

# Relato de la Búsqueda del Origen de la Vida, de lo que se Creía y de lo que se Encontró

David Amurrio D.

Universidad Católica Boliviana  
Cochabamba, Bolivia  
e-mail: amurrio@ucbcba.edu.bo

*Esta es la relación de cómo todo estaba en suspenso, todo en calma, en silencio, todo inmóvil callado y vacía la extensión del cielo [...]. No había nada junto, que hiciera ruido, ni cosa alguna que se moviera, ni se agitara, ni hiciera ruido en el cielo [...]. No había nada dotado de existencia [1, p. 25].*

... y la vida apareció sobre la faz de la tierra, cuentan las tradiciones de numerosas civilizaciones, por intervención divina la primera vez, arrancada del mundo inerte y mineral en un maravilloso acto de creación. Las numerosas especies creadas poblaron la tierra reproduciéndose por copias exactas de sí mismas, las cuales al morir volvían a las cenizas. Paralelamente, se fue constatando que algunas especies se generaban espontáneamente al observar que sapos nacían del lodo con ayuda del sol y gusanos aparecían milagrosamente en pedazos de carnes muertas.

## La generación espontánea.

*Los de Xibalbá molieron entonces sus huesos y fueron a arrojarlos al río. Pero éstos no fueron muy lejos, pues asentándose al punto en el fondo del agua se convirtieron en hermosos muchachos [1, p. 91].*

Consagrado por Aristóteles (384 - 322 a.c.) en su célebre Historia de los Animales [3], curiosa mezcla de agudas y pertinentes observaciones, creencias y supersticiones, la teoría de la generación espontánea fue estudiada, memorizada y repetida por generaciones hasta bien entrado el siglo XIX. En el renacimiento, los trabajos de alquimia de Paracelso (1493 - 1541) le permitieron afirmar la existencia de una Fuerza Vital, exclusiva a la materia orgánica, que generaba seres vivientes espontáneamente a partir de materia orgánica en descomposición. Aunque en su origen Aristóteles limitó su

teoría a animales inferiores como ostras, testáceos y algunos insectos, observadores menos aventajados pronto la generalizaron a otras especies. Así, en el siglo XVII un médico flamenco, Van Helmont, presenta incluso una demostración científica, tras incubar granos de trigo con una camisa empapada de sudor humano durante 21 días para luego obtener: ... ratoncitos.

Recién en 1668 aparece la primera contestación a la teoría de la generación espontánea, cuando Francesco Redi demuestra que los gusanos no se generan sobre un pedazo de carne en putrefacción, si se tiene el cuidado de cubrir éste con un fino tul.

El descubrimiento de organismos microscópicos por A. v. Leeuwenhoek (1632 - 1723) dio una nueva vida a la teoría de la generación espontánea. Las dificultades inherentes a la observación de los micro-organismos combinadas con interpretaciones equívocas de observaciones reales, llevó a muchos sabios de renombre a considerar que la teoría estaba científicamente probada. Así, el sacerdote John Needham (1713 - 1781) intentó esterilizar recipientes con "animalículos" herméticamente sellados para evidenciar que pasados unos días las aguas estaban nuevamente infestadas de éstos mientras que su rival, el biólogo Lázaro Spallanzani (1729 - 1799) demostró lo contrario al elevar las temperaturas y prolongar el tiempo de ebullición. Posteriormente, Needham pasó a ser el primer sacerdote admitido a la Royal Society of London donde defendió la Teoría de la Generación Espontánea y la Teoría del Vitalismo, mientras que Spallanzani descubrió el rol del semen en la reproducción y pasó a ser la primera persona en realizar una inseminación artificial (en un can, 1780).

