
ESTUDIOS / STUDIES

Breve historia de la exobiología desde la figura de Joan Oró Florensa

Iván López García

Instituto de Historia de la Ciencia. Universidad Autónoma de Barcelona, España

E-mail: ivan.lopezg@uab.cat

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7535-6234>

Recibido: 03-05-2022; Aceptado: 16-07-2023; Publicado: 30-06-2024

Cómo citar este artículo / Citation: López García, Iván (2024), "Breve historia de la exobiología desde la figura de Joan Oró Florensa", *Asclepio*, 76 (1): e08. DOI: <https://doi.org/10.3989/asclepio.2024.08>

RESUMEN: El presente artículo ofrece la elaboración de una historia de la exobiología a la luz de los trabajos y aportaciones del bioquímico español Joan Oró Florensa. Con este planteamiento se pretende demostrar, por un lado, el papel crucial que tuvo Oró en las investigaciones y debates que dieron forma y contenido a esta disciplina científica, cubriendo así el vacío que existe en este respecto, y, por el otro, se pretende elaborar esta historia mediante su concreción en ciertas tramas y materiales concretos que la cubren perfectamente. La exobiología nace a partir de la década de 1960 con la unión, de la mano de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), de los estudios sobre el origen de la vida y la era espacial; en concreto, toma forma principalmente a partir de las investigaciones y experimentos biológicos de las misiones Apollo y Viking, en los que Oró participó como uno de los actores principales.

Palabras clave: Exobiología; Joan Oró Florensa; Apollo 11; Viking; Meteoritos.

Brief history of exobiology from the figure of Joan Oró Florensa

ABSTRACT: This paper offers the elaboration of a history of exobiology in the light of the works and contributions of the Spanish biochemist Joan Oró Florensa. This approach is intended to demonstrate, on the one hand, the crucial role that Oró had in the research and debates that shaped this scientific discipline, thus covering the gap that exists in this regard, and, on the other, it is intended to give know this story through its concretion in certain plots and certain materials that will cover it perfectly. Exobiology born during the 1960s with the union, hand in hand with National Aeronautics and Space Administration (NASA), of studies on the origin of life and the space age; specifically, it mainly takes shape from the biological research and experiments of the Apollo and Viking missions, in which Oró participated as one of the main actors.

Keywords: Exobiology; Joan Oró Florensa; Apollo 11; Viking; Meteorites.

INTRODUCCIÓN

La exobiología, esto es, la búsqueda de vida (principalmente microorgánica) fuera del planeta Tierra, no existía antes de la carrera espacial iniciada a finales de la década de 1950. No obstante, en menos de dos décadas se convirtió en una disciplina científica de pleno derecho. En la primavera de 1953, apenas tres semanas después de que se publicara el famoso trabajo de Watson y Crick sobre la estructura del ADN, apareció el igualmente famoso trabajo de Stanley L. Miller y Harold C. Urey sobre la síntesis de los componentes químicos básicos de la vida en el laboratorio. En ese momento el estudio del origen de la vida era parte integrante de los campos científicos desarrollados principalmente desde las coordenadas de la Guerra Fría. En esta coyuntura, fue Joshua Lederberg, un joven genetista que recibió el Premio Nobel en fisiología y medicina en 1958 —el mismo año en que se fundó la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA)—, quien acuñó el término *exobiología* para designar la investigación sobre los orígenes de la vida en la Tierra y el desarrollo de instrumentos y métodos para buscar este origen en el Universo.

En concreto, la exobiología nace durante la década de 1960 con la unión, de la mano de la NASA, de los estudios sobre el origen de la vida y la era espacial. Toma forma y contenido especialmente a partir de los experimentos biológicos de las misiones *Apollo 11* y *Viking*, de los que, como se expondrá en las siguientes páginas, formó parte el protagonista de este trabajo, Joan Oró Florensa, como uno de sus actores centrales. La importancia de su participación en la constitución y desarrollo de la exobiología aún está por esclarecer y, sobre todo, aún no existen trabajos exhaustivos al respecto que se enfoquen en sus aportaciones y hagan justicia a la relevancia de su figura en el proceso de constitución y consolidación de esta disciplina científica.

Para desarrollar este planteamiento se investigarán y expondrán los trabajos de Oró en relación con los procesos centrales de la constitución de la exobiología. Al tratarse de la historia de la constitución de una disciplina científica, el enfoque central del artículo se basa en investigar la historia de cómo algunos materiales se convierten en elementos epistémicos en los cuales viajan moléculas, microorganismos, fórmulas químicas y procesos biológicos; materiales a través de los cuales se define eventualmente qué es la vida y dan contenido a la exobiología. Pues, la exobiología se forma, en efecto, a través de una serie de disputas en torno a una serie de materiales (y materias). En primer lugar se expondrá el contexto científico y social en el que se englobaron los trabajos de Oró, para pasar a sus experimentos iniciales,

de gran relevancia, y continuar exponiendo el papel del laboratorio de Oró en la Universidad de Houston en el tratamiento científico de estos materiales, estudiando los diversos experimentos biológicos diseñados en las principales misiones exobiológicas, así como las diversas disputas que fueron surgiendo a medida que estos experimentos se desarrollaban y llenaban de contenido el campo.

EL ESTUDIO DEL ORIGEN DE LA VIDA Y LA SÍNTESIS DE LA ADENINA

En las últimas décadas, mediante el estudio de restos fósiles de microorganismos se ha podido establecer que la vida en la Tierra comenzó, a falta de fósiles más antiguos, hace unos 4-4,2 billones de años. Pero, aunque se ha podido establecer la posible antigüedad de los organismos vivos más arcaicos conocidos hasta el momento, dentro del marco de las ciencias aún no se ha podido determinar cómo se originó la vida y, en un plano más fundamental, qué es. Ya desde la Grecia antigua existía una noción que concebía que la vida podía originarse a partir de la materia muerta, noción que ya en el siglo XIX Luis Pasteur trataría de refutar con una serie de experimentos. La historia de esta noción, sin embargo, no se detuvo aquí, pues en las primeras décadas del siglo XX encontró un resurgimiento en los descubrimientos del biólogo y bioquímico soviético Aleksandr I. Oparin y, casi simultáneamente, del biólogo evolutivo británico J. B. S. Haldane.

