

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

CATIE

Centro Interamericano de
Documentación e Información
Agrícola

3 - OCT 1986

C I D I A
Turrialba, Costa Rica

**LA DISPONIBILIDAD DE OXIGENO TERRESTRE
Y LA INFLUENCIA DEL HOMBRE SOBRE EL**

Por

Lincoln Quevedo Hurtado

Departamento de Recursos Naturales Renovables

Octubre de 1986

Turrialba - Costa Rica

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. LA FOTOSINTESIS	2
1.1 Los Bosques	4
2. LA ATMOSFERA	7
3. EL OXIGENO	8
3.1 Efectos de la disponibilidad de oxígeno	10
3.1.1 En el ambiente terrestre	10
3.1.2 En el ambiente acuático	11
4. LAS RESERVAS DE OXIGENO	11
4.1 El pasado	11
4.2 El presente	12
4.3 El futuro	13
5. ALTERACIONES EN EL ESTADO DE EQUILIBRIO	15
5.1 Incremento en la tasa de erosión	15
5.2 Duplicando la fotosíntesis	16
5.3 Cese de la fotosíntesis	18
6. CONCLUSIONES	19
7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	21

1. INTRODUCCION

En nuestro mundo, casi todos los organismos necesitan oxígeno para completar sus ciclos vitales biológicos. La gran mayoría de los vegetales y animales utilizan el oxígeno libre del aire, o del agua, para la oxidación de sustancias orgánicas; éstos son, los aerobios. Por el contrario, los anaerobios, obtienen su energía mediante la descomposición parcial de las sustancias orgánicas sin la intervención del oxígeno libre, pero que indirectamente dependen de las formas aerobias para la obtención de la materia orgánica necesaria para vivir.

Estudios han mostrado que en algunos casos, la fluctuación de oxígeno en el ambiente puede resultar escaso para la vida aerobia, pero nunca demasiado elevada para constituir un peligro. En cambio, la presencia de oxígeno en la naturaleza puede ser muy perjudicial para algunos anaerobios (5).

El oxígeno se encuentra en el aire formando parte de la mezcla que lo constituye, y en el agua en estado de disolución. El oxígeno disuelto no se combina químicamente con el agua, pero en cambio reacciona con el hierro y otras materias inorgánicas en ella disuelta. Como el oxígeno es liberado y absorbido en el transcurso de los procesos vitales, en algunos casos su concentración en el ambiente puede variar considerablemente, y a veces, peligrosamente para las actividades de las plantas y de los animales que allí viven. Para el desarrollo óptimo de la actividad fisiológica de las plantas, la concentración de oxígeno en los medios terrestres y acuáticos, sólo es un factor limitante en el segundo medio (11).

Dada la importancia del oxígeno, determinante en los procesos biológicos vegetales y animales, el Hombre se ha preocupado siempre por la disponibilidad de este precioso elemento. Y es precisamente, por ser un elemento tan indispensable que se han vertido al respecto las más diversas afirmaciones, algunas erróneas aunque bien intencionadas, tales como que "si destruimos los bosques nos quedaremos sin oxígeno". En tal sentido, este trabajo pretende mostrar bajo un enfoque científico y desapasionado, la real disponibilidad de oxígeno en el mundo, y las influencias que el Hombre pueda ejercer sobre él. "

I. LA FOTOSÍNTESIS

Se puede considerar a la fotosíntesis como el principal proceso fisiológico en cuanto al crecimiento de los vegetales. En este proceso la luz es fundamentalmente importante como fuente esencial y directa de energía para el desarrollo de los vegetales verdes y de las bacterias que poseen pigmentos. Las plantas fotosintéticas constituyen el primer paso del ciclo ecológico de la naturaleza, situándose como el eslabón N° 1 en la síntesis de sustancias orgánicas, y por lo tanto, son la base de la pirámide de producción.

Sobre la superficie de la tierra existe en todas partes suficiente luz para el crecimiento de una u otra clase de vegetales, aunque en el interior del suelo, cuevas y grandes profundidades del mar, la luz es insuficiente para la realización de la fotosíntesis.

Si bien que la iluminación es generalmente suficiente para la realización de la fotosíntesis, la distribución local de las especies vegetales está fuertemente influenciada por las diferencias de disponibilidad de luz. Las especies tolerantes pueden crecer en lugares sombríos y realizar su fotosíntesis a menos del 2% de la plena luz del sol. Otras, las intolerantes, que requieren de fuerte iluminación, precisan luminosidad de un 20% de luz solar (5).

En el ambiente acuático, la disminución de luz plantea problemas todavía más importantes. En este medio, la luz disminuye gradualmente a mayor profundidad, incluso en aguas claras, modificando al mismo tiempo su composición espectral como de otras características.

Los vegetales fijos en el ambiente marino son principalmente algas junto con unas escasas especies de plantas vasculares como las zosteras. En el agua dulce las plantas vasculares están bien representadas en la vegetación sumergida.