Cuando Félix Pouchet publica en 1860 su obra sobre la generación espontánea, ésta ya había sido rechazada por la comunidad científica: las investigaciones de L. Pasteur sobre la contaminación microbiana (1862) invalidaron la teoría de la generación espontánea; la síntesis química de la úrea (1828) por F. Wöhler y del ácido acético (1845) desmintieron la teoría del vitalismo y la seminal publicación de C. Darwin sobre el origen de las especies (1859), todas ellas echaron nuevas luces y abrieron nuevas perspectivas a la comprensión de lo viviente. Enfrentados a la interrogante sobre el origen de la vida, los estudiosos de la época comprendían que todas las formas vivientes sobre la tierra provenían, por evolución y selección natural, de un único organismo primordial cuyo origen seguía siendo... un misterio.

## La panspermia

*Esta es la primera relación, el primer discurso. No había todavía un hombre, ni un animal [...] ni bosques: solo el cielo existía [1, p. 25].*

Incapaces de explicar un origen terrestre de la vida, algunos estudiosos dirigieron sus miradas hacia el espacio, imaginándose la tierra fecundada por esporas celestes transportadas por meteoritos. H. Richter formula su teoría en 1865 seguido por Lord Kelvin en 1871. Buscando verificar esta teoría, L. Pasteur se dedica un tiempo a buscar microorganismos en meteoritos y S. Arrhenius estudia la resistencia de esporas al frío sideral (1903), demostrando su viabilidad después de sumergirlas en nitrógeno líquido [2].

La comprensión moderna del grado de resistencia de las bacterias a las condiciones reinantes en el espacio como el vacío absoluto, la radiación ultravioleta y las radiaciones cósmicas, así como al calor asociado al ingreso de un meteorito a la atmósfera terrestre, cobraron un nuevo interés cuando en 1996 McKay *et al.* interpretaron ciertas formaciones calcíticas en un meteorito proveniente de Marte como fósiles de microorganismos [9]. La propuesta de fósiles marcianos levantó una verdadera polémica en la comunidad científica y aunque el consenso actual es que las formaciones observadas tienen otro origen, el renovado interés en formas de vida extraterrestre puede quizás explicar por qué cuatro misiones científicas atraviesan silenciosamente el espacio en este momento con destino a Marte, para enero 2004, llevando en sus entrañas la grave interrogante sobre la existencia de vida extraterrestre.

Aunque la panspermia pretende explicar el origen de la vida sobre la tierra, no logra responder a la verdadera pregunta de cómo se originó la vida. Tampoco logra responder otra pregunta igualmente importante: qué es la vida. Idéntica pregunta se formularon los responsables de las misiones espaciales a Marte: si llegase el momento en el cuál estarían cara a cara con un organismo marciano, ¿cómo sabrían que se trata de un ser viviente? La respuesta en su momento no pasó de ser un silencio incómodo y miradas nerviosas entre los interpelados, aunque ahora afirman que la vida es: “un sistema químico capaz de reproducción y evolución” respuesta que con seguridad levanta más interrogantes a su vez.

### Origen químico de la vida

*No estaban claras las primeras huellas, pues estaban invertidas, como hechas para que se perdieran, y no estaba claro el camino. Se formó una nieblina, se formó una lluvia negra y se hizo mucho lodo. [1, p. 123].*

Proponiendo una evolución química previa a la evolución biológica, A. Oparin (1924) y J. B. Haldane (1927) proponen independientemente una teoría según la cual la primitiva atmósfera terrestre, rica en metano y amoníaco y desprovista de oxígeno, habría dado lugar a la formación de moléculas como el ácido cianhídrico o el formaldehído, las cuales disolviéndose en los océanos, habrían dado lugar a moléculas más complejas como los ácidos aminados, azúcares y ácidos nucleicos. Estos últimos, a su vez, se habrían combinado para formar macromoléculas constitutivas de células vivientes, las cuales se habrían integrado en pequeñas vesículas de estructura coloidal. Dichas vesículas separarían efectivamente las macromoléculas del exterior y permitirían el intercambio con el exterior de sustancias necesarias para su crecimiento y reproducción, creando finalmente una selección química natural que culminaría con la aparición de la primera célula viviente.

