

primera concepción del más allá que antes no existía para la mentalidad judía (pre-configuración de la eternidad cristiana).

El autor se mueve en el horizonte del destino inmortal del ser humano, como clara respuesta a la angustia del mal y del sufrimiento de Job y del Eclesiastés. Desde este horizonte nos habla de un Dios trascendente y creador de todo, pero también misericordioso y providente, cuya bondad rebasa los límites de Israel, abarcando a todos los seres humanos. Y también nos habla del ser humano, caminando por los caminos de Dios gracias al don de la Sabiduría o Palabra o Espíritu de Dios. Estamos en los umbrales de la Buena noticia de Jesucristo.

A la experiencia común, que no ve al justo retribuido por sus obras, el libro de la Sabiduría opone su fe en la intervención última de Dios en favor de los justos. ¿Cuál es el sentido del sufrimiento de los justos, si la realidad muestra que los impíos son los que triunfan? Las injusticias y el sufrimiento no tienen la última palabra en la historia. Dios camina con su pueblo. La recompensa para el impío es una vida sin sentido. Para los justos es la vida eterna junto a Dios.

En 4, 7-19 expone la paradoja más difícil de entender: "la muerte prematura del justo es un desafío para la razón humana". ¿Qué sentido tiene una muerte temprana, cuando se afirmaba que una larga vida debía ser la herencia del justo?

El segundo bloque lleva el título: "Naturaleza y actividad de la Sabiduría" y comprende los capítulos 6 al 9. En él, el autor pone sus palabras y reflexiones en labios de Salomón. Relata cómo y por qué eligió a la Sabiduría como guía de su existencia. Como compañera de la vida hay que escogerla y para ello hay que pedirla, sabiendo que Dios es el único que la posee y puede donarla. La oración de Salomón, una de las más hermosas de la Biblia, enriquecida con toda la tradición sapiencial y con la experiencia espiritual del judaísmo alejandrino, es una ardiente súplica que dirigió al Señor para obtener la Sabiduría (9,1-18). Habla de la Sabiduría como don divino y guía de la vida y de las opciones del fiel. El desconocimiento de Dios tiene como consecuencia la perversión de la vida y dice: "Buscad a Dios con sencillez de corazón, porque se manifiesta a quienes no exigen pruebas, se revela a quienes no desconfían".

El tercer bloque, "Acción de la Sabiduría en la historia" abarca los capítulos 10 al 19. A lo largo de la historia, la Sabiduría de Dios conduce el destino de los seres humanos para los que se dejan guiar por ella. Recuerda su acción en favor de los Patriarcas, aunque eso sí, sin nombrarlos.

Polemiza con la idolatría tratando de preservar a los judíos de la apostasía y de mostrar a los paganos la inconsistencia de sus creencias. Es interesante lo que expone respecto a las idolatrías: "las consecuencias de la idolatría desbordan el

terreno de las creencias y corrompen los comportamientos, es decir, es un problema para el ser humano antes de serlo para el creyente". Ninguna esperanza de salvación es posible sin renunciar a los ídolos. La Sabiduría no consiste en destruir ídolos, sino en no crearlos.

Se detiene largamente en el Éxodo, en las plagas de Egipto y en los beneficios concedidos por Dios en esa época. El Éxodo es presentado como el arquetipo de las intervenciones de Dios en favor de su pueblo. La historia del Éxodo invita a ver a Dios actuando en la historia.

Alaba a Dios por su amor y su paciencia hacia todos, incluso los impíos (11,22-12,2), oración muy actual que podíamos recitar frecuentemente, donde se nos habla de un Dios que es fuente de misericordia, solo Amor, y que no puede más que dar el Ser y la Vida: "por eso corriges poco a poco a los que caen....." Expone que el peor castigo de los impíos es la propia vida que han elegido. La historia humana es el relato de los acontecimientos que se reparten tres actores: la Sabiduría, el Justo y los impíos.

La fe de Israel consiste en la adhesión exclusiva al Dios de la Alianza, implicando el rechazo a otros dioses y a otros ídolos, y esta adhesión es propuesta a todos los seres humanos.

Maneja libremente las tradiciones bíblicas idealizando los acontecimientos y adornándolos con elementos legendarios.

¿Dónde encontrar la Sabiduría hoy?

El padre Adolfo Nicolás, anterior general de los jesuitas, comenta en una entrevista:

"Cuando desaparece el profetismo emerge la Sabiduría como nuevo lenguaje de Dios. Hoy necesitamos un lenguaje nuevo para hablar una lengua que el mundo sea capaz de entender. Personas capaces de hablar con sabiduría, capaces de hacerse escuchar. Cristo ofrece una Sabiduría profunda. El lenguaje de la misión es el lenguaje de la Sabiduría, fruto de un pensamiento abierto e incompleto, y de una fe capaz de reconocer al Señor allí donde Él quiera ser encontrado, no donde nuestra rutina lo busca".

Astrobiología y Teología

Rev. Aragón. Teol. 47 (2018)

Juan Pablo Martínez Rica
Real Academia de Ciencias de Zaragoza

Introducción.-

En estos tiempos se suceden constantemente los anuncios, por parte de distintas organizaciones de investigación astronómica, del hallazgo de nuevos planetas extrasolares, aparentemente compatibles con la vida, lo cual ha llevado a numerosos científicos a asegurar que la detección de vida fuera de la Tierra es inminente, e incluso a señalar una fecha probable para esa detección. Ante estas declaraciones diversos medios de comunicación han tratado el tema como si tal detección hubiese ya ocurrido, y no han tardado en sacar conclusiones teológicas más o menos (mas bien más) precipitadas. Este artículo pretende analizar el problema desde un punto de vista histórico para señalar que la situación no es nueva y que las declaraciones al respecto no tienen otro fundamento que la necesidad de sensacionalismo por parte de los medios.

La astrobiología es una ciencia reciente, tanto que no llega al siglo, y para bastantes científicos no tiene más de veinte años. Eso cuando se considera ya nacida, pues no falta quien dice que es una protociencia, todavía carente de objeto de estudio ya que no se conoce ningún ejemplo de vida extraterrestre. Parece, sin embargo, que no hay que aceptar esta actitud extrema, y que una disciplina que cuenta con especialistas, cátedras universitarias, centros de investigación, revistas y libros especializados, que organiza congresos, que contiene subdisciplinas aceptadas (p.ej., exobiología, astroquímica, astroecología, etc), y que tiene un código específico (2512.01) en la clasificación de las ciencias de la UNESCO (aunque no con ese nombre, sino con el de "exobiología"), debe ser considerada como válida, y no ya como subdisciplina, como lo hace la UNESCO, sino como verdadera disciplina científica (Aretxaga-Burgos, 2005).

Si aceptamos que la astrobiología es una ciencia debemos delimitar su campo de estudio. La NASA, primera organización que estableció programas de investigación en astrobiología, definió este campo como el del "estudio del origen, evolución, distribución y futuro de la vida en el universo", definición a la que debería añadirse el término "organización" a menos que ese concepto se considere englobado en el de "distribución" (NASA, 2008).

Consecuencia de la definición de la astrobiología es su carácter multidisciplinario. La astrobiología es una ciencia transversal, que requiere los recursos, no solo de la astronomía y la biología, sino también de otras ciencias y técnicas, como la física, la química, la ingeniería o la medicina espacial. Además incide en otras disciplinas más vinculadas a las humanidades que a las ciencias puras, como son la filosofía, la sociología, la lingüística y hasta la teología o la ética. Este aspecto humanístico de la astrobiología interesa especialmente aquí.

El periodo mitológico .-

La astrobiología, también llamada exobiología, aunque este último nombre debería aplicarse a una subdisciplina más que a la ciencia entera, tiene un origen reciente, pero la convicción de que los otros astros están habitados por seres inteligentes, y las disquisiciones acerca de ello son tan antiguas como la humanidad.

El cielo y los astros han sido considerados desde la prehistoria, no ya como habitados, sino como verdaderas entidades vivientes, casi siempre de carácter divino. Numerosos pueblos antes de ingresar en la historia y algunos mucho después, consideraban a todos los elementos de la naturaleza como animados de un espíritu. Esta creencia pervive en ciertos pueblos primitivos actuales y en otros no tan primitivos, como el japonés, cuyos adeptos de la religión sintoísta divinizan muchos elementos de la naturaleza, los “kami”, o espíritus divinos. Aunque esta asociación se ha perdido en la mayoría de las culturas, los últimos elementos que conservaron un carácter sobrenatural fueron los celestes. Al fin y al cabo los elementos terrestres, si bien no eran controlados por el hombre y por ello debían ser propiciados, al menos permitían un contacto directo, lo que les acabó privando de su carácter divino. De hecho, el cielo se encuentra siempre por encima de la naturaleza, por lo que le correspondía un carácter sobre-natural por definición, tanto más cuanto que no su contenido era totalmente ajeno al hombre, y éste era incapaz de dominarlo o ni siquiera de contactarlo.