Los mapas oceánicos, o de lagos típicos, ponen en manifiesto que únicamente en una estrecha faja alrededor de la orilla, el agua es suficientemente somera para que llegue al fondo la iluminación suficiente y permitir la fotosíntesis de los vegetales.

En el cuadro se observa que, durante las horas del medio día, la iluminación en las proximidades de la superficie excesiva, inhibiendo la fotosíntesis. Al medio día la producción de oxígeno es máxima a 5 metros. Antes de las 6 de la mañana, o después de las 10 de la noche, no se verifica la fotosíntesis con intensidades variables a ninguna profundidad y tampoco se realiza este proceso a las 14 horas por debajo de los 35 metros.

Para que una planta pueda completar satisfactoriamente su ciclo biológico, la fotosíntesis que realiza durante el día debe proporcionarle una cantidad de sustancia orgánica superior a la que consume durante la respiración, no solo durante el día sino también durante la noche.

En otras palabras, el valor crucial para la continuación de la existencia equivale a la profundidad de compensación para el período de 24 horas. La profundidad de compensación para todo el día oscila entre 20 y 30 metros, durante el verano en las aguas claras de las costas de los océanos templados. Durante el invierno, y en aguas menos transparentes, la profundidad de compensación se halla más próxima a la superficie. Para las diatomeas u otros vegetales pelcigicos no es posible ningún género de desarrollo constructivo por debajo de estos niveles.

La fotosíntesis que se realiza en los metros superiores del océano y de los lagos, suministra la parte principal de la producción inicial de materia orgánica para la total longitud, profundidad y anchura del agua.

1.1 LOS BOSQUES

Mucho se ha especulado sobre el papel de los bosques en la producción de oxígeno para el hombre a través de la fotosíntesis, hasta inclusive haberse denominado al Amazonas como el "pulmón del mundo".

Los bosques, además de suministrar madera y otros productos, ejercen un efecto vital en procesos de suma importancia para la biosfera. Influyen en el clima local y regional, haciendolo generalmente más templado y contribuyen al suministro de un flujo permanente de agua dulce. Algunos bosques, sobre todo en las selvas tropicales, incluso incrementan el suministro de aguas ya que interceptan la humedad de las nubes.

En el Amazonas, hasta la mitad de las lluvias que caen en su cuenca provienen de la evaporación de agua de los bosques y no de los vientos que llegan del océano (4).

Y la producción de oxígeno por los bosques?

La gran mayoría de los científicos coinciden que los bosques tropicales húmedos maduros no aportan contribución alguna al oxígeno del planeta, sino que se encuentran en estado de equilibrio y, por la descomposición de la materia orgánica y respiración, consumen tanto oxígeno como el que producen mediante la fotosíntesis (4).

Según Foster (8) un cálculo ha señalado que un árbol grande en crecimiento, tarda 12 horas para efectuar la fotosíntesis, en las condiciones dadas de un bosque húmedo tropical, para convertir en oxígeno respirable el CO₂ producido por una persona en un día.

Sumando el CO₂ producido per cápita con otras formas, en una sociedad avanzada como E.E.U.U., se ha llegado a la razón por la cual las plantas pueden disminuir su capacidad de conversión de CO₂ en O₂. El siguiente cuadro muestra el número de árboles necesarios para convertir en O₂ el CO₂ producido por determinadas actividades de una persona.

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>Nº DE ARBOLES</u>
- Respiración de un hombre	1
- Destrucción de basura	2
- Producción de electricidad para el hogar	5
- Funcionamiento de automóviles y camiones	20
- Petróleo para calefacción del hogar	20
- Combustibles fósiles utilizados en la producción de mercaderías industriales	30
	<hr/>
	TOTAL 78

Este cálculo sugiere que se necesitan 78 árboles por persona para equilibrar la producción de CO₂ por una persona.

Si consideramos estos valores como parámetros de dependencia como fuente de oxígeno respirable, el panorama para la humanidad no podría ser más desesperante. Veamos por qué.

Según la FAO, citado por DUVIGNEAUD y TANGHE (7), en 1958 existía una superficie forestal en el mundo de $44,05 \times 10^6 \text{ km}^2$. De esta extensión total, $27,33 \times 10^6 \text{ km}^2$ son accesibles, lo que quiere decir que el 62% de las florestas son explotables con los actuales métodos de explotación y transporte.

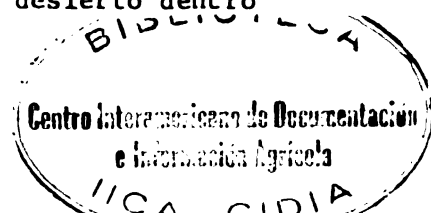
Se estima que hoy quedan alrededor de 1838×10^6 ha de bosque tropical, o sea, un 38% de la superficie tropical (13), que están distribuidos así:

Brasil:	33%
Resto de América Latina:	25%
Indonesia:	10%
Resto del sureste de Asia y Oceanía:	13%
Zaire:	10%
Resto de Africa:	9%

La desaparición de los bosques se está llevando a cabo en una forma asustadoramente acelerada. El cálculo más optimista lo dan LANLY y CLEMENT, citados por CAUFIELD (4), donde afirman que la deforestación permanente y completa está en 5,6 millones/ha/año.