Aunque la hipótesis propuesta era seductora, sus autores nunca llegaron a demostrarla. El desconocimiento sobre las condiciones de la atmósfera primitiva, la dificultad de caracterizar las reacciones propuestas y la aparentemente irrealista “generación espontánea molecular”, en la cual moléculas simples se organizan en sistemas cada vez más complejos, presentaron infranqueables obstáculos para sus autores. La sensación de

improbable en este último punto se encuentra elocuentemente plasmada en la escultura de J. Davis [6] donde una campana de vidrio provista de electrodos, conocida como un frasco de Madden, encierra los restos de un reloj destripado; la explicación al pie que indica, *... dadas las condiciones adecuadas y tiempo suficiente las piezas del reloj podrán auto-ensamblarse y funcionar...*, contrasta cruelmente con la inmovilidad de las manecillas, la languidez del resorte, las ruedecillas dentadas que sucumben lentamente a la herrumbre...

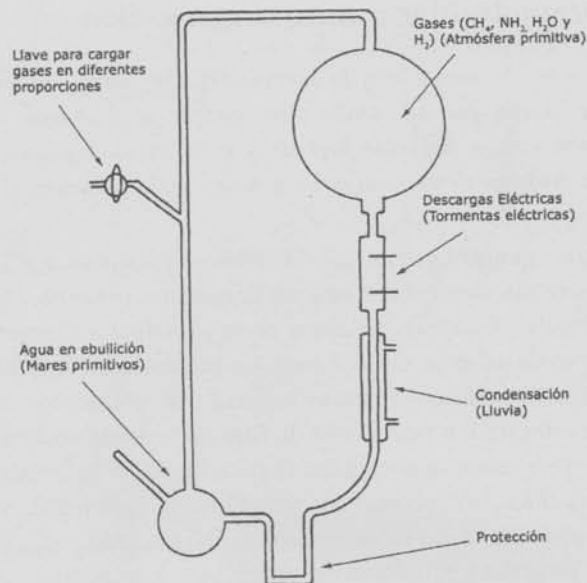
### La revolución de 1953

*... contemplaban el lucero del alba, la gran estrella precursora del sol, que alumbra la bóveda del cielo y la superficie de la tierra, e ilumina los pasos de los hombres creados y formados* [1, p. 105].

Hace exactamente 50 años [4], dos artículos sacudieron a la comunidad científica, el primero proponía una estructura para el ADN e insinuaba su mecanismo de replicación [16], el segundo, publicado 20 días después, demostraba experimentalmente la posibilidad de formación de moléculas de interés biológico en las condiciones supuestas de la primitiva atmósfera terrestre [10]. El primer artículo, firmado por J. D. Watson y F. H. C. Crick, marcaría un hito en el conocimiento de lo biológico y llevaría a establecer un conocimiento molecular de la vida, la herencia y la evolución. El segundo, presentado por S. L. Miller planteaba evidencia experimental para la primera parte de la hipótesis de Oparin y Haldane.

En su experimento, Miller (Figura 1) introdujo una mezcla de hidrógeno, metano, amoníaco y vapor de agua, composición supuesta de la atmósfera terrestre hace 4000 millones de años. Dichos gases estaban en equilibrio con agua caliente, correspondiente a los cálidos mares entonces existentes. Sometiendo la parte superior, correspondiente a la troposfera, a una serie de descargas eléctricas, se simuló el efecto de las tormentas eléctricas. Finalmente, un sistema de enfriamiento permitía condensar agua en la "atmósfera" trayendo la lluvia. Transcurridos algunos días, observó la formación de una sustancia marrón desagradable sobre las paredes del recipiente, sustancia que plasmaría el concepto de la "sopa primordial" al constatar que su composición incluía formaldehído, ácido cianhídrico y una pequeña cantidad de ácidos aminados, particularmente la glicina. Posteriormente, el experimento fue enriquecido con numerosas variaciones. Se introdujeron otros gases como el monóxido de carbono y el dióxido de carbono, se variaron las proporciones de los gases presentes, se incluyeron otras fuentes energéticas como choques térmicos, radiación ultravioleta, rayos X, etc. encontrándose mezclas complejas de ácidos nucleicos y proteínas con rendimientos típicos de 0.001 % y eficiencias energéticas de  $10^{-12}$  [mol/joule] [11].