Así, reconceptualizada como *abiogénesis*, asentada en la bioquímica moderna y conocida posteriormente como hipótesis Oparin-Haldane, se enmarcaba en la cosmovisión darwinista que sostenía que los organismos vivos eran el resultado de una transformación gradual. Mediante sus experimentos cruciales, Oparin y Haldane demostraron que las condiciones de la Tierra primitiva permitieron las reacciones químicas necesarias a través de las cuales se sintetizaron moléculas orgánicas partiendo de materia inorgánica (Gerald, 2015, p. 7). En particular, los trabajos de Oparin y esencialmente su afamada obra de 1936 *The Origin of Life*, propiciaron una generación de investigadores que comenzaron a idear experimentos de laboratorio para simular el proceso de síntesis abiogénica de la vida. En 1953, el joven licenciado de la Universidad de Chicago, Stanley L. Miller, realizó un experimento junto a Harold Urey, su asesor académico, mediante el cual lograron producir aminoácidos, uno de los primeros eslabones en la generación de la vida, simulando las condiciones atmosféricas de la Tierra primitiva (Lazcano y Bada, 2008, pp. 375-376).

Con la fundación de la NASA en 1958 en pleno contexto de la Guerra Fría¹, algunos científicos dedicados al estudio del origen de la vida advirtieron rápidamente que sus investigaciones sobre la química prebiótica de la vida podían encontrar en el espacio extraterrestre un escenario fértil de estudios y descubrimientos. Una vez convencida de la importancia de las ciencias de la vida para la carrera espacial, la NASA empezó a reunir personal y a desarrollar un programa incipiente de biología extraterrestre. Los avances técnicos de la era espacial, las ciencias planetarias y la investigación sobre el origen de la vida rápidamente se fusionaron en una nueva disciplina científica sin precedentes, la *exobiología*. La NASA creó oficialmente por primera vez una oficina de Ciencias de la Vida el 1 de marzo de 1960, asumiendo que el campo, definido como exobiología, estaba asentado en su ámbito. Como ya se ha apuntado, fue Lederberg, investigador principal del Stanford Department of Biophysics, quien usó el término por primera vez en cartas privadas en junio de 1959 y en una charla pública en enero de 1960 (Dick, 2004, p. 29). Pero, lo que fue más importante para su divulgación y aceptación, lo usó de forma impresa en *Science* en agosto de ese año en su artículo "Exobiology: Experiment Approaches to Life beyond the Earth" (Lederberg, 1960). Configuradas ya las bases del programa exobiológico, desde entonces en adelante el *Ames Research Center* de la NASA (ARC) sería el centro líder en las actividades exobiológicas.

En los albores de esta coyuntura, Oró llegó a Houston el 2 de agosto de 1952 para iniciar sus estudios de doctorado en ingeniería química (Guerrero, 2005). Unos meses después conoció a David Rappoport, profesor de bioquímica en el Baylor College of Medicine donde necesitaba un estudiante de doctorado para sus investigaciones sobre el metabolismo². Oró estudió la incorporación de formiato marcado con carbono en tejidos animales y el destino de este compuesto. Con base a esta investigación, demostró que las moléculas esenciales para la vida se pueden sintetizar a partir de otras muy simples. Con este descubrimiento, Oró encauzaba sus investigaciones y su visión del origen de la vida en la concepción sintética de Oparin-Haldane y

después Urey-Miller, que sería tan importante para el desarrollo de la exobiología.

Ya en el año 1956, ejerciendo de profesor en la Universidad de Houston, Oró realizó una serie de experimentos en la línea de demostrar de nuevo cómo mediante moléculas simples se podían obtener los ingredientes necesarios para la vida (proteínas, células genéticas y lípidos). El momento decisivo llegó en 1959, cuando decidió realizar un experimento que le llevara a un gran descubrimiento a la altura del experimento de Miller. Asimismo, siguiendo las bases del experimento de Miller, Oró diseñó la noche de navidad de 1959 un experimento de polimerización del cianuro de hidrógeno utilizando la cromatografía de papel. Cuando volvió al laboratorio por la mañana descubrió que en la muestra había una gran mancha negra que, según la exposición ultravioleta y la prueba específica Gerlach-Döring, solo podía ser adenina, una molécula genética fundamental (Oró, 2002, pp. 24-25). Con esto había demostrado que los compuestos utilizados podían producir, además de aminoácidos, algunos componentes relacionados con las moléculas genéticas. Y, lo que era más importante, que la vida parecía venir de la no vida, tal y como sostenía la concepción darwinista abiogénica. Antes nadie había sintetizado adenina con los componentes que usó Oró y que se suponía que estaban en la Tierra primitiva, entre los que destacaba el cianuro de hidrógeno por encima del resto, además de encontrarse también en los cometas. Los resultados se publicaron en 1961 en la revista *Nature* (Oró, 1961).

Con todo, como ya se ha apuntado en referencia a sus primeros experimentos y logros científicos, uno de los aspectos más relevantes del descubrimiento de la síntesis de la adenina para el posterior desarrollo de la exobiología radicaba en el hecho de que las asunciones técnicas y conceptuales de este experimento forjaban una concepción determinada de la vida, esto es, unas suposiciones epistemológicas subyacentes concretas que, en las misiones exobiológicas que se verán en los apartados siguientes, entraron en contradicción con otras suposiciones elaboradas por científicos pertenecientes a una corriente científica distinta. Esta y otras disputas llenaron de contenido epistemológico el campo y empujaron hacia adelante los límites de las tecnologías disponibles.

Así, la búsqueda de vida extraterrestre se había convertido en uno de los motores principales del programa espacial estadounidense, ejerciendo una influencia desproporcionada al absorber gran parte de la financiación. Una vez se corrió la voz de que la NASA era una nueva reserva de dinero para este tipo de trabajos, los inves-

- 1 Como se ha señalado habitualmente (Lazcano, 2016), el desarrollo de la teoría del origen heterótrofo de la vida de Oparin fue moldeado por un escenario enmarañado en el que concurrían una serie de desarrollos científico-técnicos con cuestiones no científicas propias del periodo estalinista y las tensiones de la atmósfera de la Guerra Fría.
- 2 Para los aspectos biográficos de Oró, además del trabajo citado, véase Joan Oró. *El científico de la vida* (Valldeoriola, 2001); Joan Oró (Pairolí, 1996); "Professor Joan Oró (1923-2004)" (Guerrero, 2004).

tigadores y centros dedicados al campo, entre los que se encontraba Oró y su laboratorio en la Universidad de Houston, se expandieron exponencialmente. Algunos de estos primeros investigadores que recibieron las primeras financiaciones de la NASA en el campo de la exobiología fueron el joven y famoso astrónomo Carl Sagan; el mencionado Stanley L. Miller; Joshua Lederberg; el bioquímico Melvin Calvin, futuro ganador del Premio Nobel por su trabajo sobre la fotosíntesis; Norman Horowitz, en CalTech, quien aportó un interés particular en Marte y una actitud crítica hacia la posibilidad de vida marciana; Cyril Ponnamperna, químico ceilandés especializado en química evolutiva en el campo del origen de la vida; Sidney Fox, cuyo laboratorio pronto recibió fondos de la NASA para la investigación del origen de la vida (Dick, 2004, p. 3); y, tal y como se pretende mostrar, Oró. El objetivo de estos científicos consistió nada menos que en hallar una solución al problema del origen de la vida y de su hipotética existencia y distribución en el cosmos, iniciando con ello un proceso que eventualmente produciría la unión entre la biología y la astronomía, o al menos entre ciertas partes de estas disciplinas.