A su vez, la Academia de Ciencias de los E.E.U.U. en 1980 indica que cada año son deforestados o seriamente dañados 20 millones de ha. La FAO, bajo los auspicios de PNUMA en 1981 ha concluido durante la última década de los años 70 la deforestación tuvo un ritmo de 7,3 millones de ha/año.

El Informe "En los Albores del siglo XXI" (1) no es menos pesimista. Afirma que de mantenerse la actual tendencia de deforestación, las florestas y bosques comerciales disminuirán en un 40% en las regiones subdesarrolladas (América Latina, Africa, Asia y Aceanía) en el año 2000. Estimaciones hechas por computadoras determinan que al ritmo en que está siendo explotada la selva amazónica, será transformada en desierto dentro de los próximos 30 años (19).



Paradójicamente, en los países industrializados, para el año 2000, los bosques disminuirán solo en 0,5% y las poblaciones en pie en el 5%.

Las proyecciones indican que la deforestación mundial continuará hasta el año 2020, año en que los bosques mundiales se estabilizarán en 1800 millones de ha.

En la actualidad, alrededor de 1450 millones de ha de bosque en los países desarrollados ya se encuentran en equilibrio, mientras que los 370 millones de ha de bosque de los países pobres que son físicamente accesibles, hasta el año 2020 serán prácticamente talados (1).

2. LA ATMOSFERA

La atmósfera está constituida por una serie de gases que se encuentran en porcentajes muy constantes, mantenido así principalmente por las corrientes de aire.

Se compone, en volumen, de:

- Nitrógeno: 78%
- Oxígeno: 21%
- CO₂: 0,03%
- Argón, Helio, Neón y vapor de agua.

Aparte de esto el aire contiene impurezas gaseosas y sólidas, sobre todo dióxido de azufre, compuestos volátiles de Nitrógeno, compuestos de halógenos polvo y hollín (12).

El oxígeno de la atmósfera es modificado a nivel local por las plantas verdes, que consumen CO₂ y producen O₂ durante la fotosíntesis, mientras que los animales y plantas no verdes que consumen oxígeno y liberan CO₂ durante el proceso de respiración, manteniéndose por tanto un equilibrio entre producción y consumo.

El CO₂ también es producido durante la combustión, procesos de descomposición y actividades volcánicas.

El CO₂ de la atmósfera fijado por la fotosíntesis vuelve nuevamente a la atmósfera mediante la respiración de las plantas, o mediante la respiración de los animales, o mediante la respiración de los microorganismos

que actúan en los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica (21).

Por estas razones la concentración de CO_2 sufre "grandes variaciones locales con el tiempo y el espacio, pudiendo aumentar en lugares de alta actividad de microorganismos, hasta en 600% de la cantidad normal.

En los centros urbanos, la producción de CO_2 es generalmente más elevada por la acción de la combustión. Este nivel de CO_2 producido no es acumulativo pues disminuye hacia arriba a medida que se mezcla con el resto del aire, por acción del viento.

3. EL OXIGENO

Se supone que el oxígeno atmosférico existente fue consolidado a través de la evolución y el tiempo mediante el proceso de la fotosíntesis y la lenta sedimentación de la materia orgánica en el océano profundo.

En una fase anterior (a la de los primeros organismos que se originaron en el mar, parecidos a los heterótrofos actuales), debieron aparecer microorganismos autótrofos capaces de asimilar CO_2 mediante fotosíntesis. Ello condujo a la producción de oxígeno, y se cree que la mayor parte de O_2 que ahora se encuentra disuelto en la atmósfera, si no todo, debieron producirlo los organismos verdes (18).

Con la formación de la camada de Ozono, filtradora de la mayoría de los rayos ultravioleta, letales para el desarrollo de la vida en la superficie terrestre, fue posible el apareamiento de la vida animal que estabilizó la proporción creciente de O_2 en $1,2 \times 10^{15}$ tn de oxígeno, al cual la fotosíntesis suministra anualmente 70×10^9 tn de oxígeno (12), consumido casi todo en su totalidad por la respiración y descomposición de materia orgánica (15).

La concentración de oxígeno en la atmósfera varía en menos de 1% en todo el mundo (en términos medios). La mayoría de los ambientes terrestres, por tanto, disponen de una cantidad uniforme y adecuada de oxígeno.