El avance de nuestro conocimiento y los resultados experimentales obtenidos han terminado por levantar varias objeciones al modelo experimental propuesto por Miller. En primer lugar se encuentra el elevado número de compuestos diferentes que se forman. Esta enorme diversidad trae como consecuencia un aumento exponencial de reacciones parásitas y la consiguiente destrucción de moléculas biológicamente interesantes. Por



**Figura 1:** Diseño experimental de S. L. Miller [10]. Reprinted with permission from S. L. Miller. *Science* 117, 528, 1953. Copyright 1953 American Association for the Advancement of Science.

otra parte se constata que la presencia de agua y temperaturas cálidas favorece las reacciones de hidrólisis y no así las de condensación, requisito indispensable para formar macromoléculas biológicamente activas. Finalmente, las bajas concentraciones de ácidos aminados obtenidos limita el número de reacciones biológicamente significativas.

A pesar de las limitaciones mencionadas, los experimentos desarrollados indicaron claramente que la atmósfera propicia para el desarrollo de una evolución química de la vida era una atmósfera reductora, compuesta de metano, nitrógeno y vapor de agua, puesto que se detectaba la formación de los 20 ácidos aminados conocidos, así como las bases purina y pirimidina de los ácidos nucleicos, la ATP, algunos azúcares y lípidos; en marcado contraste con una atmósfera oxidada, compuesta de dióxido de carbono donde los precursores mencionados no se forman o se obtienen en proporciones 1000 veces menores.

Aunque la composición de la atmósfera hace 4000 millones de años no es conocida con certeza, estudios geológicos recientes parecen indicar que ésta estaba oxidada, con concentraciones de dióxido de carbono elevadas, desfavoreciendo el modelo originalmente propuesto y provocando nuevas propuestas que invocan ya sea la presencia adicional de monóxido de carbono, el efecto de abundantes lluvias de meteoritos, micro-zonas creadas alrededor de fuentes hidrotermales, etc. Admitiendo la existencia de condiciones favorables para la formación de precursores biológicos, aún queda la interrogante de cómo éstos lograron, espontáneamente, ensamblarse en un sistema químico capaz de reproducirse y evolucionar: un ser viviente. Esta interrogante dio lugar al estudio de la auto-organización.

## Química supramolecular y auto-organización

*Entonces fue la creación y la formación. De tierra, de lodo hicieron la carne. Pero vieron que no estaba bien, porque se deshacía, estaba blando, no tenía movimiento, no tenía fuerza, se caía, estaba aguado. [...] Rápidamente se humedeció dentro del agua y no se pudo sostener. [1, p. 29].*

¿Cómo se auto-organiza la materia?, ¿Cuáles son las etapas y los procesos que llevan desde una partícula elemental hasta un organismo pensante, la entidad de mayor complejidad (¡actual!)? Tal es, en palabras de su principal exponente, J.-M. Lehn (Nobel 1987), el objeto de estudio de la química supramolecular; química más allá de la molécula, que busca desarrollar sistemas moleculares altamente complejos a partir de componentes que interactúan por medio de fuerzas intermoleculares no covalentes [8]. A la base de esta propuesta se encuentra el paradigma de la información. Para que la materia se auto-organice, es necesario que tenga integrada la información requerida para ello. Información presente tanto en su estructura misma (componente espacial) como en la dinámica de la rotación y vibración de sus enlaces (componente temporal). Información almacenada en la molécula entonces, que le permite interactuar con otras moléculas diferentes, intercambiando información, auto-ensamblándose, auto-organizándose, formando super-estructuras cada vez más complejas que procesan la información por medio de algoritmos que operan en base a eventos de reconocimiento molecular...

Para apreciar mejor el estado presente de esta área, consideremos a continuación 3 ejemplos, no necesariamente representativos pero seleccionados por ser sencillos.