En estos momentos iniciales, Oró recibió en 1961 subvenciones sustanciales para desarrollar investigaciones sobre “cosmoquímica orgánica”, disciplina científica que funda él mismo, desarrolla como su máximo especialista y que, resumiendo y aglutinando todos sus trabajos, postulaba que la materia que transportaban los cometas era de naturaleza orgánica y venía del cosmos (Dick, 2004, p. 33). En 1963, la NASA invitó a Oró a uno de los primeros simposios sobre las posibilidades de existencia de vida fuera de la Tierra. Poco tiempo después del simposio Oró recibió una carta del departamento de Ciencias de la Vida de la NASA en la que se le instaba a formar parte del grupo de trabajo. Su investigación se desarrollaría desde la Universidad de Houston en el mencionado campo de la “cosmoquímica orgánica”. Cada año, mientras no se le asignara ninguna misión concreta, podía elaborar y proponer sus proyectos relacionados con la investigación cosmoquímica y la NASA se encargaba de estudiarlos, proporcionar el financiamiento necesario y dotar de personal el grupo de trabajo. Su tarea se basó en el análisis de las muestras que llegaban de las expediciones y en la experimentación sobre síntesis de elementos para observar los componentes, aspectos que resultarían claves en la historia de la exobiología como veremos a continuación.

LA MISIÓN APOLLO 11 Y LAS MUESTRAS LUNARES

La misión *Apollo 11* es popularmente conocida por llevar por primera vez a un ser humano a la Luna y, evidentemente, a un satélite o cuerpo planetario celeste.

No es tan conocido, sin embargo, el hecho de que, además de tratarse de una misión con un claro objetivo geopolítico, se pergeñó con una importante intención exobiológica. Por primera vez se llevaron a cabo una serie de experimentos en la superficie y el entorno lunar para estudiar su formación y composición, y, particularmente, apenas es sabido que Neil Armstrong y Buzz Aldrin recogieron una serie de muestras lunares que, tras pasar cuarentena para evitar cualquier tipo de contaminación, serían analizadas en laboratorios terrestres en búsqueda de signos de vida (Beattie, 2001, p. 23). Así, antes de recibir las muestras, los científicos dedicados a la exobiología empezaron a desarrollar análisis preparatorios, esperando que la misión *Apollo 11* consiguiera estos cuerpos lunares experimentales a mediados de 1969 si se mantenía el ambicioso programa.

La misión empezó sobre 1960 con el diseño de la instrumentación y los experimentos que servirían para realizar el análisis químico de las muestras lunares. Cada uno de los laboratorios que llevarían a cabo los experimentos se centró en el desarrollo y la adquisición de la instrumentación para buscar aspectos muy concretos relacionados con la vida, poniendo en juego con ello unas asunciones particulares sobre los aspectos que cada uno de estos equipos consideraban fundamentales para evidenciar la presencia de vida presente o pasada en nuestro satélite. El laboratorio de Oró diseñó y adquirió un novedoso Cromatógrafo de Gases-Espectrómetro de Masas (GCMS por sus siglas en inglés) que sería fundamental en la interpretación de las muestras (Oró, 2002, p. 35). Este instrumento tenía la capacidad de detectar materia orgánica con gran sensibilidad hasta unas pocas partes por millón. Y, lo que era más importante, el GCMS sería el instrumento principal en el laboratorio de Oró en la Universidad de Houston en todas sus investigaciones sobre el origen de la vida y resultaría clave en el desarrollo de la historia de la exobiología en Marte, planeta en el que esta disciplina tomó su forma más definida.

Cinco días después del aterrizaje del *Apollo 11* en Mare Tranquillitatis el 20 de julio de 1969, veintidós kg de muestras lunares llegaron al Lunar Receiving Laboratory (LRL) en el Manned Spacecraft Center en Houston. Después de varias semanas en cuarentena, las primeras muestras se dividieron entre los laboratorios que las estaban esperando, entre los que se encontraba el laboratorio de Oró (Dick, 2004, p. 74). El resto de los laboratorios eran el de Preston Cloud en la Universidad de California-Santa Bárbara, el de Warren Meinschein en la Universidad de Indiana y el de Keith Kvenvolden en la rama de evolución química de Cyril Ponnamperna en ARC, todos desarrollados con considerable financiación de la NASA. A pesar de que cada uno de los laboratorios

se desarrollaba con unos objetivos y unas asunciones distintas materializadas en los experimentos y análisis que se iban a realizar, todos contaban en principio con reactivos de alta pureza, material de vidrio totalmente limpio y recipientes estériles con cajas de guantes y otras instalaciones en varios lugares.

El hecho relevante es que después de los análisis biológicos algunos grupos pensaron que habían detectado aminoácidos nativos y porfirinas en las muestras lunares, de tal modo que los equipos se lanzaron a tratar de confirmar en el laboratorio estos resultados. Algo que, pese a los esfuerzos, no se logró. Después de análisis repetidos por varios laboratorios y de cuidadosos estudios de control, incluidos los más altos estándares de limpieza, estas afirmaciones no dieron resultado y demostraron que habían sido precipitadas. Fue el laboratorio de Oró, quien por entonces ya contaba con un reconocimiento consolidado como bioquímico y era conocido por haber continuado el experimento de Miller-Urey con sus trabajos sobre las vías de síntesis de la adenina y otros nucleótidos a partir de moléculas iniciales muy simples comunes en el espacio interestelar, el que a través de los análisis del GCMS demostró que, con la excepción de una pequeña cantidad (unas pocas partes por millón) de monóxido de carbono, metano y algunos otros compuestos simples, las muestras lunares carecían de materia orgánica. Los rastros de aminoácidos eran presumiblemente productos de reacciones de cianuro de hidrógeno llevado a la luna por cometas, o de átomos de carbono, nitrógeno e hidrógeno implantados en la Luna por el viento solar. El cianuro de hidrógeno y la visión cosmoquímica de los cometas de Oró volvía a ser central en las investigaciones sobre el origen de la vida y en su propia carrera científica. Todos los estudios concluyeron, así pues, que la Luna no tenía compuestos orgánicos nativos, síntesis prebiótica en curso o material vivo o fósil anterior (Young, 2017, p. 98). Con todo, el aspecto fundamental no era simplemente que en la Luna no había presencia ni rastro alguno de vida presente o pasada, sino que la vida nunca pudo haber existido.

