmosférica para aumentar la PO₂ arterial y de esta forma incrementar el transporte de oxígeno disuelto en la sangre.¹⁵ Con los métodos habituales de oxigenoterapia las posibilidades en este sentido son limitadas, ya que la capacidad de la hemoglobina y la solubilidad del oxígeno en condiciones normales es finita y puede variar muy poco (97% de saturación de la hemoglobina y 3% disuelto). Sólo el empleo de las cámaras hiperbáricas hace posible que el plasma se convierta en un transportador activo del oxígeno, lo que trae como consecuencia un incremento significativo de este en el organismo (hiperoxia).

La hiperoxia que se alcanza con la OHB está determinada por la dosis empleada.

La dosis máxima es: 3 ATA de presión, con una exposición de 90 minutos y una frecuencia de 3 sesiones en 24 horas. Esto produce en el organismo:¹¹

- Aumento de la presión de oxígeno del aire alveolar a 2173 mmHg.
- Aumento de la presión parcial de oxígeno arterial a 1800 mmHg.
- Aumento de la presión parcial de oxígeno venoso a 200 mmHg.
- Aumento del oxígeno disuelto hasta 6,6 Vol.-%.

O sea, aproximadamente 20 veces más que en condiciones normales.

Lo más común es emplear 2 ATA, con un tiempo de isopresión de 50 minutos y una sesión diaria; pueden darse ciclos hasta de 30 sesiones consecutivas y repetir estos según la evolución del paciente, tratando de que hayan días de descanso para evitar

la adaptabilidad del organismo y lograr el estímulo necesario para desencadenar efectos positivos sobre el organismo, como:

- La oxidación, proceso en el cual se consume aproximadamente el 80 % del oxígeno que respiramos, se lleva a cabo a nivel mitocondrial y su objetivo es la producción de energía (ATP) por las células, este efecto es puramente antihipóxico, fue el primero de los descritos y justificó el uso de la OHB en los estados de hipoxia por déficit de oxígeno.
- La oxigenación, acción directa del oxígeno en la síntesis y degradación de compuestos, tales como aminas biogénas, catecolaminas, histaminas, xenobióticos, etc. lo que favorece su formación o degradación, según el caso; o actúa en los procesos reparativos, al estimular los fibroblastos y el colágeno, la ostoegénesis y la neovascularización.

La participación de las especies reactivas del oxígeno (ERO)¹⁶ en los procesos de defensa del organismo y como estímulo de mecanismos biológicos antioxidantes que los regulan dentro de ciertos límites, evitando el estrés oxidativo.

Con esta información podemos concluir de forma provisional lo siguiente: ya no quedan dudas de que el oxígeno es un elemento vital. Entonces, ¿podríamos considerarlo como un nutriente? ... Saque usted sus propias conclusiones.

SUMMARY

The current amount of oxygen in Earth's atmosphere is the evolutionary result of a biophysiological and biochemical balances between oxygen-consuming animals and photosynthetically-producing plants.

At the onset of life Earth's atmosphere was devoid of oxygen, and thus was notably reductive.

Having this gas existed, the first molecules would have been destroyed as a result of oxidation. The incorporation of oxygen into the environment was slowly and progressive, and this event contributed to the origin and development of life.

Thus, the living

organisms evolved from an anaerobic mode of respiration to an aerobic one, which allowed the synthesis of a greater number of ATP molecules. Without this form of energy, no organic life would have been possible, whether be it plant, animal or human. The mere fact of being alive requires certain needs of energy (ergosy), which are characteristics of the life cycle's organism. If these energy requirements are not properly satisfied, the risk of becoming sick within a specified period of time increases. Food support of the nutritional wellbeing is essential to life expectancy as well as to its quality. As disease increases the subject's metabolic requirements, proper feeding becomes a key element of every therapeutic procedure. Thus, the physician should be constantly alerted about an oxygen deficiency already established, or take actions for preventing it, always with the goal of favourably modifying the course of several diseases. In this regard, the role of Hyperbaric Oxygenation (HBO) should be considered. There are no doubt then that oxygen is a vital element. Should we then consider it as a nutrient?

Subject headings: aerobic / ergosy / nutrition / Hyperbaric Oxygenation.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Oriani G, Marroni A, Wattel F. Manual de Medicina Hiperbárica. Instituto Ortopédico Galeazzi. Milán: 1995.
2. Priestley J. The discovery of oxygen (1775). Alembic Club Reprints No. 7. University of Chicago Press. Chicago: 1906.
3. Sienko MJ y Plane RA. Química. Edición Revolucionaria, La Habana. 1967.
4. Beddoes T, Watt J. Considerations of the medicinal use of factitious airs, and on the manner of obtaining them in large quantities. Decimoquinta Edición. Part II. Bristol: Bulgin and Rossier, 1794.
5. Bert P. La pression barometrique, recherches de physiologie experimental. Masson, Paris, 1877.

6. Smith U. The pathological effects due to increase of oxygen tension in the air breathed. *J. Physiol.* 1899.
7. Efuni, SN; Shpektor, VA. Gipoksicheskye sostoiania y ij klassifikatsis. (Estados hipóxicos y su clasificación). *Anesteziologiya y Reanimatologiya* 25(2): 3-12, URSS, 1981.
8. Karlson P, Pulido F. Manual de Bioquímica para Médicos, Naturalistas y Farmaceúticos. Editorial Marín, S. A. Barcelona, 1962.
9. Barreto Penié J. Programa de Intervención Alimentaria, Nutrimental y Metabólica del paciente hospitalizado. *Rev Cubana Aliment Nutr* 1999;13(2):137-44.
10. Santana Porbén S. Barreto Penié J, Martínez González C. Control y aseguramiento de la calidad de las medidas de intervención alimentaria y nutrimental. *Rev Cubana Aliment Nutr* 2000;14(2):141-9.
11. National Academy of Sciences. National Research Council. Publication No. 1298. Fundamentals of Hyperbaric Medicine. Washington DC. 1966.
12. Boerema I, Brummelkamp W H, and Meijne N G. Clinical application of Hyperbaric Oxygen. Elsevier Publishing Comp. First Edition. Amsterdam, 1964.
13. Kindwall E P. A History Hyperbaric Medicine. En: Hyperbaric Medicine Practice. Kundwall E P. Best Publishing Comp. 1 st . Ed. Flagstaff, Arizona, 1995.
14. Guyton AC. Tratado de Fisiología Médica. 7ma. Edición. Capítulos VII y VIII. Edición Revolucionaria, 1990.
15. Boerema I, Meijne N G, Brummelkamp W H, et al. Life without blood (A study of the influence of high atmospheric pressure and hypotermia on dilution the blood). *J Cardiovasc Surg* 1960.
16. Salinas, A. Papel biológico de los Radicales Libres. Medicina Subacuática e Hiperbárica. 3a. Edición. pág. 633-649. Instituto Social de la Marina, Madrid, España, 1995.

[1. Especialista de II Grado en Fisiología Humana, Médico Hiperbarista y Asistente de Fisiología de la Universidad Médica de La Habana](#)