1. La síntesis química de un dodecaedro en base al carbono fue inicialmente presentada por Paquette *et al.* en 1982 [14] utilizando modernas técnicas de síntesis orgánica. El compuesto obtenido,  $C_{20}H_{20}$ , representó el trabajo de 23 reacciones sucesivas y el rendimiento final fue menor al 1%. En 1999, Stang *et al.* [12] proponen otra síntesis del dodecaedro en base a 2 moléculas diferentes (Figura 2). La selección de las estructuras de dichas moléculas, representadas por una esfera y un cilindro, resulta de un cuidadoso análisis de las interacciones moleculares en cuyo detalle no entraremos aquí, basta con señalar que la estructura deseada se auto-ensambló en espacio de minutos con un rendimiento de 99% a pesar de que el dodecaedro formado de fórmula  $[C_{2840}H_{2300}N_{60}O_{20}Pt_{120}]^{+60}[O_3SCF_3^{-1}]_{60}$  tiene una masa molecular 238 veces más grande que el anterior.

El concepto de auto-ensamblado ha sido transferido por Whitesides *et al.* [17] hacia el mundo mesoscópico y macroscópico, logrando el auto-ensamblado, no de moléculas, sino de pequeñas piezas cuyas dimensiones están comprendidas entre micras y centímetros, estudiando las leyes que gobiernan el auto-ensamblado de estos sistemas y buscando aplicaciones industriales posibles relacionadas con la industria de componentes electrónicos, construcción de sensores así como aplicaciones en nanotecnología.

2. El descubrimiento de un estructura molecular no biológica capaz de auto-replicarse fue realizada por von Kiedrowski en 1986 [7]. Los diferentes trabajos de inves-

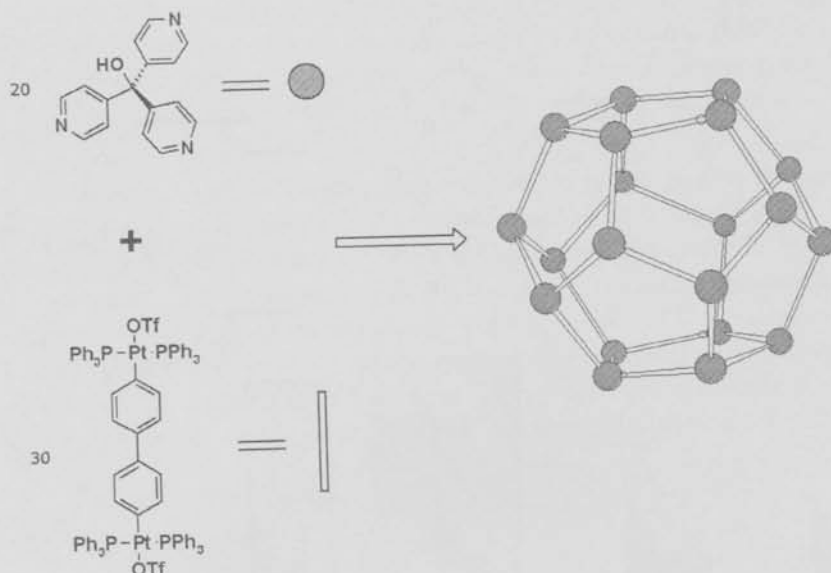


Figura 2: Auto ensamblado de un dodecaedro. Reprinted with permission from [12] Copyright 1999 American Chemical Society.

tigación desarrollados sobre otros sistemas permitieron generalizar esta auto-replicación como un proceso de auto-catálisis, en la cual el producto de una reacción es capaz de reconocer a por lo menos 2 reactivos con un alto grado de selectividad y facilitar una reacción entre éstos, aumentando así la existencia de productos idénticos a si mismos de una manera exponencial. El sistema presentada por Rebek [15] (Figura 3) fue objeto de polémica provocando el desarrollo de estudios extremadamente minuciosos [13] a fin de distinguir la importancia de otras interacciones parásitas determinando al final la importancia de la auto-replicación en la cual la condensación de una molécula A con otra B produce un producto que llamaremos AB. La existencia de fuerzas de interacción como puentes de hidrógeno, empilamiento  $\pi$ , interacción entre dipolos, etc. hace que el producto AB reconozca específicamente a A y a B facilitando su condensación y liberando una nueva molécula AB.