Aunque es cierto que estos datos negativos sirvieron para cernir cierto aire de descrédito sobre los experimentos biológicos y los científicos dedicados a la disciplina exobiológica, las esperanzas reales de encontrar signo de vida en la Luna eran casi inexistentes desde el principio. Hasta cierto punto, estos resultados no representaron fracasos ni descréditos, pues sirvieron para que los laboratorios adquirieran estándares orgánicos verdaderamente novedosos que servirían para tratar y analizar con garantías cualquier otra muestra extraterrestre. De hecho, puede afirmarse que hasta cierto punto el hecho de que no se encontraran organismos vivos fue

una suerte para el futuro de la exobiología, pues, los controles de contaminación y retrocontaminación que se implementaron fueron realmente deficientes debido a la voluntad de que el aterrizaje del *Apollo 11* no se retrasara más allá del 20 de julio. Por ejemplo, se sabe que para esa fecha los procedimientos de retrocontaminación aún no estaban aprobados, y que el LRL aún estaba lejos de estar totalmente preparado para recibir las muestras y proceder a su división con garantías (Compton, 2010, p. 235).

Es indudable que estos aspectos, en apariencia externos a las ciencias, determinaron los resultados propiamente científicos, revelando que parece del todo inapropiado trazar una frontera entre una esfera externa y otra esfera interna a las ciencias. Desde la *Big Science* del periodo posterior a la Segunda Guerra Mundial, y particularmente en el caso de la exobiología, hablar de las ciencias extraídas artificialmente de los aspectos relacionados con la sociología de la investigación científica —que actúan como suelo nutritivo para su desarrollo— es ciertamente arbitrario. Del mismo modo, actuaron otra serie de aspectos relacionados con una suerte de disputas entre los laboratorios por la división de las muestras, adquisición de las mejores partes y primacía en los descubrimientos, que determinaron no en menor grado el resultado y la interpretación de los experimentos y sus resultados. Aspectos que aún no han sido recogidos ni estudiados por la historiografía que se ha ocupado del campo³.

En un caso fascinante de contingencia histórica, una condrita carbonácea (una clase de meteoritos que contienen una cantidad significativa de carbono) cayó cerca de Murchison, Australia, el 28 de septiembre de 1969 (Schwartz y Chang, 2002, p. 61), justo cuando los laboratorios de muestras lunares estaban equipados y listos para un análisis limpio sin precedentes de material extraterrestre. El bioquímico Carleton Moore del Departamento de Geología de la Universidad Estatal de Arizona se dio cuenta de la oportunidad única que representaba dicho meteorito y envió una muestra a Ponnampertuma en ARC a principios de 1970, dada la preparación de sus laboratorios. Tal y como se ha apuntado, las investigaciones anteriores de compuestos orgánicos en meteoritos siempre se habían visto comprometidas por una alta probabilidad de contaminación. Ponnampertuma dio la mayor parte del meteorito a Kvenvolden para que

3 El presente artículo surge de un estudio en curso basado en el fondo de Oró, un fondo aún sin catalogar y estudiar, en el que he podido encontrar una serie de documentos en los que se recogen estas disputas relacionadas con las muestras, en las que Oró estuvo implicado de lleno. Una cuestión que seguirá siendo investigada.

pusiera a su equipo a trabajar, y los resultados que se obtuvieron después de los análisis fueron sorprendentes. El meteorito contenía varios aminoácidos diferentes, que también estaban en mezclas racémicas. Una mezcla racémica era lo que cabría esperar de una síntesis extraterrestre por medios puramente químicos, es decir, al estilo Miller-Urey. De hecho, la gama de compuestos orgánicos en el meteorito era muy similar a la gama de compuestos que se habían encontrado en el experimento de síntesis tipo Miller-Urey (Dick, 2004, p. 78).

La decepción que había sufrido el campo exobiológico tras advertir que la Luna era y había sido un cuerpo muerto encontraba ahora en el meteorito marciano, con cierto aire de casualidad sorprendente y necesaria, un sólido salvoconducto. De hecho, era como si la química tipo Miller-Urey desarrollada posteriormente por Oró estuviera siendo corroborada por un meteorito o, dicho de otro modo, como si el meteorito se estuviera introduciendo en la teoría. Y, más concretamente, la teoría cosmoquímica de Oró, que se basaba en concebir a los meteoritos y demás bólidos extraterrestres como portadores de las componentes que sembraron de vida la Tierra primitiva, empezaba a confirmarse. Poco más de una década después, como se expondrá en el último apartado, se convertiría en uno de los principales campos de investigación exobiológica. Dos décadas después del hallazgo tuvieron lugar nuevos descubrimientos en el meteorito (Oró, 1997, p. 22-23) que acabaron de confirmar el origen extraterrestre de sus moléculas orgánicas. Actualmente el meteorito Murchison sigue constituyendo la prueba más firme sobre la que la exobiología –ahora conocida como *astrobiología*– tiene que basarse.

LA MISIÓN VIKING Y LAS MUESTRAS MARCIANAS

Ya desde los primeros años de 1960, y durante prácticamente cinco décadas, el programa exobiológico de la NASA estuvo centrado, con mucho, en desarrollar experimentos para viajar en sondas espaciales, especialmente a Marte, y en construir instalaciones limpias de laboratorio para analizar meteoritos o muestras devueltas de la Luna y Marte, y eventualmente de otros planetas, en busca de compuestos orgánicos que pudieran ser relevantes para el origen de la vida. A partir de esos años Marte se convirtió por sus características especiales en el foco casi exclusivo de estudio de aquellos que se dedicaban a las investigaciones exobiológicas. Además de este hecho, a principios de la década de 1960 el flujo libre de dinero que llegaba del Congreso de los EE. UU. a la NASA y de la NASA a la comunidad científica impulsó extraordinariamente la investigación de Marte. Bajo el fantasma de las hazañas espaciales soviéticas, el

presidente Kennedy conminaba a la NASA a pensar en grande (Greenberg, 1962).