En dos casos importantes se aprecia una falta de oxígeno en el ambiente terrestre: en las grandes alturas, y en los niveles del suelo situado por debajo de la superficie. "

En las grandes altitudes la concentración de oxígeno es baja debido al enrarecimiento común de todos los gases. La intensidad de la disminución del oxígeno con la altura es proporcional a la sufrida con la presión atmosférica. Así, la cantidad de oxígeno que se encuentra a la altura de 5500 metros es solo la mitad existente en la superficie del mar (5). En los suelos el oxígeno disminuye desde un valor aproximadamente igual al 21% atmosférico hasta un 10% en el interior de un suelo arcilloso bien drenado, y a valores todavía menores en suelos pobremente aireados y en niveles por debajo de la capa acuífera.

La falta de circulación en los suelos es debido a la fina textura de sus elementos o a la inundación de los espacios porosos. En estos casos la respiración de las raíces y de los organismos que viven en el suelo, especialmente los que intervienen en la descomposición de la materia orgánica, disminuye la reserva del oxígeno con mayor rapidez que su renovación por la atmósfera.

En el ambiente acuático la situación es un tanto diferente, la cantidad de oxígeno necesario para la total saturación del agua varía con la temperatura, salinidad y presión.

Al comprobarse que el 21% del O_2 que se halla en la atmósfera equivale a 210 cm^3 /litro, el contraste entre las cantidades disponibles en el aire y el agua, es puesto en relieve. Pueden existir 25 veces más oxígeno por litro de aire que por litro de agua.

De lo dicho, se deduce que la principal reserva de oxígeno libre se halla en la atmósfera. Esta es la principal fuente de oxígeno para el ambiente acuático que puede ser absorbido del aire. Una segunda fuente son las reacciones fotosintéticas de los vegetales sumergidos y planctónicos.

El agua puede perder oxígeno por difusión desde la superficie hacia la atmósfera. El oxígeno es también consumido en el seno del agua por

la respiración de los organismos acuáticos y por la descomposición de la materia orgánica.

Los organismos vivientes influyen, por consiguiente, tanto en la incorporación como en la substracción de oxígeno del agua. La cantidad de oxígeno presente en cualquier momento y lugar en el agua es el resultado del equilibrio entre los procesos de incorporación y substracción, lo que constituye un nuevo ejemplo de un factor ecológico regulado por un equilibrio dinámico en el que intervienen procesos físicos y biológicos.

3.1. Efectos de la disponibilidad de oxígeno

Se hace necesario examinar las consecuencias ecológicas de la presencia de las diferentes cantidades de oxígeno en distintos habitats.

3.1.1. En el ambiente terrestre

Como quiera que el oxígeno abunda en las capas inferiores de la atmósfera terrestre, no ejerce este elemento ninguna acción limitante importante en la mayoría de los casos sobre la superficie terrestre..

La disminución de la presión de oxígeno en las grandes alturas determina una restricción en la distribución altitudinal de los organismos que necesitan cantidades importantes de oxígeno. Ningún mamífero puede vivir permanentemente en altitudes en que la presión parcial del oxígeno es inferior al 45% de su valor al nivel del mar. La disminución de oxígeno así como la escasa densidad de aire, determinan de manera semejante la existencia de un límite altitudinal para la vida de las aves.

La extensión altitudinal de la mayoría de los animales inferiores está limitada por las bajas temperaturas o por otros factores ecológicos, antes que por la disminución de la concentración de oxígeno haga sentir sus efectos.

La falta de oxígeno en los suelos pobremente aireados puede resultar perjudicial para las raíces de la mayoría de las plantas a concentraciones inferiores al 10%. La mayor parte de las plantas criptógamas y animales que viven en el suelo tienen respiración aeróbica, y por consiguiente, quedan excluidas de las capas de suelo desprovistas de oxígeno,

pero en general, las plantas requieren menos oxígeno que los animales. En el caso hipotético de ocurrir una competición por oxígeno entre plantas y animales, estos últimos sucumbirán primero (11).

3.1.2. En el ambiente acuático

A la mayor parte de los animales que viven en el agua, les basta relativamente escasa cantidad de oxígeno disuelto.

Aunque el agua saturada contiene únicamente una pequeña fracción de la cantidad de O_2 contenido en un volumen igual de aire atmosférico, la presión parcial de oxígeno en el agua es igual a la del aire con el que se encuentra en equilibrio. Por ello, la tendencia del oxígeno disuelto en el agua a atravesar las membranas respiratorias de los organismos, es la misma que en el aire (5).

Muchos organismos acuáticos aerobios pueden vivir en concentraciones de oxígeno muy por debajo de las presiones normales. El metabolismo de algunas especies es tan bajo que les basta una pequeña cantidad de oxígeno. Ciertas especies tienen pigmentos respiratorios especiales y otras adaptaciones fisiológicas que facilitan la absorción de oxígeno a presiones parciales muy bajas.

Es difícil determinar las condiciones mínimas de oxígeno que necesitan los diferentes organismos acuáticos, ya que dependen de la temperatura, pH y de otros factores modificadores, así como del grado de adaptación a las bajas tensiones de oxígeno.