No es de extrañar que los antiguos vieran dioses en el Sol, la Luna y las estrellas. Para los antiguos griegos Helios recorría diariamente el firmamento espoleando sus corceles llameantes, y la Luna, Selene, conducía un carro similar, con caballos más pálidos y menos fogosos. Y en el cielo nocturno se veían también semidioses, héroes, monstruos y animales u objetos relacionados con ellos. Allí podía verse a Hércules, el poderoso aventurero; cerca de él la lira de Orfeo, el músico que encantaba a las fieras y acompañaba a los argonautas, entre ellos al propio Hércules, en su expedición; en otra parte del cielo los gemelos, Cástor y Pólux, también argonautas en el mismo viaje tras el Vello de Oro, a su vez enclavado en la constelación de Aries; y mucho más lejos, ya cerca del horizonte, el propio Navío Argos, que los condujo a su destino.

La época filosófica .-

Tras la época mitológica llegó la época filosófica y teológica. En la astronomía comenzaron las observaciones controladas de los astros y con ellas la ciencia propiamente dicha, pero la astrobiología debía permanecer durante mucho más tiempo en el ámbito precientífico, pues las primeras afirmaciones con base científica, aunque incorrectas, no se dieron hasta el siglo XVI. Sobre el problema de la existencia de seres inteligentes fuera de la Tierra existen hoy las dos mismas posiciones que existieron desde el principio. Dado que no ha podido estudiarse ningún ejemplar de alienígena no es posible demostrar su existencia, como tampoco es posible descartarla. Se mantienen hoy, pues las posturas tradicionales, la de quienes afirman la existencia de inteligencias extraterrestres y la de los que la niegan del modo más rotundo. La primera posición es predominante en el mundo científico, pero muchas personas, entre ellos bastantes científicos, mantienen la postura contraria. El consiguiente debate entre las dos posturas es inevitable, y en algunos momentos de la historia ha alcanzado niveles de extremada agresividad. Puede considerarse iniciado en la antigua Grecia, con la oposición entre los filósofos idealistas y los materialistas.

Aristóteles no creía en la existencia de habitantes fuera de la Tierra, y como luego veremos, sólo su autoridad pudo contrarrestar el auge de la escuela opuesta. La aceptación general de un universo geocéntrico, propuesto principalmente aunque no en primer lugar por Claudio Ptolomeo, ayudó también al escepticismo general sobre dicha presencia. La publicación del libro de Nicolás Copérnico en 1543 eliminó buena parte de dicha ayuda al proponer que la Tierra no se hallaba en el centro del universo y era, por lo tanto, un planeta como los demás que giraban en torno al Sol. De ahí a suponer que los demás planetas eran como la Tierra y albergaban vida inteligente no había más que un paso.

Las implicaciones teológicas del debate no estaban claras en relación con las religiones de Grecia y de Roma, pero pudieron haberse manifestado en la religión cristiana tras su nacimiento. Sin embargo el tema no interesó a los filósofos cristianos durante la Antigüedad ni tampoco durante la mayor parte de la Edad Media, y mucho menos a los de otras religiones. La creencia generalizada en el sistema geocéntrico de Ptolomeo y en la doctrina de los cuatro elementos, limitaba los seres corpóreos a la tierra y al agua, por lo que los seres que habitasen el aire o el fuego debían ser forzosamente espirituales.

En el siglo XIV Nicolás de Cusa fue uno de los primeros estudiosos cristianos en afirmar la pluralidad de los mundos habitados (Dick, 1984). Su tratado *De Docta Ignorantia* (La sabia ignorancia) es una obra mística, pero en ella alude a la posibilidad de que existan otros mundos habitados en el cielo, y adelanta en 13 años las ideas que Copérnico haría públicas más tarde, señalando la probabilidad de que la Tierra

no sea el centro del sistema solar. Esta postura y otras que podrían considerarse opuestas a la visión oficial de la Iglesia no provocaron ninguna condena papal. Por el contrario, de Cusa fue nombrado legado papal en Alemania, obispo, cardenal y por último vicario general de los Estados Pontificios. El contraste con la condena de Giordano Bruno siglo y medio más tarde sorprende a primera vista, pero puede explicarse si se analizan las doctrinas propugnadas por uno y otro.

En realidad la iglesia católica pronto se vio confrontada con un problema práctico que implicaba terciar en el debate sobre la pluralidad de los mundos habitados. El descubrimiento de América era, de hecho el descubrimiento de un nuevo mundo y con este nombre se conocieron y se conocen todavía las tierras americanas. Bien es verdad que estaban pobladas por hombres semejantes a los europeos, pero no dejaron de darse diatribas interesadas acerca del carácter humano de los indios de aquellas tierras, pues hubo quien dijo que tales hombres, al no estar incluidos en el catálogo de los pueblos del Génesis, no descendían de Adán y podían considerarse animales y ser tratados como tales. El papa Paulo II, publicó en 1537 su bula *Sublimis Deus*, declarando que: *"...todas las gentes que en el futuro llegasen al conocimiento de los cristianos, aunque vivan fuera de la fe cristiana...no deben ser reducidos a servidumbre...y deben ser invitados a abrazar la fe de Cristo a través de la predicación y con el ejemplo de una vida buena"* (Metzler, 1991).

La siguiente escaramuza teológica relacionada con la astrobiología tiene lugar a finales del siglo XVI, con la condena y suplicio de Giordano Bruno. Este dominico pasa por ser un mártir de las ideas sobre la pluralidad de los mundos habitados, de las tesis copernicanas y de la ciencia en general, una idea sostenida con entusiasmo por muchos adversarios de la iglesia católica pero que tiene poco que ver con la realidad histórica (Firpo, 1993). La doctrina de Bruno sostenía que el universo es infinito y homogéneo, como el de los antiguos epicúreos, aunque no conocía las obras de Lucrecio. Para él las estrellas son otros tantos soles rodeados de planetas como la Tierra, y suele aceptarse que fue el primero en afirmar tal cosa. Lo que si es cierto es que adoptó las ideas copernicanas porque le vinieron muy bien para fundamentar sus ideas previas sobre la estructura del universo. Tampoco puede decirse que la condena se deba a sus ideas científicas, pues no eran tales. Bruno no fue científico y sus ideas procedían de la lectura de algunos filósofos, de su propia especulación y también de actividades esotéricas como la magia y el ocultismo.

La época científico-especulativa .-

En 1610 Galileo Galilei dirigió su primitivo telescopio al firmamento y las ideas que tenía sobre el mismo cambiaron radicalmente, un cambio que se extendió pronto a los astrónomos y finalmente a todo el mundo. En la Luna pudo percibir montañas que formaban cordilleras y circos, así como manchas oscuras a las que llamó mares.

Esto bastaba para marcar la semejanza entre la Luna y la Tierra, y permitía suponer que esta semejanza se extendiese a la habitabilidad. También encontró manchas en el Sol (¡los astros no eran perfectos!), satélites en Júpiter (¡existían otros astros en torno a los cuales giraban planetas!), fases en Venus (¡quizás la Luna y Venus eran astros parecidos en otros aspectos!) y sobre todo, muchas estrellas adicionales que nadie había visto antes (la Tierra podría ser especial entre ocho astros, pero difícilmente lo sería entre ocho mil).

Es curioso que estos descubrimientos no dirigieran la atención de Galileo hacia el tema de la posible ocupación de otros planetas por pobladores inteligentes. Quizás consideraba este tema muy especulativo, quizás tuvo el mismo miedo que tenía Kepler a las consecuencias de la publicación de esa idea, quizás consideraba la suposición tan trivial que no consideró oportuno apoyarla o refutarla.

La primera indicación explícita y basada en un razonamiento científico referente a la existencia de vida extraterrestre se debe a Kepler, el famoso astrónomo que estableció las leyes del movimiento de los cuerpos celestes. Este autor escribió un libro titulado *Somnium* (El Sueño) (Kepler, 1634). El texto estaba dedicado principalmente a la astronomía lunar, pero el autor añadía detalles no astronómicos, como la suposición de que la Luna estaba habitada por seres parecidos a serpientes con cabeza humana, que vivían refugiados en cuevas. La idea era arriesgada en aquellos tiempos y quizás por ello Kepler no la publicó en vida, pero se sabe que estuvo trabajando en ella desde finales del siglo XVI. Si tuvo miedo a la reacción de la Iglesia ante la publicación de su obra se debería sin duda a la condena y ejecución de Giordano Bruno en 1600, aunque como ya se ha indicado, la tesis de Bruno sobre los mundos habitados fue un factor marginal en esa condena.