En junio de 1964, la Space Sciences Board de la National Academic of Sciences patrocinó una serie de reuniones, durante el verano de 1965, para planificar la estrategia de exploración de Marte con la biología como campo principal (Dick, 2004, p. 58). Reuniones en las que el problema de la contaminación ocupaba un lugar predominante en la mayoría de las deliberaciones. Transcurridos los años de desarrollos de las misiones marcianas y de los experimentos de detección de vida que llevarían a bordo el 20 de julio de 1976, exactamente siete años después del vuelo inicial del *Apollo*, se logró uno de los mayores hitos en la historia de la exobiología con el aterrizaje en Marte de la primera de las dos naves espaciales *Viking* con una serie de experimentos biológicos. Las naves llevaban cuatro instrumentos de experimentación biológica preparados para desarrollar experimentos en la superficie y el entorno de Marte con el fin de detectar signos de vida presente o pasada. El paquete de instrumentos de biología consistía en un único mecanismo diseñado para obtener muestras y distribuirlas en estos cuatro experimentos separados. Los experimentos consistían en un experimento de asimilación de carbono, un experimento de liberación etiquetado, un experimento de intercambio de gas y el GCMS desarrollado por el laboratorio de Oró. El GCMS fue diseñado para el análisis de moléculas orgánicas en el suelo marciano, que sería calentado hasta que cualquier compuesto orgánico se descompusiera en pequeñas moléculas orgánicas, se evaporara y luego se detectara (Jakosky, 1998, p. 137). El GCMS era similar al que usaron anteriormente Oró y su equipo en su laboratorio para estudiar las muestras lunares, pero se diferenciaba en un aspecto muy significativo: había sido miniaturizado pasando de dos toneladas a 20 kg (Oró, 2002, p. 36). Así, Marte se convirtió en un gran laboratorio automatizado.

En sentido estricto, el GCMS no era una parte formal del paquete de biología, pero, no obstante, fue fundamental para comprender adecuadamente las implicaciones de esos experimentos. Muchos pensaron que los datos que aportaría el GCMS serían los más útiles de todo el conjunto de instrumentos para tratar de discernir algo sobre la posibilidad de vida en Marte: podría informar sobre la identidad y la cantidad de moléculas orgánicas necesarias para construir células vivas (o posiblemente restos de células que ya no estaban vivas), por lo que no dependía de la posibilidad de encontrar células vivas para dar información relevante sobre la vida pasada o presente. Incluso si todos los experimentos de biología dieran resultados negativos, encontrar sustancias orgánicas relevantes para la vida seguiría siendo muy

sugere. Como mínimo, incluso si la vida nunca hubiera evolucionado en Marte, muchos pensaron que las moléculas orgánicas prebióticas seguramente se habrían formado allí al estilo Miller-Urey (Dick, 2004, pp. 92-93). Si la química prebiótica en Marte se había congelado por los cambios en el clima y la atmósfera del planeta en una etapa intermedia antes de que surgiera la vida, para muchos exobiólogos un estudio de esos compuestos parecía un tesoro científico tan grande como encontrar vida existente: era como tener una instantánea del desarrollo de un planeta en una etapa anterior, tal vez similar a la que había atravesado la Tierra.

El hecho es que, después de los experimentos *in situ*, gracias al GCMS el equipo de biología molecular de Oró encontró que no había materia orgánica presente, ni siquiera al nivel de partes por billón, en ninguno de los sitios de aterrizaje. En contraste con estos hallazgos, uno de los experimentos biológicos realizados por la nave espacial *Viking*, el Labeled Release (LR), dio como resultado una generación rápida de dióxido de carbono radiactivo. Con Gilbert Levin a la cabeza, científico principal del LR, este resultado fue interpretado como prueba de un metabolismo microbiano activo. Sin embargo, el resto de científicos se posicionaron de un modo escéptico respecto al fundamento científico de este resultado, con lo que un manto de dudas se cernió sobre el conjunto de los experimentos biológicos.

En este contexto, el GCMS, el instrumento que se erigía como el más importante del paquete de experimentos biológicos, se convirtió en la corte de apelaciones para tratar de alcanzar un veredicto claro. Oró convocó una reunión *ad hoc* de los científicos de *Viking*: tenía una teoría sobre la fuente de producción de gas del LR. Según la teoría que expuso Oró, el dióxido de carbono no procedía de microbios, sino que era el producto de una reacción química en la que los óxidos de hierro mineral (la fuente del color rojo del polvo marciano) y el peróxido de hidrógeno presente en las muestras analizadas se habían oxidado. Esto sucedió en 1976, pero su evaluación se basó en una investigación que había realizado unos veinte años antes mientras trabajaba en su tesis doctoral (Oró, 2002, p. 36). En efecto, tal y como se ha expuesto anteriormente, Oró había estudiado el mecanismo biológico de la oxidación del ácido fórmico en los sistemas vivos y sabía, incluso en ese momento, que en presencia de peróxido de hidrógeno el ácido fórmico se oxida rápidamente a dióxido de carbono. Esta trabazón necesaria y significativa entre diversos momentos de la vida de Oró fue algo recurrente y ciertamente singular.

Según Levin, quien había visto cómo la teoría de Oró ponía en entredicho los resultados de su LR que

apuntaban a una supuesta existencia de vida en Marte, el bioquímico español estaba muy preocupado por recibir prioridad para su teoría del peróxido e hizo que todos los científicos que se quedaron a escuchar su teoría firmaran un artículo diciendo que no publicarían nada al respecto antes de que él lo hiciera. Levin pensó que esta actitud de Oró era sospechosa y que ponía en entredicho la verdad científica y objetiva de su teoría (Dick, 2004, p. 98). El hecho es que mientras que el experimento LR dio positivo para la vida en Marte, el experimento GCMS no detectó materia orgánica: los científicos se dividieron en dos grupos de opinión, una visión biológica y una química, punto en el que salieron a la luz algunos de los supuestos epistemológicos subyacentes que sostenían cada uno de los equipos y que de algún modo, dado que la disciplina exobiológica estaba siendo definida y edificada, se construían en los laboratorios y en la operatividad de los instrumentos en Marte. Puede afirmarse que estas disputas no solo se debían a aspectos que tenían que ver con la sociología de la investigación científica —como podrían ser de nuevo las pugnas por la prioridad o el prestigio científico—, sino que tenían lugar a partir de las contradicciones epistemológicas que existían entre las diversas ciencias necesariamente implicadas en la disciplina exobiológica.

En efecto, nunca se ha dispuesto de una teoría general de la vida (Cleland, 2012), por lo que no resulta extraño observar que cuando se trató de establecer si se había encontrado vida lo que se estaba dando, en realidad, era una definición de vida en contraposición al resto de visiones con sus respectivas definiciones. En ese momento salió a relucir una incongruencia fundamental: ¿cómo se podía encontrar vida si no se sabía, en último término, qué es la vida y cuál es, en el caso de que exista, la línea entre lo no vivo y lo vivo? Los espectaculares desarrollos en nuestra comprensión de las bases moleculares que subyacen a los fenómenos biológicos no han conducido a una definición de vida generalmente aceptada, y no por falta de intentos (Cleland y Chyba, 2002). En efecto, en las misiones con objetivos exobiológicos estas incongruencias siempre están latentes y acaban emergiendo cuando se llevan a cabo las interpretaciones de los resultados: las definiciones de “vida” son explícitas o implícitas en cualquier búsqueda remota *in situ* de vida extraterrestre. El diseño de experimentos de detección de vida en Marte depende necesariamente de suposiciones sobre qué es la vida y qué evidencias contarán para su detección.

