

# El conspicuo mundo de los microorganismos

**“Los Amantes del Sol”  
presentando, *Un Planeta Azul***

J. Viridiana García-Meza

## Los sonidos de la luz

La música que me acompaña al escribir es interpretada por un astro del Jazz, el genial trompetista Miles Davis (1926-1991). Escucho el álbum “Aura”, de notas palpitantes que iluminan el espacio, al emerger estimuladas por el ritmo del espectro de la luz. En su pieza llamada “Amarillo” participa la fuerza de lo resplandeciente y cegador. Lo que nace y experimenta libre e inocentemente, es sugerido en “Anaranjado”. Mientras que al transitar por “Rojo” ondea la firmeza (insistencia, tal vez) con cierta lentitud, pareciera ser una aproximación sonora al concepto de “madurez”. Meditabundas e idílicas se muestran las notas de “Verde”, que se mimetizan en frases elocuentes,



emitidas de una trompeta autónoma y certera durante “Azul”. Miles Davis mucho tiene que ver con el grupo de amantes de otra luminaria, “*Los Amantes del Sol*”. En el ámbito científico este grupo se conoce, literalmente, como los “come luz” o fototróficos. Davis debe su existencia a estos seres que han verdeado y azulado el planeta nuestro. Y es el que la luz solar ha sido el dínamo que mantiene la vida material y espiritual en la Tierra, desde el surgimiento de los fotótrofos o fotosintetizadores.

### Los diversos lugares para saborear la luz

Existen diferentes lugares donde podemos disfrutar la energía del sol; personalmente prefiero la playa ¿y, usted? Entre los fotosintetizadores también existen “preferencias” de ambientes desde donde aprovechan la energía solar y, en general, la lumínica (Tablas 1 y 2) y, aunque todos la utilizan para transformarla en azúcar (glucosa) y ATP (energía), algunos lo hacen desde sus ambientes anaerobios (sin oxígeno en el aire) y otros bajo una buena dosis de oxígeno, en ambiente aerobios; estas diferencias tienen que ver con la tolerancia al oxígeno, ciertamente; pero sobretodo con la capacidad de generarlo.

Usted recordará la reacción que resume la fotosíntesis:



Tal conversión química es un atributo único de fotosintetizadores, quienes poseen todo un artilugio metabólico para asimilar, acoplar, transformar y utilizar la energía de los fotones (lumínica). Así, a partir de dos compuestos muy simples y abundantes, el bióxido de carbono ó  $\text{CO}_2$  y un sencillo compuesto de hidrógeno (H)”, el  $\text{H}_2\text{X}$ , se obtiene azúcar y un misterioso compuesto, el  $\text{X}_2$ . Simultáneamente, los fotosintetizadores conseguirán energía “biológicamente útil”, el ATP. Sí, por que la energía lumínica es convertida en ATP, la “monedita energética” de toda célula.

Ahora, durante la fotosíntesis se libera ese misterioso compuesto, el  $\text{X}_2$ , que puede ser una plasta amarilla de sulfuro ( $\text{S}_2$ ), que se produce si la fotosíntesis es sulfurosa y *anoxigénica* (no generadora de oxígeno); pero, si el misterioso compuesto es el gas oxígeno ( $\text{O}_2$ ), entonces se trata de una fotosíntesis *oxigénica*.

La primera, la fotosíntesis no generadora de oxígeno y **sulfurosa**, es atributo de las bacterias verdes y púrpuras sulfurosas, quienes emplean el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) de origen volcánico o biológico como fuente de hidrógeno (H), produciendo carbohidratos y  $\text{S}_2$ , su producto de desecho:



En cambio, en microorganismos fotosintetizadores **oxigénicos** (cianoprocariontes y microalgas) y en plantas, quien dona el H es el agua,  $\text{H}_2\text{O}$ , por lo que el oxígeno,  $\text{O}_2$ , es el producto de desecho de estos fotótrofos ¡Vaya!, nosotros los aerobios ¡respiramos los gases de desecho de fotosintetizadores oxigénicos!:



Todo lo anterior se resume en la siguiente Tabla:

<b>Tabla 1.</b> Ciertas características de los diferentes tipos de microorganismos fotosintetizadores			
<b>Tipo Fotosíntesis</b>	Anoxigénica		oxigénica
<b>Reacción general</b>	$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{carbohidratos} + \text{S}_2$		$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{carbohidratos} + \text{O}_2$
<b>Gas producido</b>	$\text{S}_2$		$\text{O}_2$ (gas)
<b>Fuente de H</b>	$\text{H}_2\text{S}$		$\text{H}_2\text{O}$
<b>Producto energético</b>	ATP		ATP, NADPH
<b>Pigmentos fotosintetizadores</b>	Bacterioclorofila <i>a</i> o <i>b</i>	Bacterioclorofila <i>a</i>	clorofila <i>a</i> , ficobiliproteínas
<b>Microorganismos</b>	Bacterias púrpura	Bacterias verdes	Cyanoprocariontes

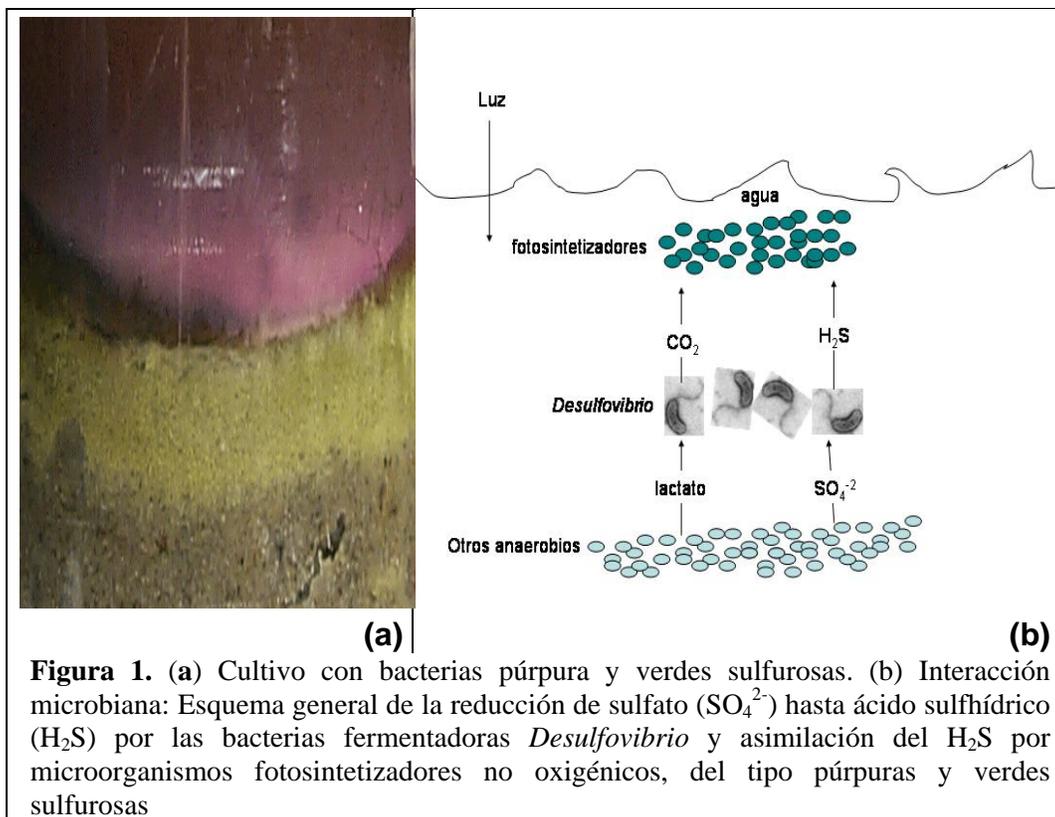
La fotosíntesis fue otra de las innovaciones evolutivas del Archeano. Apareció poco antes de que finalizara el reino de los anaerobios (ver Revista Universitarios Potosinos, Volumen 1, No. 11, 2005), hace casi 3,8 mil millones de años (m.a.). Los datos moleculares y las evidencias bioquímicas indican que la fotosíntesis no productora de oxígeno (anoxigénica) es más antigua que la generadora de  $\text{O}_2$  (oxigénica). Enseguida, se relatará cómo surgió el metabolismo más envidiable de la biosfera, que dispone de un poquito de lo más común y abundante ( $\text{H}_2\text{S}$  ó  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  y luz solar) para obtener suficiente energía y azuquitar. Pero antes, déjeme comentarle que no solo existen fotosintetizadores aerobios o anaerobios, u oxigénicos o anoxigénicos. Por ahí abundan ciertos microorganismos, como las *Euglenas* y la bacteria *Halobacterium* quienes en ausencia de luz desatan la vía heterótrofa (comen compuestos del medio), pero, en presencia de suficiente luz y oxígeno, optan por ser fotosintetizadores. En otras palabras *Halobacterium* y *Euglena* están inhabilitados para morir de inanición: si no consiguen sus alimentos, ¡los producen!