El detalle más importante en el librito de Kepler desde el punto de vista de la astrobiología es la justificación de sus afirmaciones sobre los habitantes de la Luna. Puesto que la Luna está llena de formaciones montañosas circulares, y el círculo perfecto no se da en las formaciones geológicas terrestres (Kepler no podía conocer las calderas volcánicas ni los cráteres de impacto debidos a impactos de meteoritos), los circos lunares debían ser forzosamente construcciones artificiales, lo que indicaba que la Luna estaba habitada por seres inteligentes. Por ello debían tener cabeza humana (el único soporte de la inteligencia que Kepler conocía), pero cuerpo de serpiente, para poder refugiarse en cuevas y grietas estrechas y librarse así del intenso calor del sol durante los largos días lunares de dos semanas terrestres.

Como se ve, el razonamiento es correcto, pero se basa en los elementos conocidos por la experiencia, sin dejar lugar a datos desconocidos, que luego se revelarían esenciales. Se inaugura así un hábito que se ha mantenido hasta nuestros días en las elucubraciones astrobiológicas, un hábito consistente en extrapolar

a partir de nuestra experiencia y de las circunstancias locales. Este hábito lastra todavía nuestras conclusiones acerca de la existencia de vida extraterrestre tanto en sentido positivo como negativo, a pesar de que sabemos que ha llevado a menudo a conclusiones grotescas.

Los titubeos del siglo XVI se convierten en doctrina elaborada, en el siglo siguiente. A finales del siglo aparece la obra "*Entretiens sur la Pluralité des Mondes Habités*" de Bernard le Bovier de Fontenelle, un libro notable en muchos aspectos. Es la primera obra dedicada de manera explícita y completa a discutir la existencia de civilizaciones extraterrestres, y lo hace muy bien, dadas las circunstancias de su tiempo (1686) y la edad de su autor, que entonces tenía 29 años. Fue la mejor y casi la única obra extensa de su vida y un auténtico éxito editorial, quizás el primer *best seller* de la historia, rápidamente difundido y traducido a varios idiomas (su autor conoció 33 ediciones de la obra sólo en francés, si bien hay que decir que la vida de Fontenelle fue muy larga, pues al morir le faltaba un mes para cumplir los 100 años). Y fue probablemente el ser una de las más curiosas obras tempranas de divulgación científica la causa principal de su éxito.

La obra se dedicaba a divulgar los nuevos conocimientos astronómicos derivados de las obras de Copérnico Galileo y Kepler, y fue actualizando estos conocimientos en sucesivas ediciones a medida que mejoraban los telescopios y se sucedían los descubrimientos, llegando a incorporar a Descartes y a Leibniz. Pero insiste principalmente en el hecho de que la Luna está habitada por seres inteligentes, como lo están los demás planetas del sistema solar y también los planetas que giran en torno a todas las estrellas, a las que identifica como otros tantos soles. Discute las pruebas y contrapruebas de la habitabilidad de esos mundos, pero las pruebas (como lo han seguido haciendo hasta casi nuestros días) se basan, bien en la semejanza de los mundos aplicando el principio de mediocridad, bien en el desafío a probar lo contrario, es decir la inexistencia de vida inteligente fuera de la tierra. Pasa de este modo el peso de la prueba al adversario, sabiendo que las pruebas negativas, como las que pretenden probar la inexistencia de algo, son imposibles. La influencia del libro de Fontenelle se extendió mucho más allá de su tiempo. En particular el formato del texto, dispuesto a manera de diálogo, que tan útil había sido para Galileo, hace su lectura amena todavía hoy. En este libro el diálogo se establece entre un filósofo conocedor de la astronomía y una marquesa bella, curiosa e inteligente, pero desconocedora de la ciencia, y aunque el texto se ciñe al tema científico no deja de incluir un toque galante que lo hace atractivo para el gran público. Este formato se ha imitado muchas veces, en ocasiones con el mismo tema, hasta nuestros días.

Es en el siglo XVIII cuando se establecen los tres grupos de opinión relativos a la astrobiología, en general concordes con la existencia de otros mundos habitados, y que han llegado hasta nuestros días. El primer grupo lo integran los científicos, no

sólo astrónomos, sino también filósofos y naturalistas. Ese siglo, con la construcción de mayores telescopios y sobre todo con la aportación de la mecánica newtoniana, que permitía el cálculo de órbitas y masas de los cuerpos celestes, contempla un crecimiento notable de la inquietud acerca de la pluralidad de los mundos habitados, y puede decirse que en este siglo son muy pocas las mentes científicas (y no digamos las no científicas) que consideran la existencia de civilizaciones extraterrestres como poco probable. Tal existencia se considera generalmente como un hecho, si no probado, por lo menos indiscutible. Por ejemplo, Edmund Halley (1705), el famoso descubridor del cometa epónimo, escribe:

"Ahora se da por comprobado que la Tierra es un planeta más y que todos ellos se suponen con razón habitables, aunque no sabemos por qué clase de animales"

El filósofo Emmanuel Kant, en una época en que todas las ciencias naturales, incluida la astronomía, se englobaban dentro de la llamada filosofía natural, no desdeñó el ocuparse de los astros. A él se debe en primer lugar una hipótesis sobre el origen y evolución del sistema solar que, perfeccionada más tarde por Laplace y actualizada por Safronov en 1969, es la comúnmente aceptada en nuestros días. Además de otras contribuciones a la astronomía se pronunció también acerca de los posibles habitantes de otros mundos, del modo siguiente:

"Todo el espacio cósmico debe estar lleno de vida con innumerables mundos sin fin" (Kant, 1755)

Poco después de la publicación de Kant apareció la del astrónomo escocés James Ferguson, también divulgativa como la de Fontenelle (quien, por cierto, aún vivía, aunque muy anciano, y pudo conocerla), pero algo más técnica. En ella se dice:

"El Universo contiene millones de soles, acompañados por cientos de millones de planetas, cada uno poblado por miríadas de seres inteligentes, formados para progresar sin fin en perfección y felicidad" (Ferguson, 1756)

Como vemos, la idea de la pluralidad de los mundos habitados era claramente aceptada en el mundo científico, y tenida por tan segura que si algún astrónomo o filósofo no la compartía debió preferir callarse pues las publicaciones científicas opuestas a ella son muy escasas.

El segundo grupo de opinión es el integrado por los autores interesados en los aspectos filosóficos y teológicos, que también proliferan en el siglo XVIII. Generalmente se trata de eclesiásticos anglicanos o de otras confesiones protestantes. La iglesia católica apenas se pronuncia sobre el tema, empeñada como estaba en

modificar su postura geocéntrica, que todavía era oficial a pesar de los numerosos religiosos y científicos católicos que la habían sustituido. También en este grupo el consenso general acepta la existencia de seres inteligentes en otros astros, pero empiezan a aparecer algunos críticos. También aparecen las primeras voces que se basan en la aceptación de dicha existencia para rechazar no ya la doctrina de la Iglesia sobre ese punto, sino también los dogmas esenciales del cristianismo.

Un seglar en este grupo fue el anglicano William Hay, abogado y político inglés, quien afirmó (Hay, 1753) que pueden existir numerosos modos de salvación y por ello muchas maneras de encarnación de Cristo, salvando con ello el problema que la existencia de humanidades en otros astros representa para la doctrina cristiana de dicha encarnación. Jean Terrasson, en su *Traité de l'Infini Créé* (1769) sostiene, en contra de Fontenelle, que la Encarnación no se limitó a nuestro planeta, y que el Verbo Divino pudo unirse hipostáticamente a otras criaturas racionales¹. Algo similar opinaba James Beattie, doctor en leyes por la Universidad de Oxford y más conocido por su oposición al escepticismo de Hume, y que afirmó en su libro de 1786 que la encarnación, muerte y resurrección de Cristo sirvieron (no se sabe de qué modo) como ejemplo e inspiración para los extraterrestres (Beattie, 1786).