4. LAS RESERVAS DE OXIGENO

4.1. El Pasado

La constancia de la tasa de C^{13}/C^{12} en los carbonados marinos sobre los últimos 500.000.000 años, provee la evidencia de que la cantidad de carbono orgánico comparado, contenido en las reservas de los sedimentos de la tierra, deben haber existido en el tiempo del Paleozoico (3).

Puesto que la cantidad de carbono orgánico es directamente proporcional a la cantidad neta de oxígeno producido por la fotosíntesis, indica que no ha habido un gran cambio en la disponibilidad de oxígeno en aquel

período, y que el contenido del actual oxígeno atmosférico es comparable al existente en el tiempo del Paleozoico (3,9).

Un estudio realizado por las Naciones Unidas, citado por MACHTA (14), concluye que entre 1910 y 1967 el O_2 atmosférico puede haber sido rebajado en un 0,005% del volumen total, debido a la quema de combustibles fósiles. El contenido de oxígeno atmosférico entre 1967 y 1970 estaba en 20,946%, que estadísticamente es el mismo que en 1910.

En otro estudio (6), las mediciones concretas y directas sobre el oxígeno atmosférico ha indicado que su volumen no ha cambiado significativamente en los últimos 60 años.

4.1.2. El Presente

La tasa de fotosíntesis marina es del orden de 2500×10^{12} moles de CO_2 fijados por año con una producción de 2500×10^{12} moles de oxígeno.

Casi toda la materia orgánica formada es reoxidada en la superficie del océano, utilizando casi todo el oxígeno producido. Sin embargo cerca de $3,5 \times 10^{12}$ moles del material orgánico se depositan en el fondo del océano, causando una producción neta de $3,5 \times 10^{12}$ moles de oxígeno en la atmósfera (9). Del material depositado en el fondo del océano, cerca del 30% es convertido en CO_2 por la reducción bacteriana de sulfato a Pirita, y retorna luego al océano y atmósfera. Los restantes 70% son preservados en los sedimentos.

De los $3,5 \times 10^{12}$ moles de oxígeno adicionados a la atmósfera cada año por la fotosíntesis, 30% es usado en oxidación de sustancias reducidas en rocas expuestas a la erosión. El 70% restante de la producción neta de oxígeno de la fotosíntesis es asignado a la oxidación de materiales orgánicos en rocas que han sido expuestas a la erosión en la superficie terrestre.

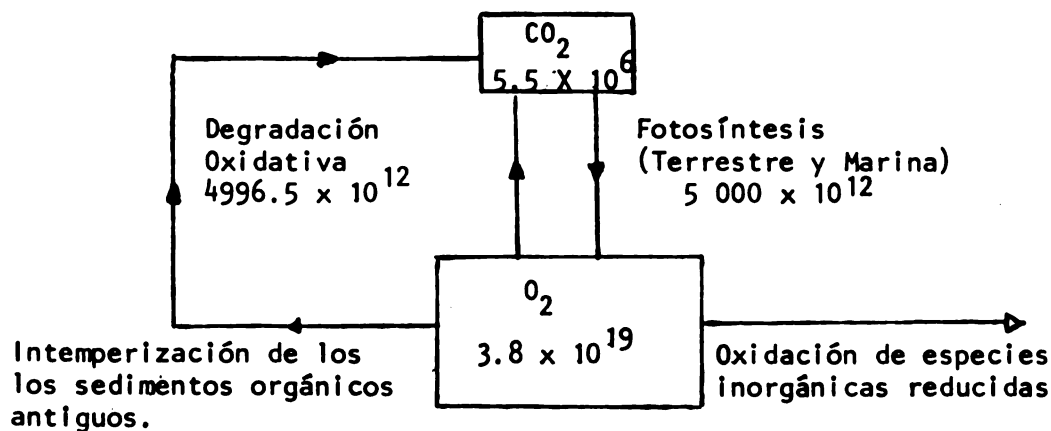
Cada metro cuadrado de la superficie de la tierra está cubierto por 60.000 moles de gas de oxígeno.

Las plantas que viven en el mar y la superficie de la tierra producen anualmente 8 moles de oxígeno por metro cuadrado, que son virtualmente consumidos en los procesos químicos de la biosfera.

Si consideramos la tasa con que el carbón orgánico es incorporado en los sedimentos del océano como una medida de la cantidad del producto fotosintetizado preservado cada año, se encuentra que es de 3×10^{-3} moles de carbón/m²/año. De este modo, los animales y bacterias están destruyendo todo, menos 4 partes en 10.000 del oxígeno regenerado cada año (2). La producción neta de O₂ corresponde a 1 parte en 15 millones del oxígeno presente en la atmósfera.

Aunque esta pequeña cantidad sobrante de oxígeno está siendo destruida a través de la oxidación, el estado natural del contenido atmosférico es virtualmente inmune al cambio en una escala de tiempo humano.