**Tabla 2.** Dos grandes subdivisiones del metabolismo fotosintetizador según las fuentes de carbono (C) y de electrones (e<sup>-</sup>). La fuente de energía es la luz solar

	<b>FOTOLITOTRÓFOS</b>	<b>FOTOORGANOTRÓFOS</b>
<b>Fuente de C</b>	$\text{CO}_2$	compuestos orgánicos
<b>Donador de e<sup>-</sup></b>	compuestos inorgánicos ( $\text{H}_2\text{S}$ , S, $\text{H}_2\text{O}$ )	compuestos orgánicos
<b>Ejemplos</b>	cianobacterias, arqueas metanógenas fotosintetizadoras, bacterias púrpuras y verdes sulfurosas, algas, células verdes de plantas	bacterias púrpura no sulfurosas (Rhodospirillaceae), halobacterias ( <i>Halobacterium</i> )

### Hacia la foto-dependencia

Lynn Margulis propuso que la fotosíntesis inició con microorganismos anaerobios parecidos a las bacterias *Desulfovibrio*, que liberan sulfuro de hidrógeno,  $\text{H}_2\text{S}$  ¡disponible para los fotosintetizadores anoxigénicos! (Figura. 1; ecuación 2).



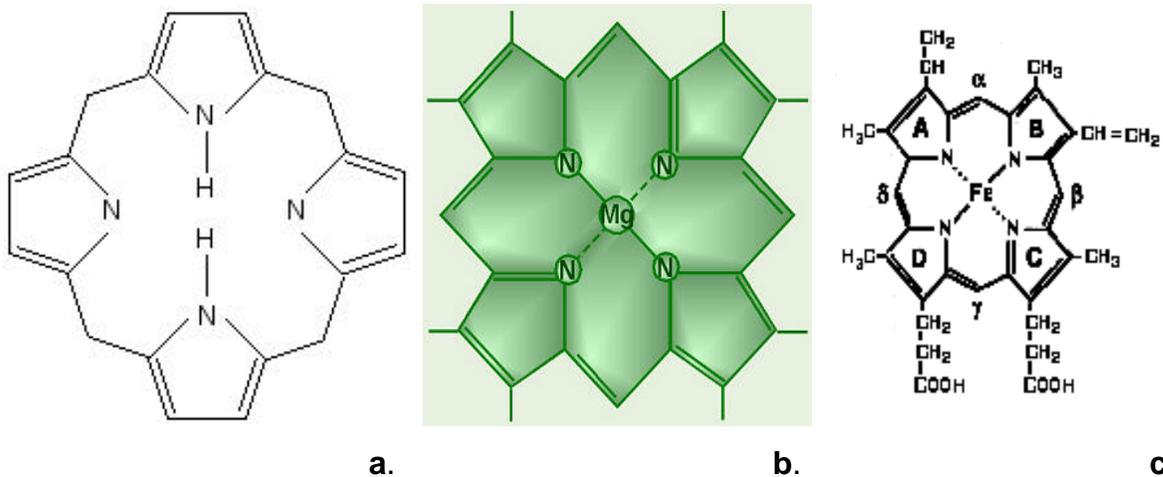
**Figura 1.** (a) Cultivo con bacterias púrpura y verdes sulfurosas. (b) Interacción microbiana: Esquema general de la reducción de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) hasta ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) por las bacterias fermentadoras *Desulfovibrio* y asimilación del  $\text{H}_2\text{S}$  por microorganismos fotosintetizadores no oxigénicos, del tipo púrpuras y verdes sulfurosas