Los experimentos del paquete de biología *Viking* buscaron signos de metabolismo microbiano, presuponiendo una concepción metabólica de vida. Por otro lado, es presumible que, si al darse la revisión de los

resultados del experimento LR no hubiera estado disponible la información del resto de experimentos a bordo de los dos módulos de aterrizaje *Viking*, los datos del LR casi con seguridad se habrían interpretado como evidencia de biología. En sentido estricto el GCMS no había sido pensado como un experimento de “detección de vida” —es decir, un experimento conformado a partir de asunciones biológicas—, sino que, antes bien, constituyó *de facto* un experimento que empleaba una definición bioquímica (Chyba y Phillips, 2001; 2002) y que, por tanto, se contraponía al resto de experimentos que empleaban una definición biológica. Correcta o no, la interpretación de los resultados del GCMS fue científica y sociológicamente poderosa en la historia de la exobiología y estableció el paradigma de “no hay vida en Marte”, presente hasta nuestros días.

LOS CUERPOS EXTRATERRESTRES CAEN EN LA TIERRA Y SE INTRODUCEN EN LA TEORÍA

Si bien es cierto que los resultados biológicos negativos de las misiones *Viking* volvían a poner en tela de juicio la razón de ser de los programas exobiológicos y, sobre todo, el gran volumen de fondos de la NASA que estos programas acaparaban, entre los años 1976 y 1990 tuvo lugar una época de mayor efervescencia en exobiología que entre 1950 y 1975, en plena era *Viking*. Pues, las consecuencias de *Viking*, tanto las positivas como las negativas, exigieron una reconceptualización de la mayoría de los aspectos implicados. En la era post-*Viking* se abrieron nuevas líneas de pensamiento en el trabajo de laboratorio, dirigiéndose la atención de la exobiología con más fuerza que nunca hacia los cielos, no solo hacia otros planetas, sino también hacia cometas, asteroides y meteoritos como objetos de sumo interés para pensar en el origen de la vida en la Tierra. Aun cuando el estudio de los cuerpos extraterrestres contaba con precedentes desde el siglo XIX (Pillinger y Pillinger, 1997), es a partir de la era post-*Viking* que dichos cuerpos son estudiados científicamente de un modo sistemático por la disciplina exobiológica y se convierten, por decirlo así, en objetos epistémicos portadores de moléculas, organismos, procesos químicos y biológicos y, por tanto, en una determinada concepción de vida.

Casi en los días de *Viking*, Donald Bogard y Pratt Johnson, dos científicos del Johnson Space Center (JSC) de la NASA en Houston, anunciaron en 1982 que habían liberado una muestra de gas atrapado dentro de inclusiones de vidrio en un meteorito recogido en la Antártida en 1979. El meteorito se llamó Elephant Moraine 79001 o EETA79001. Siguiendo la estela de los descubrimientos en el meteorito Murchison durante la era *Apollo*, ambos científicos, al analizar el gas, descubrieron que coincidía

casi perfectamente con la mezcla de gases de la atmósfera de Marte medida por *Viking* en 1976 (DiGregorio *et al.*, 1997). Apoyados en estos resultados, defendieron que esta roca había sido expulsada de Marte hace unos 200 millones de años por un impacto lo suficientemente grande como para acelerarla hasta la velocidad de escape, y que pertenecía al grupo de rocas de sílice marcianas denominadas *shergottitas*. Luego, después de mucho tiempo en el espacio, su órbita se cruzó con la de la Tierra, donde cayó y permaneció, como un extraño en una tierra extraña, esperando a ser recogida, taxonomizada, analizada y conceptualizada por los científicos. Con este descubrimiento habían logrado, en principio, romper la barrera conceptual para aceptar la idea de un escape intacto de una roca de un cuerpo de tamaño planetario que, casualmente, podría contener materia orgánica.

Así, auspiciados por esta nueva coyuntura, en agosto de 1986 la Space Sciences Board de la NASA celebró una reunión en Snowmass, Colorado, que inició una serie de reuniones hasta 1988 que condujeron a la publicación en 1990 de *The Search for Life's Origins* (Dick, 2004, p. 126). El Comité de Biología Planetaria y Evolución Química incluyó a Oró. En el informe se proponía expresamente reconceptualizar la exobiología a la luz de los nuevos hallazgos relacionados con los cuerpos extraterrestres. Las investigaciones a partir de 1980 sobre los posibles efectos de los impactos de cuerpos de grandes dimensiones en la Tierra habían sensibilizado a la comunidad científica para pensar más en términos de influencias cósmicas en los sistemas de la Tierra (Alvarez, 1989, p. 251). Pero el paso decisivo en este campo se dio en 1989 cuando investigadores de la Britain's Open University anunciaron que habían descubierto materia orgánica nativa en EETA79001 (Dick, 2004, p. 182), algo que sería extraordinario, ya que el *Viking* GCMS no había hallado materia orgánica en la superficie marciana. De nuevo, sin embargo, desarrollados los sucesivos experimentos y comprobaciones se concluyó finalmente que los compuestos orgánicos en el meteorito debían ser contaminación terrestre.

En cualquier caso, a pesar de que en 1990 la comunidad científica estaba convencida de que Marte no tenía materia orgánica nativa y, por tanto, tampoco los meteoritos marcianos, la comunidad exobiológica había visto cómo los meteoritos se introducían de una forma poderosa en sus investigaciones. Así pues, la teoría cosmoquímica orgánica desarrollada por Oró y asentada en sus investigaciones en la Universidad de Houston a principios de la década de 1960, se situaba en el centro de las investigaciones exobiológicas. Recordemos que según esta perspectiva el problema del origen de la vida en la Tierra debía verse no solo desde el punto de vista

terrestre, sino también desde un punto de vista cosmoquímico amplio, estableciendo relaciones químicas entre las moléculas cometarias y otros pequeños cuerpos del Sistema Solar y las sustancias bioquímicas de las que se compone la vida (Oró, 2002, p. 31). Aunque Oró había sido uno de los científicos más críticos con la concepción de un Marte con vida, su perspectiva cosmoquímica defendía que el espacio extraterrestre traía a la Tierra los elementos biogénicos fundamentales para que tuviera lugar la síntesis de la vida y que, por consiguiente, los meteoritos que caen a la Tierra, pudiendo tener su origen en los cometas, pueden constituir perfectamente la fuente de estos elementos.