RAISWEL (16) muestra el siguiente flujo del oxígeno atmosférico y del CO₂. Las unidades de reserva son moles y los flujos en mol/año:



Se observa en el cuadro que el flujo neto de O₂ retirado de la atmósfera es balanceado por la fotosíntesis, que suple oxígeno del desdoblamiento de CO₂, donde el incremento neto es mínimo.

4.3. El Futuro

La mayor interferencia que el hombre puede hacer en el consumo de oxígeno es en la quema de combustibles. Durante la combustión, cada mol de carbono consume un mol de oxígeno.

El hombre ha recobrado en conjunto cerca de 10^{16} moles de carbono fósil de la crosta terrestre (16), lo cual representa probablemente el

4% del total de las reservas de combustibles fósiles (25×10^{16} moles de carbón orgánico).

Si continuamos quemando los combustibles químicos a nuestra tasa normal de aceleración (5% año), en el año 2000 habremos consumido solamente 0,2% de la disponibilidad de oxígeno, o sea 20 moléculas en cada 10.000 (2).

Aún más, si pudiéramos quemar todos los combustibles fósiles conocidos en un momento dado, consumiríamos apenas el 1% del total de oxígeno atmosférico (16, 6). Los efectos directos de esta degradación del oxígeno no afectaría de forma significativa en la vida humana (6), pues esto correspondería a un cambio de presión parcial de oxígeno equivalente a subir 75 metros (14).

En las áreas urbanas de países totalmente industrializados, el agotamiento de oxígeno local está en segundo orden. Si los automóviles consumieran el 50% del total de oxígeno demandado en esta área, el monóxido de carbono alcanzaría niveles críticos antes de que el contenido de O_2 sea reducido en un 2% (2).

Por otro lado, qué pasaría si toda la actividad fotosintética cesase y animales y bacterias destruyeran los restos orgánicos de los tejidos de vida existente y los humus almacenados en el suelo y mar?

Para completar la total oxidación de todo este material, se necesitaría solo la fracción de 1% de oxígeno.

SIOLI (18) muestra un interesante cálculo de la suficiencia oxigénica del mar:

La cantidad de heces y orina producida por un hombre necesitan 54 gramos de oxígeno para su biodegradación, que corresponde a 5 m^3 de agua de mar.

El mar del Norte contiene 54.000 km^3 de agua. Su oxígeno es suficiente para permitir la biodegradación de heces y orina de 27.000 millones de personas anualmente, lo que representa nueve veces la población de la tierra.

Si se extrapola este ejemplo a los siete mares, es evidente que los desperdicios domésticos del hombre nunca pondrán en peligro el nivel de oxígeno.

Un aspecto importante del ciclo del oxígeno necesario de comentar, es que como se sabe el más importante eslabón en los ciclos biológicos son la respiración y fotosíntesis, se ha llevado a la especulación de que si la fotosíntesis cesase, el oxígeno atmosférico se agotaría, y por ende, la vida humana.

Jacques Cousteau predijo que si la fotosíntesis marina cesase de pronto, el hombre no sobreviviría más de 30 años debido a la falta de oxígeno.

En realidad, este tiempo es exageradamente corto, pues en el ciclo del oxígeno la residencia mínima del oxígeno atmosférico es de 7600 años (16), representando el tiempo mínimo requerido antes de que las reservas de oxígeno se agoten, asumiendo que la fotosíntesis marina y terrestre cesasen.

5. ALTERACIONES EN EL ESTADO DE EQUILIBRIO

GARRELS (9) ha considerado tres interesantes situaciones hipotéticas donde el estado de equilibrio del sistema atmosférico sea alterado.

5.1. Incremento de la tasa de erosión

Uno de los efectos del hombre sobre el ciclo del oxígeno ha sido el incremento de la tasa promedio de erosión. Desde la época de las Fanerozóicas, la tasa de erosión ha sido aumentada en un factor de 3. Es difícil decir exactamente cuando las influencias del hombre han alcanzado este nivel.

Estos efectos en los países del Mediterráneo y el Africa pueden datar de varios miles de años, donde el sobrepastoreo en particular, ha sido el causante de la pérdida de vegetación, y otros cambios importantes climáticos y erosionales.

En el cuadro abajo, se ha modelado una situación donde la tasa de erosión se incrementa por tres veces, de tal forma que los cambios de

oxígeno demandados por la pirita y carbón orgánico expuestos a la erosión cada año, son de un factor de tres. En el modelo esto corresponde al incremento de oxígeno demandado por la reducción del reservorio y del carbón orgánico. Además se asume que todas las sustancias reducidas y todo el material orgánico expuesto a la erosión, son oxidados totalmente.