Además de surtir de  $\text{H}_2\text{S}$ , las *Desulfovibrio* están genéticamente instruidos para sintetizar los famosos *anillos de porfirina* (Figura 2a). ¿Famosos? ¡Vaya que sí lo son! De hecho, son más famosos que Miles Davies, pero los conocemos con otros nombres y arreglos químicos: pigmento fotosintético o clorofila (Fig. 2b) y un pigmento fotosintético es el encargado de captar y transformar la energía radiante del Sol. Sin pigmento fotosintético de porfirina no es posible hacer fotosíntesis.

En resumen: con la facultad de producir porfirina en su repertorio genético, microorganismos como los *Desulfovibrio* comenzaron a explotar la más abundante fuente de energía, la luz solar. De esta manera, fue como iniciaron su camino hacia una interesante vida totalmente dependiente de la luz.

#### Una anécdota árabe y otra esotérica sobre la luz

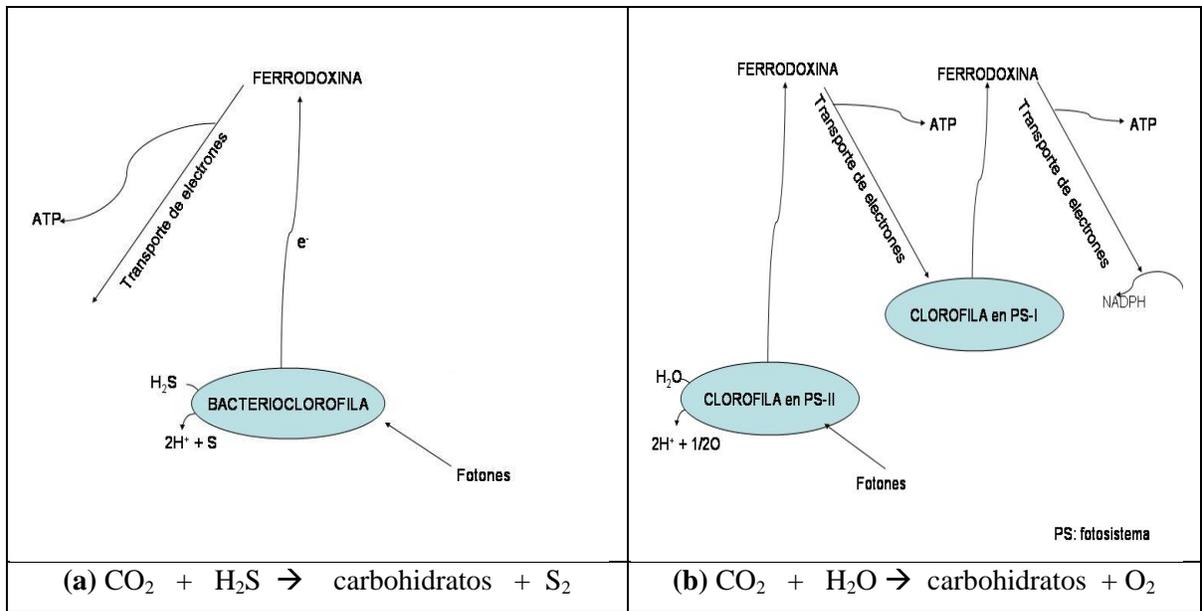
Abu Alí al-Hasan ibn al-Haitzam, mejor conocido como Alhazén, fue un notable físico nacido en Basora (hoy Irak) en el 905 y que vivió y trabajó en la antigua ciudad de Al-Andaluz, (hoy Andalucía). En su tratado de óptica, Alhazén refirió las investigaciones que realizó para describir la naturaleza de los colores (recordemos que en la Europa de entonces, los fenómenos naturales se explicaban de manera empírica, no mediante experimentación). Otro árabe, Kamal al-Din Abul Hasan Muhamad ibn al-Hasan-al-Fari, conocido entre los amigos como “Kamal Farisi” (c.a. 1320), estudió los trabajos de Alhazén y propuso una teoría sobre el origen del arcoiris, la de la refracción de la luz del Sol en las gotas de lluvia. René Descartes redescubrió esta teoría en 1635 y casi tres décadas después, en 1666, Newton *rompió la blancura de la luz* al hacerla pasar por un prisma generando el espectro de siete colores, como analogía a las 7 notas musicales (¡nuevamente, música y luz unidos!) ¿Siete colores? Sí, 7, pese a que el arcoiris es continuo ¿Por qué razón Newton propuso 7 colores? Tal vez por la misma que el bufón de la corte le dio a su rey cuando se lo preguntó: “*el motivo por el cual el arcoiris se compone de 7 colores, es un lindo motivo*”; aunque hay quienes creen que la elección del cabalístico 7 refleja las inclinaciones esotéricas de Newton (Miramontes 1999).