No obstante, en el siglo XIX comenzaron a destacarse algunas voces críticas que disentan del consenso, y se efectuaron los primeros descubrimientos que demostraban la ausencia de seres inteligentes en algunos cuerpos celestes. Así, hacia la mitad del siglo, uno de los amigos de John Herschel, astrónomo como él y también filósofo, matemático, humanista, sacerdote, etc., William Whewell, vicerrector de la Universidad de Cambridge, escribía (Whewell, 1853):

“Las pruebas empíricas indican que los demás planetas del sistema solar presentan condiciones muy diferentes a las de la Tierra

No hay pruebas de que otras estrellas estén acompañadas de planetas

Los argumentos de analogía con la Tierra son débiles, ya que ésta estuvo desprovista de vida inteligente durante la mayor parte de su historia”

Whewell no fue el primero, por supuesto, en mantener una actitud escéptica ante la idea de la vida extraterrestre, pero sí puede decirse que inició los debates serios en torno al tema. En ese debate participaron expertos de distintos campos, principalmente astrónomos, con las posiciones desigualmente repartidas, pues

¹ Jean Terrasson era sacerdote católico aunque el sacerdocio no fue su actividad principal, y por tanto uno de los pocos autores católicos que se pronunciaron sobre el tema en aquella época. Sin embargo hay que advertir que la obra citada se atribuye también a Nicolas Malebranche, igualmente sacerdote católico pero del siglo XVII, que aparece como autor en la primera edición impresa. El debate parece decidirse en 2007 a favor de Terrasson (Del Prete, 2007).

predominaban con mucho los pluralistas. Los progresos científicos del siglo XIX proporcionaron argumentos a estos últimos, pues el desarrollo de la espectroscopía demostraba que los elementos químicos que integran los astros son los mismos que se hallan en la Tierra, y la propuesta de la teoría de la evolución por parte de Darwin y Wallace suministraba un mecanismo que permitía concebir el desarrollo espontáneo de la vida en otros mundos. Pero otros descubrimientos no ayudaban tanto al optimismo. Por una parte las primeras medidas de la distancia a las estrellas más próximas se revelaron tan altas que aunque la hipótesis pluralista fuese cierta se veía entonces como imposible de comprobar fuera del sistema solar. Por otra parte en este último comenzaban a descartarse como sedes para la vida los astros evidentemente menos adecuados. En primer lugar el Sol, aunque todavía un astrónomo competente como William Herschel lo supusiera poblado de "seres sutiles y radiantes, semejantes a ángeles". En segundo lugar la Luna, cuya carencia de atmósfera había sido ya comprobada por Galileo y enunciada por Huygens, pero todavía discutida durante la primera mitad del siglo XIX.

De todos los científicos claramente pluralistas de ese siglo destaca con mucho Camille Flammarion. Este astrónomo francés nacido en 1842 no solamente creía que casi todos los astros estaban habitados por seres inteligentes sino que defendía esta idea con un celo apostólico, haciendo de la misma la base de una nueva filosofía y hasta de una nueva religión². Como astrónomo su principal contribución a la ciencia fue un enorme trabajo de divulgación, popularizando la astronomía y la meteorología en un grado apenas alcanzado hasta entonces. Sus obras, y especialmente una de ellas, *"Astronomie Populaire"* (1880), alcanzaron un gran éxito, con numerosas ediciones hasta la muerte de su autor en 1925 y después de ella. Flammarion publicó muchas otras obras sobre astronomía y también sobre otros temas, entre ellas varias que se ocupan explícitamente del problema de la vida en otros mundos. Una de ellas (Flammarion, 1862) merece especial mención, porque en ella expone su doctrina científico-filosófico-religiosa sobre este tema. Para él, todos los mundos en torno al Sol y a otras estrellas están habitados, la mayoría por seres inteligentes y muchos por seres muy superiores al hombre. Tras la muerte de los humanos sus espíritus van a encarnarse de nuevo en seres superhumanos localizados en otros astros –Flammarion creía en la transmigración de las almas y cultivó asiduamente el espiritismo– en los que podían quizás morir y acceder de nuevo a una vida aún más alta.

Dada su fuerte convicción pluralista, Flammarion fue uno de los últimos astrónomos en abandonar la creencia de que la Luna podía estar habitada, a pesar de

² Su creencia combativa en la existencia de vida inteligente fuera de la Tierra le valió el ser expulsado del Observatorio de París, donde trabajaba, por parte del director del mismo, Urbain Leverrier, el descubridor del planeta Neptuno, por el motivo de haber publicado *"La Pluralité des Mondes Habités"*, una actividad que Leverrier consideraba poco seria. Bien es verdad que luego se vio obligado a readmitirle.

saber que carece de atmósfera. No afirma que existan en ella seres inteligentes y reconoce que la falta de agua líquida haría la vida imposible incluso para microorganismos resistentes, pero se esfuerza en dejar la puerta abierta a otras posibilidades: una atmósfera distinta y más sutil, aire y agua condensados en la cara oculta del satélite, que no podemos examinar, etc. He aquí como resume este astrónomo la esencia de su doctrina en la introducción de su libro sobre la pluralidad de los mundos habitados:

"En los estudios siguientes la astronomía y la fisiología vendrán [...] a establecer que los otros mundos planetarios son habitables como la Tierra..."

*La filosofía moral llegará en último lugar a animar con su aliento vital estos razonamientos científicos y a mostrar las relaciones que ligan nuestra humanidad a las otras humanidades del espacio. Ella fundará lo que creemos poder llamar la **Religión por la Ciencia**." (De *La Pluralité des Mondes Habités*, 1877 (25ª Edición))*

Descartada la Luna, tan próxima que un siglo más tarde el hombre ha podido llegar hasta ella, el interés por la astrobiología se desplazó a los demás planetas del sistema solar, especialmente a Marte y Venus, nuestros siguientes vecinos más próximos. Pero la distancia a la Luna es menos de la centésima parte de la distancia a estos astros, y eso son ya palabras mayores. Los telescopios, a pesar de sus mejoras técnicas, no servían en el caso de Venus a causa de su espesa cubierta nubosa, y en el caso de Marte sirvieron de una manera ambigua como ahora se verá.

En 1864 Giovanni Schiaparelli había sido nombrado director del observatorio de Milan, y trece años más tarde comenzó su empeño de observar metódicamente el planeta Marte. Los mapas resultantes no eran mucho mejores que los de otros astrónomos, aunque algunas estructuras de la superficie eran señaladas por casi todos ellos. El hallazgo más interesante de Schiaparelli fue el de unas formaciones lineales y oscuras, a las que llamó "canali". En italiano, como en español, esta palabra designa tanto los canales naturales como los artificiales, pero en inglés no es así, reservándose la palabra "channels" para los primeros y "canals" para los segundos. Al traducirse al inglés la obra de Schiaparelli se eligió el segundo vocablo, y en los países anglófonos se entendió que el astrónomo italiano había descubierto una red de canales artificiales en el Planeta Rojo.

Schiaparelli fue mucho más comedido al describir más tarde su hallazgo, pero aun sin decirlo explícitamente dejaba claro que unas estructuras rectilíneas y a menudo paralelas, de miles de kilómetros de largo y hasta 200 de ancho tenían que ser forzosamente artificiales. Las ideas de Schiaparelli iban a difundirse de manera

explosiva por medio de un astrónomo americano, Percival Lowell, pero esto sería ya a principios del siglo XX. Antes de tratar ese punto podemos resumir la situación de la embrionaria astrobiología a finales del siglo XIX. El excelente libro de Michael Crowe (Crowe, 1999) proporciona una buena visión de conjunto de esta situación.

A finales del siglo XIX la postura de la Iglesia Católica sobre este punto comienza a manifestarse con timidez. La iglesia ha recorrido un largo camino desde 1801, cuando todavía no era admitida oficialmente la idea heliocéntrica de Copérnico, hasta 1900, en que el Vaticano cuenta ya con su propio observatorio astronómico. En 1884 un teólogo católico alemán, Joseph Pohle, quizás animado por el éxito de la obra de Flammarion sobre la pluralidad de los mundos habitados, publicó un trabajo titulado "*Los mundos estelares y sus habitantes*" en el que defendía abiertamente la existencia de pobladores inteligentes en otros mundos, y que conoció numerosas ediciones en alemán. Por supuesto, no se puede decir que esta posición fuese oficial en la Iglesia. Pero dada la trayectoria posterior de Pohle, quien llegó a ser Rector de la Universidad de Breslau, y autor de una monumental enciclopedia de teología dogmática, puede aceptarse que sus ideas eran implícitamente aceptadas en Roma³.

A comienzos del siglo XX, que vería el nacimiento oficial de la astrobiología, las ideas embrionarias acerca de esta ciencia irrumpen con brusquedad de la mano del ya citado Percival Lowell. Este autor, astrónomo tardío, pues no se dedicó a esta ciencia hasta más de veinte años después de su licenciatura movido por la lectura de un libro de Flammarion, se interesó especialmente por el planeta Marte, y como era persona acomodada se construyó en 1895 su propio observatorio. Allí se dedicó, entre otras cosas, a estudiar minuciosamente los canales de Marte, que multiplicó, describió y delineó con todo detalle, sin dudar por un momento de que constituían una obra maestra de la ingeniería marciana destinada a proporcionar riego a un planeta sediento y moribundo. Sus afirmaciones encontraron un eco moderado entre los astrónomos, pero merced a sus libros, folletos, conferencias y artículos periodísticos calaron profundamente entre el gran público, hasta el punto de que, a partir de los principios del pasado siglo el nombre de "marcianos" pasó al uso común para designar a todos los habitantes de otros planetas y aún se mantiene así.

La síntesis de las investigaciones de Lowell sobre Marte se expone, entre otros, en un libro, *Mars and its Canals* (Lowell, 1906). Este libro, que el autor dedicó a Giovanni Schiaparelli, al que llamó "Colón de un Nuevo Mundo planetario", cautivó la imaginación de muchos de los contemporáneos de Lowell, especialmente entre los escritores de habla inglesa. Sin duda los libros de Julio Verne (1865), Flammarion

³ Joseph Pohle publicó su Enciclopedia de Teología Dogmática en tres volúmenes entre 1904 y 1916. Ediciones y autores posteriores la fueron ampliando y enriqueciendo hasta la segunda mitad del siglo XX, llevándola a los 12 volúmenes de la última edición. Durante todo ese tiempo la postura de Pohle se mantuvo indiscutida.