Tiempo (millones de) años	Reservorio de oxígeno (unidades en 10^{18} moles)	Reservorio de CO_2 (unidades en 10^{18} moles)	Reservorio de Pirita (uni- dades en 10^{18} moles de O_2 equivalente)	Reservorio de Carbono Orgánico (unidades en 10^{18} moles de C)
0	38.0	0.055	400	1.000
1	33.3	0.074	399	997
2	31.7	0.099	398	996
3	31.7	0.115	398	995
4	31.7	0.121	398	995
5	31.7	0.125	398	995
6	31.7	0.128	398	995
7	31.7	0.131	398	995
8	31.7	0.134	399	995
9	31.7	0.137	399	995
10	31.7	0.140	399	995

Los cambios más notables de estos resultados de computadora, son de que el oxígeno atmosférico alcanza un nuevo estado de equilibrio dentro de cerca de 2 millones de años, a un nivel del 15% abajo del actual, mientras que el CO_2 atmosférico alcanza un valor de 2,5 veces arriba del presente (800 ppm). Los otros reservorios no son afectados fuertemente; sin embargo, el flujo de carbón orgánico del piso del mar es triplicado.

Por otro lado, la tasa fotosintética es reducida ligeramente de 2500×10^{12} moles de CO_2 /año a 2460×10^{12} moles CO_2 /año.

5.2. Doblando la fotosíntesis

En este segundo escenario, la perturbación del estado de equilibrio consiste en una duplicación instantánea de la tasa de fotosíntesis a un valor constante.

Tiempo (millones de años)	Reservorio de oxígeno (unidades en 10^{18} moles)	Reservorio de CO_2 (unidades en 10^{18} moles)	Reservorio de Pirita (uni- dades en 10^{18} moles de O_2 equivalente)	Reservorio de Carbono Orgánico (unidades en 10^{18} moles de C)
0	38.0	0.055	400	1.000
1	40.2	0.019	401	1.001
2	41.1	0.0080	401	1.002
3	41.5	0.0042	401	1.002
4	41.7	0.0030	401	1.003
5	41.9	0.0022	401	1.003
6	41.9	0.0020	401	1.003
7	42.0	0.0017	401	1.003

De acuerdo con el modelo, el reservorio de oxígeno atmosférico puede ascender a un nuevo estado de equilibrio en un 10% arriba del valor actual.

El incremento de la tasa de fotosíntesis puede incrementar el tamaño de la biomasa y consecuentemente el flujo de carbón orgánico hacia el piso del mar. Más carbón orgánico podría ser preservado inicialmente, causando una adición neta de oxígeno a la atmósfera. Con un aumento en el oxígeno, el flujo de material orgánico hacia el piso del mar disminuiría nuevamente.

El reservorio de pirita puede incrementar ligeramente, debido a que el incremento de inicial de carbón orgánico alcanzaría el piso del mar, resultando en un incremento en la tasa de reducción de sulfato oceánico. Este sulfato oceánico podría ser correspondientemente disminuido.

Con la pérdida de CO_2 del sistema, las cantidades de calcio, bicarbonatos y dióxido de carbono disueltos en el océano, podrían disminuir y el pH oceánico alcanzar a 9. La disminución de CO_2 atmosférico podría ser tan alta, al punto de caer abajo del nivel necesario para mantener la fotosíntesis.

En otras palabras, el modelo muestra que un incremento en la tasa de fotosíntesis puede hacer que el CO_2 llegue a ser un "limitante nutricional", y la duplicación de la tasa de fotosíntesis podría ser posible

solamente donde la fuente de CO_2 no fuera considerada.

Esto muestra que es probable que la perturbación por este medio sea un imposible.

5.3. Cese de la fotosíntesis

Este último modelo describe los resultados del cese de la fotosíntesis en la superficie del globo.

El primer evento es la desaparición de la biomasa oceánica dentro de menos de un año, lo cual no es mostrado en la tabla. El tiempo de residencia de la biomasa es de algunos meses, consumida rápidamente por la degradación oxidativa.

Tiempo (millones de) años	Reservorio de oxígeno (unidades en 10^{18} moles)	Reservorio de CO_2 (unidades en 10^{18} moles)	Reservorio de Pirita (uni- dades en 10^{18} moles de O_2 equivalente)	Reservorio de Carbono Orgánico (unidades en 10^{18} moles de C)
0	38.0	0.055	400	1.000
1	34.5	0.056	399	998
2	31.0	0.21	398	995
3	27.6	0.42	397	993
4	24.1	0.70	396	990
5	20.6	1.03	395	988
6	17.2	1.41	394	985
7	13.8	1.44	393	983
8	10.3	2.30	392	980
9	7.0	2.80	391	978
10	3.6	3.32	390	975
11	0.28	3.88	389	973
12	Cerca de cero	3.88	389	973

Sin embargo, esta degradación podrá incrementar el CO_2 atmosférico en menos de 0,1% y mermar el O_2 atmosférico en 0,001%. Así, podemos predecir una esterilización del océano después de un tiempo muy corto, aunque pueden haber "efectos de desechos" a causa de concentraciones de organismos muertos cerca de las playas.

Después de aquello, siguiendo el cuadro, el oxígeno podrá ser continuamente disminuido en un período de 10 millones de años. El oxígeno llega a agotarse por completo en un término de 12 millones de años.