3. El desarrollo de operaciones lógicas a nivel molecular ya fueron realizadas en el caso del AND y del OR. El operador XOR (ó exclusivo) más complejo ha sido recientemente descrito [5] bajo la forma de dos moléculas C y D (Figura 4), en la cual por auto-ensamblaje D se introduce dentro de C o se retira reversiblemente, según se introduzca en el sistema una cantidad equivalente de ácido o base como input. El resultado, output, puede obtenerse al observar la fluorescencia de la molécula, la misma que ha sido diseñada para variar según D esté dentro o afuera de C.

La búsqueda del origen de la vida continúa pero aquí acaba la historia pasada y

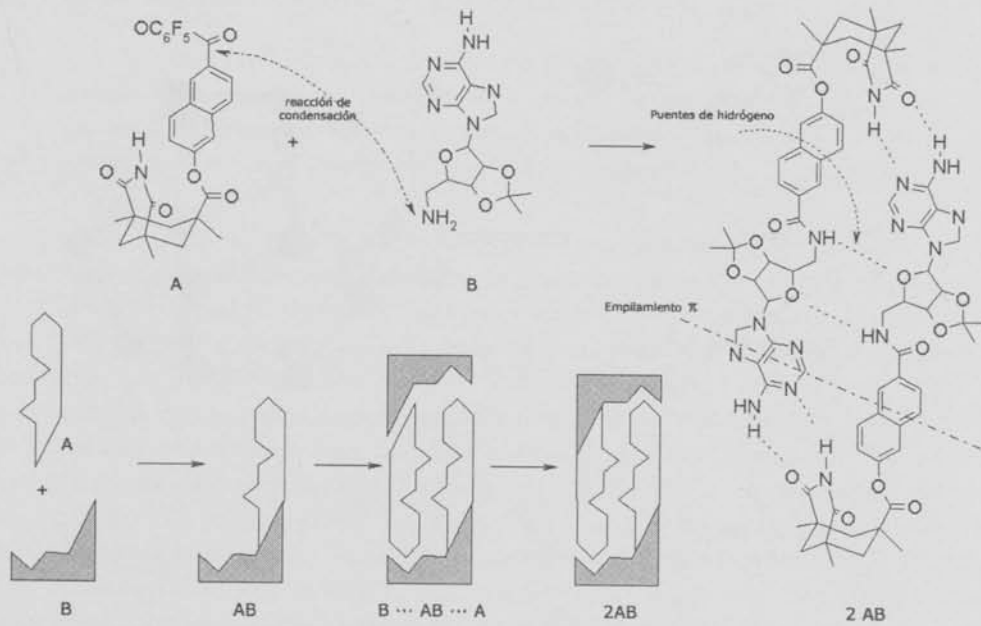


Figura 3: Autorreplicación de una molécula no biológica. Ilustración elaborada en base a la referencia [13].

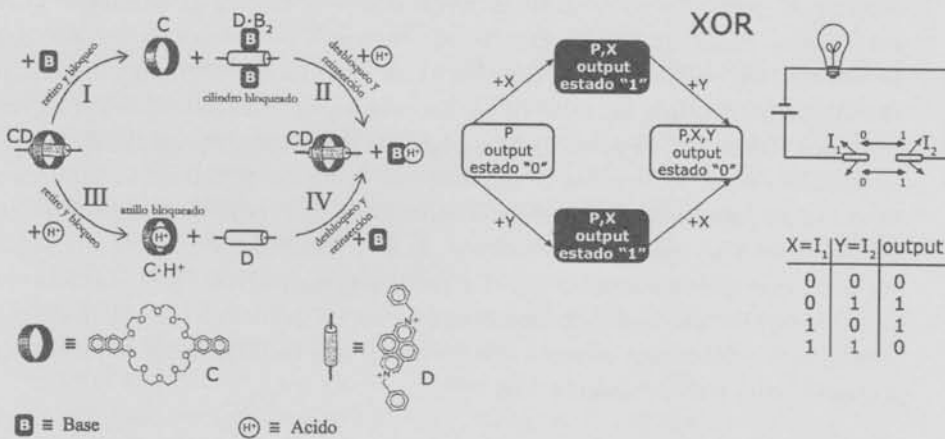


Figura 4: Operaciones lógicas con sistemas moleculares. Reprinted in part with permission from [5] Copyright 1997 American Chemical Society.