(1877), Schiaparelli (1893) y sobre todo de Lowell (1895, 1906, 1909) propiciaron la aparición de mucha literatura barata y no tan barata sobre los marcianos, en la que destacan el ciclo de Burroughs acerca de Marte, y sobre todo *"La Guerra de los Mundos"* de Wells. Esta última ha mantenido una gran influencia sobre el público hasta nuestros días, a través de la radio, el cine y la televisión, y ha asentado para el gran público durante casi todo el siglo XX el estereotipo de los humanoides extraterrestres, marcianos de color verde que pretenden invadir la Tierra y exterminar a sus habitantes.

Sin embargo muchos astrónomos eran escépticos en cuanto a la realidad de los canales, y pensaban que, o bien se trataba de percepciones erróneas de los observadores, o bien correspondían a formaciones reales pero de origen natural. Cuando se publicaron las obras de Lowell existían ya mejores telescopios que los usados por Schiaparelli y Flammarion. Entre 1897 y 1916 el mejor telescopio del mundo era el refractor del Observatorio de Lick, en California, y el examen de Marte con este o con otros telescopios menos potentes dio lugar a observaciones ambiguas, algunas de las cuales confirmaban y otras rechazaban la existencia de canales. En 1916, año de la muerte de Lowell, el gran telescopio reflector instalado en el observatorio de Monte Wilson pasó a ser el más potente del mundo, y las observaciones de Marte con el mismo dieron resultado negativo. Poco a poco fue aumentando el número de escépticos entre los astrónomos, aunque Lowell, hasta su muerte⁴, y Flammarion, hasta la suya en 1925, siguieron defendiendo sus ideas con denuedo.

En la polémica sobre la vida inteligente en Marte, y de hecho sobre la vida extraterrestre en general, vino a terciar nada menos que Alfred Wallace, el copropONENTE con Darwin de la teoría de la selección natural como motor de la evolución. Wallace, quien desde el principio había excluido al hombre del esquema evolutivo darwiniano, manifestó a comienzos del siglo XX su escepticismo sobre la existencia de vida inteligente en Marte y sobre los pretendidos canales marcianos. Incluso dedicó varios libros al tema (Wallace, 1907).

Uno de ellos, el que se cita en la referencia, es básicamente una respuesta al libro de Lowell publicado el año precedente, como se indica en la introducción. También se indica que esa respuesta actualiza, pero no cambia en el fondo, las afirmaciones que el mismo Wallace había hecho en una obra anterior más ambiciosa. Lo sorprendente de la respuesta a Lowell es constatar que un biólogo como Wallace, sin formación universitaria, corrige a un astrónomo competente que había estudiado en Harvard con mención honorífica en matemáticas, y lo hace concretamente en el

⁴ El Observatorio de Flagstaff, en Arizona, dirigido por Lowell, continuó catalogando y dibujando canales de Marte hasta 1920. En 1910 tenía catalogados ya 660 de ellos.

terreno matemático. En efecto, los cálculos de Lowell especificaban una atmósfera en Marte similar a la terrestre, con una temperatura parecida a la de la Tierra, mientras que los cálculos de Wallace indicaban correctamente que la atmósfera marciana tenía una densidad mucho más baja que la de la atmósfera terrestre, y por consiguiente una temperatura media muy inferior. En definitiva, Wallace consideraba que Marte no podía sostener vida inteligente⁵

Como se ha dicho, el progresivo aumento de potencia de los telescopios demostró cada vez más claramente que las observaciones de los supuestos canales no eran sino consecuencia de la pobre óptica de los instrumentos y de la voluntad del observador. Poco después de inaugurarse en 1947 el Gran Telescopio Hale, en el observatorio de Monte Palomar, muy pocos astrónomos creían todavía en los canales marcianos, pero aún lo hacían algunos escritores de ciencia ficción, por lo demás provistos de buena formación científica.

Pero los temas de la astrobiología, como su nombre indica, no solamente son astronómicos, sino también biológicos, y los primeros pasos en el estudio científico de estos aspectos biológicos se dieron a finales del siglo XIX y principios del XX. De hecho se trató de una nueva aplicación del principio de uniformidad: Si la vida surgió en la Tierra, los mismos mecanismos que la originaron debieron hacerlo también en otros planetas. Para enfocar correctamente el problema era necesario determinar previamente cuáles fueron estos mecanismos y cómo operaron.

A principios del siglo XX dos nombres destacan en el estudio del origen de la vida en la Tierra, Svante Arrhenius y Alexandr Oparin. Previamente la idea de un origen espontáneo de la vida en la Tierra había recibido un fuerte varapalo con los experimentos de Louis Pasteur (1861), quien demostró que la aparición de seres vivos, incluso de microorganismos, a partir de materia inerte era imposible. Pero como percibió muy bien Darwin diez años más tarde, esa imposibilidad se refería a las condiciones actuales de la Tierra, no a las que pudieron imperar en un pasado remoto.

Las ideas de Darwin al respecto, como las de sus seguidores, eran sumarias y puramente especulativas. No así las de Oparin, ya en la tercera década del siglo XX. Pero antes de tratar de estas últimas hay que referirse a otro científico teórico,

⁵ En relación con este punto cabe mencionar que Alfred Wallace se animó, en su obra de 1902 sobre el lugar del hombre en el universo, a enfrentarse con los problemas filosóficos y teológicos que la existencia de vida inteligente en otros mundos plantea, y lo hizo también de forma muy lograda, empleando un lenguaje y unos argumentos que podrían ser suscritos por muchos especialistas actuales, y que manifestaban nuevamente la capacidad y la solidez científica del autor escocés. No obstante, comete algunos errores en temas que en aquella época no se conocían todavía adecuadamente.

Arrhenius, quien propuso una explicación alternativa al problema del origen de la vida, y una explicación especialmente importante para la astrobiología.

El sueco Svante Arrhenius fue uno de los mayores científicos de comienzos del siglo XX. Químico de profesión y particularmente conocido por su teoría de la disociación electrolítica de los iones que le valió el Premio Nobel de Química de 1903, se ocupó también de otras cuestiones más propias de la ecología, como la distribución de los organismos en un área determinada o el efecto invernadero. También propuso una teoría sobre el origen de la vida en la Tierra, indicando que ésta podía proceder simplemente de otros astros gracias al transporte de esporas o gérmenes a través del espacio (Arrhenius, 1903, 1908). Criticada por muchos científicos porque no resuelve verdaderamente el problema del origen de la vida, el hecho es que investigaciones posteriores han aportado muchos datos que la apoyan, aunque claro está que no puede llegar a demostrarse. Sus trabajos sobre los efectos del dióxido de carbono en la atmósfera terrestre le llevaron a suponer que el planeta Venus era un mundo tropical y húmedo, cubierto de espesas selvas y pantanos, en donde pululaban seres semejantes a dinosaurios. Este cliché se mantuvo especialmente entre los escritores de ciencia ficción, así como entre algunos científicos, hasta pasada la mitad del siglo XX.

El ruso Alexandr Oparin propuso en 1924 una teoría fundamentada sobre el origen espontáneo de la vida en la Tierra, suponiendo que en las condiciones primitivas del planeta se pudieron formar compuestos proteicos en puntos con agua caliente y diversos compuestos orgánicos en disolución. Según Oparin las primeras estructuras orgánicas prebióticas serían los coacervados, glóbulos de proteínas separados del medio líquido por membranas de sustancias grasas. De manera independiente el inglés John Haldane propuso en 1928 una teoría similar. Mucho más tarde Haldane tendría un papel importante aunque poco conocido en el nacimiento de la astrobiología.

Mediado el siglo XX la situación no había cambiado de forma sustancial. Existían, eso sí, mejores telescopios y los primeros radiotelescopios, la astronáutica daba sus primeros y vacilantes pasos y el radar permitía ya un burdo análisis de la superficie de la Luna y otros astros próximos, Venus y Marte, en los cuales se centraban las esperanzas de encontrar vida (ya no vida inteligente) en el sistema solar. Por lo que respecta a Marte todavía se aceptaba la existencia de vegetación, que cambiaba de acuerdo con las estaciones del planeta (Sinton, 1957). En cuanto a Venus, cuya superficie permanecía desconocida por la impenetrable capa nubosa que lo envuelve, seguía imaginándose como un mundo pantanoso y tropical similar a la Tierra durante el periodo Carbonífero, si bien algunos astrónomos, como Donald Menzel (1953), director del Observatorio de Harvard, suponían que era un mundo oceánico, cubierto por mares someros y extensos. Por la misma época un astró-

nomo ruso, Gavril Tikhov (Tikhov, 1953) describía la vegetación de Venus como de brillante color naranja⁶

Durante los años 40 se estuvo gestando en Estados Unidos el Proyecto Manhattan, que culminó con la detonación de sendas bombas atómicas sobre las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki. Muchos de los especialistas en física nuclear que habían contribuido al desarrollo del proyecto permanecieron trabajando en el Laboratorio de Los Alamos una vez terminada la Segunda Guerra Mundial, y entre ellos se encontraba el físico italiano Enrico Fermi, quien dirigió la construcción del primer reactor nuclear. En 1950 y durante una conversación informal, Fermi propuso lo que se ha dado en llamar la “Paradoja de Fermi” con la simple frase “¿pues dónde están?” refiriéndose a los posibles visitantes extraterrestres, que sería un argumento teórico en contra de la abundancia, e incluso de la existencia de los mismos.