**Figura 2.** Anillo de porfirina (a). Clorofila vegetal: anillo de porfirina, con un átomo de magnesio (Mg) central (b). Hemoglobina: porfirina con un átomo de hierro (Fe) central, que acarrea oxígeno vía venosa (c).

Ahora bien, si una molécula absorbe energía electromagnética (luz), los electrones se estimulan y pasan a un estado superior de energía. Por lo general, esta energía suele disiparse como luz o calor y los electrones regresan a su estado previo. Pero ¿qué tal si la molécula en cuestión está unida a porfirinas que ayudan a no perder la energía de la luz? La energía lumínica podría ser concentrada y empleada en “algo” útil, como por ejemplo, dar energía a los seres vivos. Entonces, para que lo anterior fuese posible, las bacterias ancestrales tipo *Desulfovibrio* y de los primeros fotosintetizadores debieron contar con toda la maquinaria fotosintética, que debió ser similar a la presente en las actuales bacterias verdes y púrpura del azufre, S, misma que se muestra en la Figura 3a.

Comparando los tipos de fotosíntesis, anoxigénica del S y oxigénicas del O (Fig. 3), pareciera como si toda la maquinaria fotosintética (los llamados fotosistemas), se hubiese duplicado, pues en la fotosíntesis oxigénica intervienen dos pigmentos fotosintéticos, en uno de los cuales se rompe la molécula donadora de H, el H<sub>2</sub>O (Fig. 3b). ¿Cómo fue posible esta duplicación? Simplemente por duplicación del material genético. Y claro, con un aparato fotosintético más robusto, la fotosíntesis oxigénica o generadora de oxígeno resultó más eficiente en términos energético: Al romper moléculas de agua (H<sub>2</sub>O) para obtener H, hizo de los fotótrofos oxigénicos un grupo metabólico con un éxito espectacular, ya que el agua era el compuesto más abundante. Y como si lo anterior no fuera suficiente, mientras que en la fotosíntesis anoxigénica se obtiene una molécula de ATP, durante la oxigénica se adquieren dos moléculas de ATP y, adicionalmente, una de NADPH (nicotinamida-adenín-dinucleótido fosfato), otra potente fuente de energía (Fig. 3b).