comienza el tiempo futuro. Es probable que nunca encontremos una respuesta a esta pregunta aunque en el camino hemos encontrado respuestas a muchas otras preguntas que entonces no nos imaginábamos. El conocimiento cada vez más detallado que tenemos sobre los procesos moleculares de la vida, acompañado del descubrimiento progresivo de las leyes que gobiernan la auto-organización de la materia nos traen sueños



y pesadillas para el futuro, imágenes de un día en el cual podamos crear vida e incluso, por qué no, vislumbrar el día en que nos inclinemos sobre nuestro propio genoma, equipados de nuestras propias herramientas en la tarea de modificarnos, mejorarnos, eliminar imperfecciones: auto-evolucionar.

*Fueron dotados de inteligencia; vieron y al punto se extendió su vista, alcanzaron a ver, alcanzaron a conocer todo lo que hay en el mundo. [...] Las cosas ocultas las veían todas, [...]. Pero el Creador y el Formador no oyeron esto con gusto [...] “¿Acaso no son por su naturaleza simples criaturas y hechuras nuestras? ¿Han de ser también ellos dioses?” [...] Entonces el Corazón del Cielo les echó un vaho sobre los ojos, los cuales se empañaron como cuando se sopla sobre la luna de un espejo. Sus ojos se velaron y sólo pudieron ver lo que estaba cerca, sólo esto era claro para ellos. [1, p. 101].*

## Referencias

- [1] *El Popol Vuh, las antiguas historias del Quiché*. Editorial Universitaria Centro Americana, Costa Rica, 10ª edición, 1981.
- [2] [http://www.nirgal.net/ori\\_life1.htm](http://www.nirgal.net/ori_life1.htm), junio, 2003.
- [3] Aristóteles. *The history of animals*, libro 5, cap. 1, 15 y 16. <http://etext.-library.adelaide.edu.au/a/a8ha/>, junio, 2003.
- [4] P. Barthélémy. *Le Monde*, 14 mai, 2003.
- [5] A. Credi, V. Balzani, S. J. Langford, y J. F. Stoddart. *J. Am. Chem. Soc.*, 119:2679, 1997.
- [6] W. W. Gibbs. *Scientific American*, abril, 2001.
- [7] G. von Kiedrowski. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 25:932, 1986.
- [8] J.-M. Lehn. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 99(8):4763, 2002.
- [9] D. S. McKay, E. K. Gibson, K. L. Thomas-Keprta, H. Vali, C. S. Romanek, S. J. Clemett, X. D. F. Chlilier, C. R. Maechlin, y R. N. Zare. *Science*, August 16, 1996.
- [10] S. L. Miller. *Science*, 117:528, 1953.
- [11] S. Miyakawa, H. Yamanashi, K. Kobayashi, H. J. Cleaves, y S. L. Miller. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 99(23):14628, 2002.
- [12] B. Olenyuk, M. D. Levin, J. A. Whiteford, J. E. Shield, y P. J. Stang. *J. Am. Chem. Soc.*, 121:10434, 1999.
- [13] D. N. Reinholdt, D. M. Rudkevich, y F. de Jong. *J. Am. Chem. Soc.*, 118:6880, 1996.

- [14] R. J. Ternansky, D. W. Balogh, y L. A. Paquette. *J. Am. Chem. Soc.*, 104:4503, 1982.
- [15] T. Tjivikua, P. Ballester, y J. Rebek Jr. *J. Am. Chem. Soc.*, 112:1249, 1990.
- [16] J. D. Watson y F. H. C. Crick. *Nature*, 171:737, 1953.
- [17] G. M. Whitesides y M. Boncheva. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 99(8):4769, 2002.