De manera más formal la paradoja de Fermi, que al parecer no sería paradoja (no se refiere a la inexistencia de inteligencias extraterrestres, sino a la dificultad de los viajes interestelares tripulados, (Gray, 2016)), podría formularse así:

“Si fuera cierto que existen miles de millones de civilizaciones extraterrestres, y solo una fracción de ellas, aunque fuese pequeña, fuesen capaces de emitir señales de comunicación o de viajar a otras estrellas, alguna de ellas habría conectado ya con nosotros”

Este argumento puede parecer muy pobre puesto que el hecho de que no tengamos señales no demuestra nada, pero se trata de una idea más fundamentada de lo que parece a primera vista. En efecto, el universo comenzó hace 13800 millones de años, y la Tierra hace 4500 millones de años. Si contamos con 3800 millones de años para la evolución de las primeras supernovas, y por tanto para la producción y dispersión de los elementos pesados (p. ej. carbono, oxígeno, nitrógeno, etc, esenciales para la vida) queda una diferencia de al menos 5500 millones de años, probablemente bastantes más, tiempo de sobras suficiente para que se hayan generado muchas civilizaciones más antiguas que la nuestra, y que podrían llevarnos millones de años de ventaja tecnológica. Aunque solo existieran unas pocas de esas civilizaciones, deberían haber colonizado toda la galaxia en un plazo de uno a cinco millones de años, un parpadeo en la escala cosmológica (Crawford, 2000).

Se han propuesto docenas de explicaciones a la paradoja de Fermi, además de las que simplemente niegan que la cuestión sea realmente científica. Tales

⁶ Como en tantos otros campos también aquí fueron pioneros los científicos rusos. Tikhov, precisamente, fue el primero que empleó el término “astrobiología” para designar el estudio de los supuestos seres vivos de otros planetas, y escribió el primer libro con este título

explicaciones se distribuyen en dos grupos, las que achacan la falta de señales extraterrestres a que no existen civilizaciones fuera de la Tierra (Bostrom, 2008) y las que postulan la existencia de tales civilizaciones pero sostienen que, por distintas razones, no han podido o no han deseado contactar con nosotros. Este asunto se discutirá brevemente más adelante.

Como el laboratorio de Los Álamos donde trabajaba Fermi, las instalaciones militares secretas en Estados Unidos, tanto las dedicadas a las armas atómicas como las dedicadas a los cohetes de combustible líquido, dieron pábulo a muchos rumores e informaciones más o menos creíbles, algunas de los cuales pueden considerarse vinculadas a la existencia de civilizaciones extraterrestres. Hacia 1947 nació el mito de los platillos volantes, que sería creído a pies juntillas por miles y quizás millones de personas. Es un tema que quizás no tiene cabida en estas páginas, pero su amplia difusión y su evidente relación con la astrobiología obliga al menos a unos breves comentarios.

Un piloto estadounidense, Kenneth Arnold, disparó el interés por los “platillos volantes” (nombre que los medios de comunicación dieron inicialmente al fenómeno), al informar de un avistamiento de nueve objetos luminosos en el cielo al sur de Seattle, en Junio de 1947. Dichos objetos se movían, al parecer, a una velocidad de 2700 km/h, superior a la de cualquier vehículo aéreo conocido en la época. En pocas semanas se sucedieron numerosos avistamientos similares, siendo el más sorprendente de ellos la supuesta caída de uno de estos objetos, que se habría estrellado en Roswell, Nuevo México, dos semanas después del avistamiento de Arnold.

La fiebre de los “platillos volantes”, que pronto se denominaron con las siglas UFO (del inglés Unidentified Flying Object) u OVNI en español (Objeto Volador No Identificado), se extendió pronto por todo el mundo, y como una epidemia recurrente se ha mantenido hasta hoy, con periodos álgidos en los que los avistamientos son más numerosos y con periodos más tranquilos, en los que se registra poca actividad. Empezaron a publicarse informes y libros más o menos fiables, y se crearon asociaciones de todo tipo que se ocuparon de este fenómeno, bien para difundirlo, bien para desacreditarlo.

El debate se centra específicamente en la interpretación del fenómeno. Para unos es una prueba clara de la existencia de inteligencias extraterrestres, que habrían fabricado verdaderos vehículos interestelares. Para otros los OVNI son simplemente lo que indica el acrónimo, objetos voladores no identificados todavía. Los primeros dicen haber creado una nueva ciencia, la ufología, calificada por sus oponentes -incluyendo el diccionario de la Real Academia Española- de pseudociencia. Unos y otros, especialmente los primeros, han hecho correr ríos de tinta. Existen incluso congresos de ufología y hasta enciclopedias sobre seres extraterrestres (Clark, 1998,

2005). La comunidad científica suele ser escéptica al respecto, y muchos astrónomos se burlan de los supuestos alienígenas que nos visitan, pero existen científicos respetables, aunque pocos, que creen realmente en el origen extraterrestre de los OVNIS.

A finales de la década de los 50 se inició la exploración del espacio mediante satélites artificiales y sondas lunares, y a principios de la década siguiente empezaron las observaciones directas de otros planetas y satélites que nuevas sondas planetarias habían hecho posibles. Los experimentos de Urey y Miller en 1953 demostraron que muchas moléculas de importancia biológica pudieron originarse espontáneamente en la Tierra y probablemente también en otros planetas. Por otra parte Oparin y su teoría seguían vivos en la Unión Soviética y Haldane, si bien había abandonado sus trabajos en este terreno, todavía pudo influir, a finales de la década de los 50 y junto con el microbiólogo americano Joshua Lederberg, en el nacimiento del programa astrobiológico de la NASA (NASA, 2010).

Los sueños de unos planetas vecinos poblados al menos por una vegetación, escasa en el caso de Marte y lujuriante en el de Venus, acabaron bruscamente con los datos aportados por las primeras sondas interplanetarias. En Diciembre de 1962 la sonda estadounidense Mariner II pasó cerca de Venus, y sus sensores de infrarrojo pudieron acceder por primera vez a la superficie del planeta, registrando una temperatura próxima a los 500 °C, incompatible con cualquier forma de vida, lo que fue confirmado por misiones posteriores (Sonett, 1963). En cuanto a Marte, en Julio de 1965 la sonda Mariner 4 pasó cerca del planeta, y tomó 21 fotografías de un paisaje similar al de la Luna (Sloan, 1968). Inmediatamente se extendió la idea de que Marte no era más que una versión mayor y más alejada de nuestro satélite. Aunque esta idea fue corregida con las observaciones posteriores, hubo que descartar la posibilidad de que el planeta albergase vida comparable a la de la Tierra en su superficie.

Quedaban, eso sí, las estrellas. En torno a otras estrellas podía haber planetas – esa era al menos la opinión generalizada entre astrónomos y legos – y esos planetas podían albergar vida, y vida inteligente, incluso civilizaciones con alta capacidad tecnológica. No es de extrañar que fuese precisamente a finales de la década de los 50 cuando comenzaron a proponerse y desarrollarse intentos de comunicación con seres inteligentes de otros mundos. La Iglesia Católica no entraba por entonces en estas disquisiciones, aunque sí lo hizo, y con mucho adelanto, uno de sus miembros más conocidos el jesuita Pierre Teilhard de Chardin, quien se pronuncia de manera tajante sobre este punto:

“La idea de que un solo planeta se halle poblado en todo el Universo se ha vuelto para nosotros tan impensable como la idea de que el hombre apareció sobre la Tierra sin conexión genética alguna con

las demás criaturas del planeta (...) Con tal prodigiosa abundancia de lugares celestiales aptos para la "vida inmortal", ¿cómo ha de responder la Teología a las expectativas y esperanzas de todos aquellos que desean seguir rezando a Dios en espíritu y en verdad?" (Teilhard de Chardin 1969)⁷.