Instaurada esta perspectiva cosmoquímica en la comunidad exobiológica, Oró estuvo implicado también en la historia del afamado meteorito ALH84001, uno de los momentos más dramáticos de la historia de la exobiología y de la NASA que supuso el impulso más importante para la creación de la *astrobiología*⁴. En 1993, David Mittlefehldt, del JSC de la NASA en Houston, reconoció por primera vez que una roca de 1,9 kg, el primer meteorito recogido en 1984 en Allan Hills, cerca de los Valles Secos de la Antártida, pertenecía al grupo marciano. Tras enviar un pequeño fragmento del meteorito al laboratorio de Robert Clayton en la Universidad de Chicago, se confirmó que el ALH84001 tenía la huella dactilar isotópica única del oxígeno marciano (Dick, 2004, pp. 183-184). Después de los análisis pertinentes de laboratorio, el equipo del JSC junto a científicos de la Britain's Open University creyeron haber encontrado restos fosilizados de nanobacterias y, lo que era más importante para demostrar su naturaleza biológica, materia orgánica asociada, en concreto hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH por sus siglas en inglés) (McKay *et al.*, 1996). Por tanto, se trataba, según todo parecía apuntar, de uno de los mayores descubrimientos en la historia de la exobiología, ya que, tal y como hemos expuesto, hasta la fecha no se habían encontrado moléculas orgánicas en Marte y mucho menos organismos biológicos.

Ahora bien: tras las pertinentes comprobaciones de laboratorio, las pruebas seguían siendo ambiguas y la mayoría de científicos fuera del equipo principal asumían que, debido a que *Viking* no había mostrado compuestos orgánicos en Marte, los PAH debían ser contaminación

terrestre. El paleobiólogo J. William Schopf y Oró fueron los científicos más críticos con la cuestión de los componentes orgánicos asociados y, por tanto, con las afirmaciones de que el ALH84001 presentaba signos de vida extraterrestre. Según ellos, debido a su distribución ubicua en el universo desde la química tanto abiótica como biológica, los PAH no eran ideales como marcadores de materia orgánica biogénica. A Oró le parecía que los miembros del equipo simplemente no entendían lo que esto significaba. Si lo hicieran, compartirían la opinión de él mismo, de Schopf y de muchos otros de que los PAH del meteorito eran consistentes con procesos abióticos (Dick, 2004, pp. 192-193)⁵. De nuevo, la controversia tenía que ver con las distintas interpretaciones y visiones entre los científicos del campo de la bioquímica y los de la biología, es decir, con los supuestos epistemológicos subyacentes.

A esto se sumó otro género de disputas debidas una vez más a cuestiones relacionadas, por un lado, con el hecho de no disponer de unas coordenadas epistemológicas unificadas que permitieran diferenciar entre un organismo vivo y uno no vivo, y, por el otro, con la sociología de la investigación científica. Desde el principio, gran parte de las críticas se dirigieron al concepto de *nanobacteria*, pues se entendía que estas estructuras diminutas ni siquiera disponían del espacio suficiente para que las moléculas bioquímicas mínimas requeridas estuvieran vivas. Es decir, no presentaban el tamaño mínimo para que un organismo pueda ser considerado como vivo, un problema que ha sido y sigue siendo una cuestión disputada. En efecto, que estas extrañas estructuras sean seres vivos, en oposición a estructuras geoquímicas inusuales, o incluso artefactos de algún tipo, sigue siendo una pregunta abierta (Cleland, 2019, p. 214). Por otra parte, es sabido que, por un lado, existió una carrera entre los diversos grupos que estaban analizando el meteorito por encontrar vida en el mismo y arrogarse la primacía del descubrimiento y los beneficios que esto conllevaba, y, por el otro, que el director a la sazón de la NASA, Dan Goldin, reconoció que todo el prestigio de la NASA, no solo de estos científicos, dependía de la publicación de una afirmación tan espectacular, de tal

4 La exposición de la fundación de la astrobiología y de sus primeros pasos a partir de aproximadamente 1996 desborda el objetivo central del presente trabajo. Valga apuntar brevemente que se funda debido a una profunda reestructuración administrativa de la NASA en 1996, en la que los grandes recortes presupuestarios obligaron a los programas exobiológicos a convertirse en más interdisciplinares que nunca e incluso a desprenderse y carecer de sedes físicas.

5 En la última etapa vital de Oró, ya jubilado desde 1994 pero científicamente activo a través de la participación en publicaciones, congresos y otras investigaciones, su posición científica habitual esencialmente reacia a aceptar la presencia de componentes orgánicos en las muestras lunares y marcianas y en los meteoritos cambió sustancialmente y pasó a contemplar el origen biológico de los resultados disputados expuestos anteriormente (Oró, 2000). Lo que ciertamente demuestra que los resultados estaban siempre abiertos a múltiples lecturas dadas por ciertas contingencias que desbordan el campo puramente científico.

modo que realizó las presiones pertinentes para que el descubrimiento fructificara (Dick, 2004, p. 189).

Cabe esperar, así pues, que las críticas pudieran estar espoloadas por las confrontaciones entre los diversos grupos de investigación y que, finalmente, todas estas disputas determinaran en algún sentido los resultados. Por lo demás, también cabe apuntar que la posición de Oró, en este y en el resto de episodios fundamentales en la historia de la exobiología, contó con el valor, a veces necesariamente polémico, de establecer los límites a los propósitos, en ocasiones grandilocuentes, de la NASA y los científicos de los campos bioquímico y biológico que se asentaron alrededor de la exobiología.

CONCLUSIONES

A tenor de lo expuesto, no hay duda acerca de que la exobiología fue constituyéndose de un modo problemático al implicar un gran número de ciencias con sus científicos, grupos de trabajo, laboratorios, presupuestos epistemológicos e incluso ideológicos. Sin embargo, tampoco hay duda acerca de que la concurrencia de todos estos elementos en un marco científico más o menos homogéneo produjo –podemos afirmar que de un modo necesario–, además de las problemáticas y disputas expuestas a lo largo del trabajo, los materiales que dieron forma y contenido al campo exobiológico e impulsaron los límites de las tecnologías disponibles.

Las investigaciones y las aportaciones de Oró y de sus equipos de trabajo en la Universidad de Houston ya a principios de la década de 1950, antes incluso de la fundación de la NASA, la patrona de la exobiología, fueron cruciales en el desarrollo de esta historia de disputas que conformaron la disciplina exobiológica y sentaron las bases para las futuras investigaciones y misiones. Además, la naturaleza de las aportaciones de Oró permite trazar una historia de la exobiología centrada en materias y materiales concretos, alejada de grandes narraciones etéreas que pierden de vista las diferencias específicas, científicas y sociológicas de cada momento histórico.