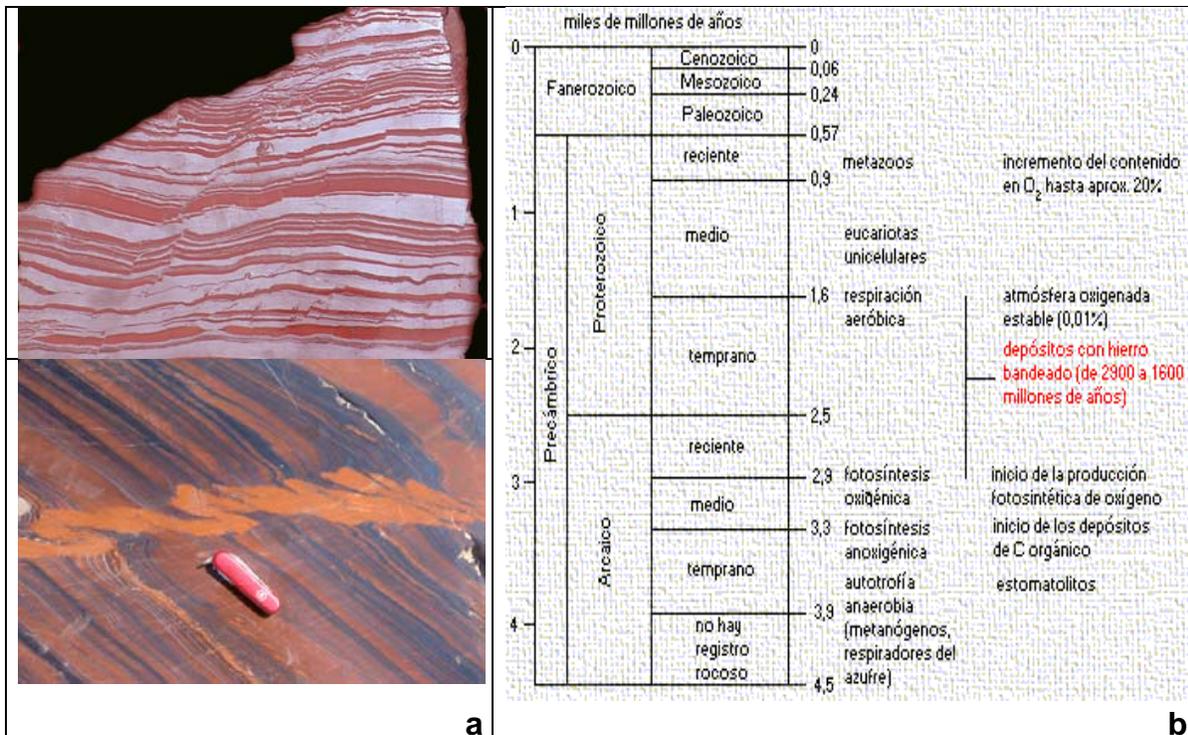


**Figura 3.** Esquema de la fotosíntesis anoxigénica en bacterias sulfurosas (a) y de la fotosíntesis oxigénica en cianobacterias (b). PS-I y PS-II: fotosistemas 1 y 2, respectivamente

### Encontrando un lugar bajo el Sol

La acumulación de  $O_2$  en la atmósfera fue un evento paulatino, como indican las bandas de Fe, conocidas como BIFs (Fig. 4), que se formaron hace 2800 a 1600 m.a. por oxidación del Fe. Lo anterior nos indica que el oxígeno provoca fuertes cambios en compuestos del Fe, así como del uranio (U) y del manganeso (Mn). Al oxidarse éstos, forman hematita ( $Fe_2O_3$ ), Uranita ( $UO_2$ ) o  $MnO_2$ . Con tan fuerte carácter oxidante del Oxígeno, justamente, ¿se imagina Usted lo que pudo representar esta letal molécula para los seres vivos del arqueano? El manual de sobrevivencia de aquellos fotosintetizadores debió incluir otras estrategias para que el reactivo  $O_2$  no les hiciera morir. En este caso, la respuesta fue hacerse de paredes celulares más gruesas para evitar el ingreso de oxígeno a la célula; otra respuesta fue emigrar a zonas profundas a donde no llegara el oxígeno, que representarían un símil del planeta arcaico; un tipo de estos ambientes pudo ser el interior de otro ser vivo, que sí fuera tolerante al  $O_2$ .

Se postula que fue de esa manera como surgieron las primeras células eucariontes: dada la reactividad del  $O_2$ , no es del todo descabellado pensar que el origen de células con núcleo y organelos intracelulares fuese consecuencia de la evolución de una atmósfera reductora a oxidante, cuando microorganismos anaerobios se refugiaron en el interior de microorganismos aerobios de mayor tamaño (como las bacterias anaerobias que viven en el interior del estómago de las vacas y del suyo). Así es: el origen de células eucariontes es otra consecuencia trascendental en la historia de la biosfera tras el arribo de los fotosintetizadores oxigénicos, pero el origen del dominio de los eucariontes es tema de otro escrito.