Teilhard advierte en este trabajo contra tres soluciones fáciles: decidir que, de todos los planetas habitados solamente la humanidad terrestre ha sido afectada por el Pecado Original y ha necesitado ser redimida; imaginar que la redención del hombre por Cristo, cumplida mediante su encarnación en nuestro planeta, ha sido conocida de algún modo por otras "Humanidades"; y finalmente afirmar que la Tierra es el único mundo habitado en el Universo por seres racionales. En palabras de Teilhard, *"no se necesita poseer un doctorado en teología para darse cuenta de que ninguna de esas soluciones es convincente: ¿Qué debemos hacer, pues? Debemos abrir la teología a la posibilidad de la existencia de inteligencias extraterrestres"*.

A partir de 1957, fecha del lanzamiento del primer satélite artificial, los avances de la astronomía fueron intensamente favorecidos por la tecnología astronáutica, que tuvo un enorme impacto en los medios de comunicación y por ende en la sociedad. La Iglesia Católica, al igual que otras confesiones, tuvo que pronunciarse sobre este tema y son frecuentes las intervenciones de los papas, desde Pío XII a Juan Pablo II, en las que se alude a los avances en astronáutica, siempre de un modo encomiástico y ligando dichos avances al establecimiento de la paz en el mundo y a la realización por parte del hombre del plan de Dios. Incluso, forzando bastante las cosas, puede considerarse que algunos de los discursos de los papas iban dirigidos también a oyentes extraterrestres⁸. Pero en el terreno doctrinal no se registran cambios importantes. Así en el nuevo tratado de teología dogmática publicado por Michael Schmaus a mediados del pasado siglo (Schmaus, 1962) se alude al problema astrobiológico con las siguientes palabras, que mantienen la posición de Pohle:

"Si fuese seguro que no solo en la Tierra, sino también en otros astros existen seres dotados de razón, se podría aducir como nueva razón que éstos descubren

⁷ Esta referencia no es sencilla: está tomada del volumen décimo de las obras de Teilhard de Chardin publicado en 1969 por Editions du Seuil, Paris. Dicho volumen integra una veintena de artículos escritos entre 1919 y 1953 que, como es sabido, no pudieron publicarse en vida del autor y que se integraron bajo el título conjunto de *"Comme je crois"*, que es el título a su vez de uno de dichos artículos, escrito en 1934. El artículo de donde se ha tomado la cita es uno de los últimos, y se escribió en Junio de 1953, menos de dos años antes de la muerte del sabio jesuita. La tres fechas, por lo tanto (1934, 1953 y 1969) pueden emplearse para la referencia.

⁸ El 12 de Febrero de 1931 el papa Pío XI pronunció el primer mensaje por radio dirigido a toda la Creación, y en su comienzo incluye las palabras iniciales del Cántico de Moisés: "Oid, cielos, lo que voy a decir, y escuche la Tierra las palabras de mi boca". También indica que quiere aprovechar el invento de Marconi para lograr una audiencia universal, como lo había intentado el propio Marconi unos años antes (v. más adelante).

en el Universo aspectos de la gloria de Dios que permanecen ocultos para los habitantes de la Tierra. De este modo la creación de Dios anunciaría a los hombres en la Tierra, a los bienaventurados del cielo y a los habitantes de otros mundos.

Contra la existencia de tales seres se puede aducir el hecho de que, según el estado actual de nuestros conocimientos físicos solamente la Tierra posee las condiciones necesarias para el desarrollo de la vida."

En 1959 dos autores norteamericanos publicaron la primera propuesta formal para sintonizar posibles emisiones artificiales de radio procedentes de dos estrellas próximas (Cocconi y Morrison, 1959), y acuñaron el acrónimo SETI (*Search for Extra-terrestrial Intelligences*) para designar los futuros intercambios de mensajes con otros mundos⁹. El nacimiento "oficial" de la astrobiología (en Estados Unidos, ya hemos visto que en Rusia fue bastante anterior) tuvo lugar en 1961, cuando el astrónomo Frank Drake organizó en el Observatorio de Green Bank un minicongreso, con un grupo de científicos interesados en el tema. Para organizar las discusiones Drake hizo una lista de los puntos que se debían tratar, tales como existencia de planetas en torno a otras estrellas, orígenes de la vida y las moléculas biológicas, requerimientos de los planetas para albergar vida, etc. De esta miniagenda derivó la famosa y ubicua ecuación de Drake, primer intento serio de cuantificar el problema de la existencia de vida inteligente en otros planetas y por ello primer elemento científico de la astrobiología. (Billings, 2013).

La ecuación de Drake es una forma concisa de especificar que la proporción de civilizaciones potencialmente detectables en nuestra galaxia respecto al número de estrellas de ésta es el producto de la tasa de formación de nuevas estrellas por la proporción de éstas que tienen planetas, por la proporción de éstos que son aptos para la vida, por la proporción de estos últimos que de hecho desarrollan vida, por la proporción de éstos últimos que desarrollan vida inteligente, por la fracción de éstos que desarrollan una civilización tecnológica capaz de enviar señales a otros astros y por la duración teórica media de dichas civilizaciones. Es decir:

$$N = R^* f_p n_e f_i f_c L$$

donde

- N = El número de civilizaciones capaces de comunicarse
- R^* = La tasa de formación de estrellas de tipo solar

⁹ Las propuestas para comunicarse con inteligencias extraterrestres son muy anteriores, y ya a principios del siglo XIX habrían sido efectuadas por Carl Friedrich Gauss. Nikola Tesla (1901) decía haber recibido mensajes de Marte y Guillermo Marconi (1919), el inventor de la radio, envió emisiones a Marte, y según medios tan serios como *Scientific American*, llegó a recibir respuestas..

- f_p = La fracción de tales estrellas con planetas
- n_e = El número de planetas de tipo terrestre por sistema planetario
- f_i = La fracción de tales planetas en que se desarrolla de hecho la vida
- f_j = La fracción de planetas con vida en los que se desarrolla la inteligencia
- f_c = La fracción de planetas con especies inteligentes y con tecnología de comunicación interestelar.
- L = La vida media de las civilizaciones capaces de comunicarse.

El propio Drake y sus colegas del simposio realizaron las primeras estimas del valor de N , con un resultado que dependía de los valores de las otras variables. Escogiendo los valores razonables mínimos se llegaba a un resultado de 20 planetas con interlocutores en toda la galaxia, mientras que con los valores máximos se llegaba a 50 millones de planetas (Drake & Sobel, 1992).

El esquema planteado por Drake tropezó de inmediato con fuertes críticas, sobre todo por parte de quienes lo entendían como un reflejo de la realidad cósmica y no como una guía para la investigación futura. La crítica principal se basaba en el hecho de que por entonces ninguno de los términos de la ecuación se conocía con suficiente seguridad, y salvo el primero (tasa de formación de nuevas estrellas en la galaxia) ni siquiera se conocían en modo alguno. Por ejemplo, no se sabía todavía si otras estrellas además del Sol tenían planetas a su alrededor, y los demás términos eran y algunos siguen siendo, totalmente desconocidos (Brin, 1983). Así, todas las estimas derivadas de la ecuación tenían que basarse en varias conjeturas infundadas, y el empleo de dicha ecuación equivaldría a poco más que dar palos de ciego en la inmensidad cósmica. Otras críticas se han centrado en la insuficiencia o en la inadecuación de las variables elegidas, y en consecuencia se han propuesto numerosas ecuaciones alternativas, que pretenden remediar estos inconvenientes.

Una de las primeras fórmulas alternativas es la ecuación de Dole (Dole, 1964), con un propósito algo distinto. No pretende estimar el número de civilizaciones capaces de comunicarse con la humanidad, sino el número de planetas habitables por el hombre en nuestra galaxia, lo que incluye a planetas no habitados por seres tecnológicamente avanzados, pero sí por otros seres, inteligentes o no. En todo caso, dado que se trata de planetas habitables por el hombre, tienen que satisfacer los requisitos necesarios para éste, y al menos estos requisitos son bien conocidos. No hay que buscar, pues, planetas con atmósferas o terrenos exóticos, que podrían ser compatibles con formas de vida no humanas pero que no serían aptos para el hombre.

La ecuación de Dole es la siguiente:

$$Nph = Ne \cdot Pp \cdot Pi \cdot Pm \cdot Pe \cdot Ps \cdot Pr \cdot Pa \cdot Pv$$

donde

Nph = Número de planetas habitables en la galaxia

Ne = Número de estrellas del tipo apropiado en la galaxia.

Pp = Probabilidad de que una estrella dada tenga planetas

Pi = Prob. de que un planeta dado tenga la inclinación de su eje adecuada

Pm = Prob. de que un planeta tenga una masa apropiada

Pe = Prob. de que un planeta gire en una órbita de excentricidad adecuada

Ps = Prob. de que la estrella central sea simple

Ps = Prob. de que la rotación no sea ni demasiado rápida ni muy lenta

Pa = Prob. de que la edad del planeta sea adecuada.

Pv. = Prob de que el planeta haya desarrollado una vida apropiada.