A pesar de esta relevancia de la figura de Oró en la constitución y desarrollo de esta historia, es palpable el hecho de que aún no ha contado con el merecido reconocimiento. Un reconocimiento que, a todas luces, se le puede brindar de la mejor forma posible realizando estudios exhaustivos de sus aportaciones en este contexto tan intrincado, en una de las historias que quizás aglutina uno de los mayores números de acontecimientos relevantes en la historia de los avances científicos, tecnológicos, sociales y culturales. Con este y otros trabajos

que vendrán se quiere poner en valor su figura y trazar el camino para futuros trabajos e investigaciones.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a los evaluadores por sus comentarios y sugerencias sobre diversos aspectos del presente artículo, sin los cuales sin duda no podría haberse desarrollado.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los/as autores/as de este artículo declaran no tener conflictos de intereses financieros, profesionales o personales que pudieran haber influido de manera inapropiada en este trabajo.

FUENTES DE FINANCIACIÓN

Este artículo es el resultado de una tesis doctoral en curso, realizada en el Instituto de Historia de la Ciencia de la Universidad Autónoma de Barcelona (iHC-UAB) y financiada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades a través de la Ayuda FPU 2020 [FPU20/01748]. Enmarcándose también en el Proyecto *Small science: Anàlisi històrica de la investigació contemporània a petita escala* [PID2019-105131GB-I00] (MINECO).

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Iván López García: Conceptualización, Curación de datos, Obtención de fondos, Investigación, Metodología, Administración de proyecto, Redacción – borrado original, Redacción – revisión y edición.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, Luis W. (1989), *Alvarez: Aventures of a Physicist*, New York, Basic Books.
- Beattie, Donald A. (2001), *Taking Science to the Moon. Lunar Experiments and the Apollo Program*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press.
- Chyba, Christopher F., y Phillips Cynthia. B. (2001), “Possible Ecosystems and the Search for Life on Europa”, *Proceedings of the National Academy of Science*, 98, pp. 801-804.
- Chyba Christopher. F., y Phillips Cynthia. B. (2002), “Europa as an Abode of Life”, *Origin of Life and Evolution of Biospheres*, 32, pp. 47-78. DOI: <https://doi.org/10.1023/a:1013958519734>
- Cleland, Carol E. (2012), “Life without definitions”, *Synthese*, 185, pp. 125-144, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11229-011-9879-7>
- Cleland, Carol E. (2019), *The Quest for a Universal Theory of Life. Searching for Life as We Don't Know It*, Cambridge, Cambridge University Press.

- Cleland, Carol E., y Chyba Christopher. F. (2002), "Defining 'Life'", *Origin of Life and Evolution of Biospheres*, 32, pp. 387-393. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1020503324273>
- Compton, William David (2010), *Where no man has gone before. A History of NASA's Apollo Lunar Expedition*, Washington, Dover.
- Dick, Steven J. (2004), *The Living Universe. NASA and the Development of Astrobiology*, New York, Random House.
- DiGregorio, Barry E.; Gilbert V. Levin; Patricia Ann Straat (1997), *Mars. The Living Planet*, Berkeley, Frog, Ltd.
- Gerald, Michael C. (2015), *The Biology Book. From the Origin of Life to Epigenetics, 250 milestones in the History of Biology*, New York, Sterling.
- Greenberg, Daniel S. (1962), "Soviet Space Feat", *Science*, 137, pp. 590-592. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.137.3530.590>
- Guerrero, Ricardo (2004), "Professor Joan Oró (1923-2004)", *Contributions to Science*, 2 (4), pp. 579-594.
- Guerrero, Ricardo (2005), "Joan Oró (1923-2004)", *International Microbiology*, 8, pp. 63-68.
- Jakosky, Bruce (1998), *The Search for Life on Other Planets*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Lazcano, Antonio (2016). "Aleksandr I. Oparin and the Origin of Life: A Historical Reassessment of the Heterotrophic Theory", *Journal of Molecular Evolution*, 83(5-6), pp. 214-222. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00239-016-9773-5>
- Lazcano, Antonio, y Jeffrey L. Bada (2008), "Stanley L. Miller (1930-2007): Reflections and Remembrances", *Origin Life Evolution*, 38, pp. 373-381. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11084-008-9145-2>
- Lederberg, Joshua (1960), "Exobiology: Experiment Approaches to Life beyond the Earth", *Science*, 132, pp. 392-400. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.132.3424.393>
- McKay, David S.; Gibson Everett K.; Thomas-Keprta, Kathie L.; Vali, Hojatollah; Ramanek, Christopher S.; Clemett, Simon J.; Chiller, Xavier D. F.; Maechling, Claude R.; Zare, Richard N. (1996), "Search for Past life on Mars: Possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH84001", *Science*, 273, pp. 924-30. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.273.5277.924>
- Oró, John (1961), "Mechanism of Synthesis of Adenine form Hydrogen Cyanide under Possible Primitive Earth Conditions", *Nature*, 4794(191), pp. 1193-1194. DOI: <https://doi.org/10.1038/1911193a0>
- Oró, John (1997), "Cosmochemical Evolution". En: Chela-Flores, Julián, y François Raulin (eds.), *Exobiology: Matter, Energy and Information in the Origin and Evolution of Life in the Universe*, New York, Springer, pp. 11-35.
- Oró, John (2000), "Cosmochemical evolution and the origin of life on Earth". En: Chela-Flores, Julián; Guillermo A. Lemarchand; John Oró (eds.), *Astrobiology. Origins from the Big-Bang to Civilisation*, New York, Springer, pp. 55-71.
- Oró, John (2002), "Historical Understanding of Life's Beginnings". En: Schopf, J. William (ed.), *Life's Origin. The Beginnings of Biological Evolution*, Berkeley, University of California Press, pp. 7-41.
- Pairolí, Miquel (1996), *Joan Oró*, Barcelona, Fundació Catalana per a la Recerca.
- Pillinger, Colin T., y John M. Pillinger (1997), "A brief history of exobiology or there's nothing new in science", *Meteoritics & Planetary Science*, 32, pp. 443-446. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.1997.tb01289.x>
- Schwartz Alan W., y Chang, Sherwood (2002), "From Big Bang to Primordial Planet: Setting the Stage for the Origin of Life". En: Schopf, J. William (ed.), *Life's Origin. The Beginnings of Biological Evolution*, Berkeley, University of California Press, pp. 46-75.
- Valledeoriola, Mar (2001), *Joan Oró. El científic de la vida*, Barcelona, Angle Editorial.
- Young, Anthony (2017), *The Apollo Lunar Samples. Collection Analysis and Result*, New York, Springer.