6. CONCLUSIONES

El hombre no debe preocuparse por sus reservas de oxígeno en la tierra, ya que la cantidad de la cual dispone es prácticamente ilimitada.

En el hipotético caso de que la fotosíntesis cesase, es decir, que las plantas terrestres y la flora marinas sean eliminadas del medio, el real problema no sería la falta de oxígeno, pues antes de llegar este tiempo, el hombre perecería de hambre ya que finalmente él depende de la fotosíntesis de las plantas para la producción de alimentos.

La quema de combustibles fósiles, inclusive si se llegara a consumir todas las reservas disponibles, solo mermarían el O_2 atmosférico en 1% del total existente.

Si bien que la combustión no ocasionaría problemas en la disponibilidad de oxígeno, vale la pena descubrir los problemas que sí ocasionaría esta acción al incrementar, consecuentemente, el CO_2 :

En los últimos 100 años la concentración de CO_2 atmosférico ha sido incrementado en 15-25% (10). Hasta recientemente estos incrementos fueron atribuidos exclusivamente a la quema de combustibles fósiles, pero ahora hay evidencia de que esto puede haberse debido, en igual grado, a la destrucción de las florestas (20, 10).

El contenido actual de CO_2 es de 330 ppm y para el año 2020, si la actual tendencia de polución continúa, este valor podría ser doblado.

El acúmulo excesivo de CO_2 puede ocasionar el "efecto de invernadero" aumentando la temperatura del mundo. Según ROSS (17), una elevación a 600 ppm, correspondería a un aumento medio de temperatura de 2,34°C.

Aparentemente, bastan 2°C de incremento en la temperatura promedio para que la tierra sea más cálida que lo que ha sido en el último milenio

(4), y de 2,7°C para calentarse lo suficiente como para derretir las capas polares y subir el nivel de los mares (8).

Por lo tanto, la preocupación del hombre respecto al oxígeno debe estar en la conservación de un aire puro y limpio, evitando la contaminación ambiental proveniente ya sea de la quema de materiales orgánicos, de la industria o de cualquier otra naturaleza. De nada servirá contar con una abundante reserva de oxígeno en el aire si éste no se puede respirar, o si se provocan efectos perjudiciales como el recalentamiento de la atmósfera.

7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. BARNEY, G.O. 1978. En los albores del Siglo XXI. Washington D.C., v.2, 70 p.
2. BROECKER, W.S. 1970. Man's oxygen Reserves. Science 168:1537-1538.
3. _____. 1970. A boundary condition on the evolution of atmospheric oxygen. Journal of Geophysical Research 75(18):3553-3557.
4. CAUFIELD, C. 1982. Bosques húmedos tropicales. Nottingham, Earthcan, 75 p.
5. CLARKE, L.G. 1963. Elementos de ecología. Trad. de la 2da. ed. americana por Miguel Fusté, Barcelona, Omega S.A, 637 p.
6. DUVIGNEAUD, P. 1974. La synthèse écologique. París, Doin, 296 p.
7. _____; TANGHE, M. 1962. Ecosystemes et biosphere. Bruxelles, Ministère de l'Education Nationale et de la Culture, 130 p.
8. FOSTER, P.W. 1975. Introducción a la Ciencia Ambiental. México, El Ateneo, 186 p.
9. GARREZS, R.M.; LERMEN, A.; MACKENZIE, F.T. 1976. Controls of atmospheric O₂ and CO₂. Past, present and future American Scientist 64(3):306-315.
10. HOUGHTON, R.A. et al. 1983. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980. A net release of CO₂ to the atmosphere. Ecological Monographs 53(3):235-262.
11. KNIGHT, C.B. 1965. Basic concepts of ecology. New York, Macmillan Company, 468 p.
12. LARCHER, W. 1977. Ecofisiología vegetal. Traducido del alemán por Jorge Lalucat. Barcelona, Omega S.A, 305 p.
13. LUGO, A.E.; MORRIS, G.L. 1982. Los sistemas ecológicos y la humanidad. Washington D.C., O.E.A., 82 p.
14. MACHIA, L.; HUGHESE. 1970. Atmospheric oxygen in 1967 to 1970. Science 168: 1582-1584.
15. ODUM, E. 1963. Fundamental of ecology. Philadelphia, W.B. Saunders, 546 p.

16. RAISWELL, et al. 1980. Environmental chemistry. London, Sciences Series, 184 p.
17. ROSS, R.D. 1974. La industria y la contaminación del aire. México, Diana, 539 p.
18. SIOLI, H. et al. 1982. Ecología y protección de la naturaleza. Barcelona, Blume, 480 p.
19. TORRES, W. 1980. Temas ecológicos. Quito, INCRAE, 120 p.
20. WOODWELL, G.M. 1978. The carbon dioxide question. Scientific American 238(1):34-43. 1978.
21. ZEGERS, C.D. 1981. Ecología forestal. El bosque y su medio ambiente, Santiago, Universitaria, S.A, 369 p.