**Figura 4.** Bandas de depósitos de Fe por oxidación de minerales ferrosos (a) datadas 2900-1600 m.a. y cuya formación se relaciona con el enriquecimiento de oxígeno en la atmósfera, como consecuencia de la actividad de microorganismos fotosintetizadores oxigénicos (b). La tabla b resume los eventos evolutivos desde el origen de los anaerobios hasta de eucariotes unicelulares y los pluricelulares, como los metazoarios (metazoos) o animales; adicionalmente, se indica cuando la atmósfera pasó de reductora (menos 1% de oxígeno) a oxidante (casi 20% de oxígeno)

En la naturaleza todo es aprovechado de la mejor manera posible: “¡con tanto oxígeno del que se estaba enriqueciendo la atmósfera! Con esa facilidad para oxidar moléculas y liberar electrones. Un flujo de electrones originando energía, que sea acoplada a ciertas rutas metabólicas!”. Es un modelo energético muy eficiente... Y sucedió que en el microcosmos, donde todo parece ser posible e innovador, hace 1.6-2.0 m.a. ciertos microorganismos hicieron más que adaptarse a la atmósfera cada vez más oxidante que configuraban los fotosintetizadores oxigénicos: dispusieron del O<sub>2</sub> para la combustión de compuestos orgánicos a través de la respiración aerobia, reactivando la vida en la Tierra. Más precisamente: un precioso (literalmente) grupo de microorganismos fotosintetizadores oxigénicos, los cianoprocariontes (también conocidos como cianobacterias o algas cianofitas), no solo enriquecieron su entorno con aquél oxígeno letal, sino que se adaptaron de manera tal a éste aprendiendo a utilizarlo durante su respiración, ya que los cianoprocariontes liberan oxígeno durante la fotosíntesis, mientras que al respirar, lo consumen! Es decir, los cianoprocariontes verdaderamente encontraron su lugar bajo el Sol.

Solo resta agregar que, conforme el O<sub>2</sub> fue atesorándose en la Tierra, los ciclos biogeoquímicos se transformaron notablemente. Desde sus ambientes, los anaerobios interaccionaron directa o indirectamente con los aerobios, interacciones que diversificó y colmó el flujo continuo de la materia y la energía.

Se han presentado datos sobre la génesis de los fotosintetizadores oxigénicos; tras su llegada, la Tierra nunca volvió a ser la misma: gradualmente, aguas y suelos se tornaron verduzcos y azulados, y cuando ese reactivo producto de la fotosíntesis, el oxígeno, “tocó” la piel externa de la Tierra, su rostro al Universo, la distinguió con un nuevo nombre, “El Planeta Azul”, al que pareciera dedicarle su pieza elocuente, libre y certera, Miles Davis.

**P.D.** En México, 45% de la superficie terrestre se encuentra degradada (Huber-Sannwald 2005) ¿Quién escriba nuestra historia contará que “*tras la llegada de los humanos, la Tierra nunca volvió a ser la misma; gradualmente, aguas y suelos se tornaron turbios y estériles; al alcanzar la atmósfera, el CO<sub>2</sub> esbozó su nuevo nombre “el planeta gris”, al que pareciera dedicarle sus lágrimas, heridos, melancólicos y perplejos, Ms. Smog y Mr. Plastipak*”?

### Lecturas Recomendadas

Margulis, L. 1986. *El origen de la célula*. Reverté, Barcelona

Stanier, et al. 1978. *Introduction to the phototrophic prokaryotes*. In Buchanan, R.E., Gibbons, N.E. (eds): *The Prokaryotes*. Baltimore

Woese, C. R. 1987. *Bacterial evolution*. American Society of Microbiology (51): 221-227

---

---

### J. Viridiana García Meza



Investigadora de Geomicrobiología Ambiental, en el Instituto de Metalurgia de la UASLP. Obtuvo el Doctorado en Ciencias (Química Ambiental) en la Facultad de Química de la UNAM en el año 2003. Estudio Biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM, en donde también obtuvo el grado de Maestría, haciéndose acreedora a la Medalla “Alfonso Caso”, por ser el graduado más distinguido de su generación (1999). Actualmente participa en la línea de investigación “Remediación por métodos biológicos”. Participa como investigador invitado en varios proyectos en la Universidad de Ámsterdam y el Instituto de Investigaciones en Biología Experimental, de la Facultad de Química de la Universidad de Guanajuato.