La ecuación de Dole parece más exigente que la de Drake, a pesar de que algunos requisitos como la distancia a la estrella central, y por ende, la temperatura media del planeta no se mencionan. De hecho esos requisitos pueden considerarse implícitos en el último, pues la vida no puede desarrollarse en un planeta con temperaturas demasiado altas o demasiado bajas. Como es de suponer, Dole emplea también datos razonables para adelantar una estima, pero como en el caso de Drake los conocimientos de la época sobre los distintos factores eran precarios. También Dole ignoraba casi todo acerca de los distintos factores de la ecuación salvo el primero (número de estrellas del tipo apropiado), y no podía estar seguro de la existencia de planetas en torno a otras estrellas. Con todo y con eso realizó su estimación, según la cual en nuestra galaxia existen aproximadamente 640 millones de mundos directamente habitables por el hombre. Por término medio la distancia entre mundos habitables sería de unos 35 años luz, lo que implicaría un tiempo de unos 70 años para el envío de un mensaje y la recepción de la respuesta, si ésta es inmediata. El estudio de Dole ha sido reeditado y actualizado en 2007.

Peter Ward y Donald Brownlee, geólogo y astrobiólogo respectivamente en la Universidad de Washington, propusieron posteriormente la llamada "hipótesis de la Tierra improbable", según la cual nuestro planeta es excepcional y no cabe esperar que existan muchos o incluso alguno más como él en nuestra galaxia (Ward y

Brownlee, 2000). La fórmula de Ward y Brownlee es similar a la de Dole, pues trata de estimar el posible número de planetas similares a la Tierra, y no el de civilizaciones galácticas. Es la siguiente:

$$N = Ng \cdot Ne \cdot Fg \cdot Fp \cdot Fm \cdot Fv \cdot Fb \cdot Fc \cdot FI \cdot Fj \cdot Fx$$

donde

N = Número de planetas similares a la Tierra en nuestra galaxia

Ng = Número de estrellas en la galaxia

Ne = Número medio de planetas en la ecosfera de una estrella

Fg = Frecuencia media de estrellas en la zona habitable de la galaxia

Fp = Frecuencia media de estrellas que tienen sistemas planetarios

Fm = Frecuencia media de planetas rocosos en un sistema planetario

Fv = Frecuencia de planetas en los que existe la vida

Fb = Frecuencia media de planetas en los que existe una vida compleja

Fc = Fracción de la historia de un planeta durante la que existe vida compleja

FI = Frecuencia media de planetas con un satélite grande respecto al planeta

Fj = Fracción de sistemas planetarios con planetas gigantes gaseosos

Fx = Fracción de planetas en los que los impactos catastróficos sean escasos

Los autores de la propuesta no dieron estimas porque consideraban todas las variables, incluso la más segura, como el número de estrellas en la galaxia, conocidas sólo por conjeturas, pero afirmaron que el número de planetas similares a la Tierra debía ser uno (eso es seguro) o pocos más.

Esta ecuación, como la de Drake, ha recibido muchas críticas, pero en aquel caso las críticas se debían quizás a lo prematuro de la propuesta, mientras que en este se deben a que la postura de Ward y Brownlee no es “políticamente correcta” al devaluar el principio de mediocridad. Así los oponentes, que son mayoría, la han atacado de un modo más visceral y menos sereno (Darling, 2001), pero también hay críticos que argumentan que los valores de las variables incluidas en la fórmula no tienen que ser necesariamente bajos.

Sea como sea, estas ecuaciones, y en particular la ecuación de Drake, sirvieron de guía para la puesta en marcha y el desarrollo de numerosos proyectos de

comunicación con inteligencias extraterrestres, o más modestamente, de búsqueda de inteligencias extraterrestres. El primer enfoque, la comunicación activa (CETI), incluía el envío de mensajes a otras estrellas, y se llevó a cabo principalmente en la Unión Soviética y luego en Rusia. En Estados Unidos, tras el envío del mensaje de Arecibo en 1973, fue pronto abandonado por consideraciones de seguridad¹⁰.

El segundo enfoque, la comunicación pasiva, o simple escucha, se ha llevado a cabo mediante numerosos programas desde el intento pionero de Drake en 1960. Algunos de estos programas se reseñan a continuación (Vázquez y Martín, 1999)

Proyecto Ozma, National Radio Astronomy Observatory (NRAO), Virginia, USA, 1960

Proyecto Serendip I, Hat Creek Observatory, California, USA, 1976-1985

Proyecto Sentinel, Oak Ridge, Massachussets, USA, 1983-1985

Proyecto Meta, Oak Ridge, Massachussets, USA, 1985-1995

Proyecto Serendip II, NRAO, Virginia, USA, 1985-1988

Proyecto Seti, Arecibo y Goldstone, Puerto Rico y USA, 1992-1992

Proyecto Phoenix, Parker Observatory, Australia, 1995

Proyecto Seti@Home, Todo el mundo, 1999-2017

También existen otros mensajes pasivos, no destinados a receptores extraterrestres pero que podrían alcanzarles en caso de que los hubiera. Algunas señales potentes de las emisiones normales de radio, sobre todo a partir de 1925, de televisión a partir de 1936, y de radar, desde 1950, siguen avanzando en el espacio, y podrían haber sido captadas por radiotelescopios situados a 70 o 90 años luz. Menos distantes se hallan los mensajes incorporados a las cinco sondas espaciales destinadas a salir de sistema solar, la más alejada de las cuales es el Pioneer X, que en estos momentos debe hallarse a menos de 20000 millones de kilómetros de la Tierra, lo que no llega ni a la bicentésima parte de la distancia que nos separa de la estrella más próxima, a pesar de que lleva una velocidad de más de 44000 km/h¹¹.

¹⁰ El mensaje de Arecibo fue enviado desde el mayor radiotelescopio del mundo, situado en esta localidad portorriqueña, el 16 de Noviembre de 1974. Elaborado por diversos autores, principalmente el propio Frank Drake y Carl Sagan, consistió en 1679 pulsos y blancos (bits con valores 1 y 0) dirigidos al cúmulo globular M13, una agrupación densa de alrededor de un millón de estrellas en la constelación de Hércules. La decodificación es elemental y proporciona información básica sobre la Tierra y sus habitantes. La distancia de este cúmulo es de unos 25000 años luz, por lo que una eventual respuesta tardará al menos el doble de ese tiempo.

¹¹ El mensaje incorporado al Pioneer X no es digital, sino figurativo, un conjunto de dibujos gra-

Una de las explicaciones pesimistas de la paradoja de Fermi sostiene que no tenemos señales de otras civilizaciones extraterrestres porque somos los primeros en alcanzar la capacidad de comunicación con otros mundos. Esta versión moderada del geocentrismo hace de la Tierra en cierta forma un planeta privilegiado y por ello no es bien vista por muchos científicos. Pero de ser cierta, apoyaría una de las versiones de la panspermia, la llamada transpermia dirigida, es decir el transporte intencionado de formas de vida o de mensajes inteligentes a otros astros. Y en tal caso sería precisamente la especie humana la que habría comenzado la colonización de la galaxia. Ya existen numerosos aparatos fabricados por el hombre posados o estrellados sobre la superficie de diversos astros del sistema solar, en Mercurio, Venus, la Luna, Marte, Fobos, Júpiter y Titán, además de los que se han posado en distintos asteroides y cometas, y al menos los enviados a la Luna y a Marte permanecerán escasamente alterados durante siglos. Hay que contar también con las numerosas sondas interplanetarias que permanecen orbitando distintos planetas o satélites, o que giran en torno al Sol (Bond, 2017).

Al espacio no solamente se han enviado mensajes e instrumentos de observación, sino también humanos. El espacio inmediatamente próximo a la Tierra está poblado por miles de satélites artificiales, y ha albergado estaciones espaciales en las que han residido muchas personas durante periodos más o menos largos en los últimos cincuenta años. La más compleja de éstas es la actual Estación Espacial Internacional, habitada de forma continua desde 2006. Fuera del ámbito circunterrestre solamente un astro, la Luna, ha sido habitado brevemente por una docena de personas entre 1969 y 1972.

El panorama habría sido muy distinto de haber prosperado la iniciativa del profesor Gerald O'Neil. Este físico norteamericano, profesor en la Universidad de Princeton, diseñó durante los años 70 diversos modelos de estaciones espaciales habitables no ya por un puñado de humanos sino por verdaderas poblaciones. Tales ciudades del espacio hubieran podido albergar desde 50 personas a diez millones de ellas, según el tamaño. Construidas con roca lunar, deberían ser autosuficientes en pocas décadas, y habrían permitido una colonización rápida de sistema solar. Extrapolando las previsiones, ahora, en 2017, tales colonias hubieran podido acoger a cientos de millones de personas, la Luna y Marte poseerían poblaciones humanas permanentes y los asteroides empezarían a ser utilizados como fuentes de minerales¹².

bados en una placa metálica en los que se ilustra una pareja humana desnuda, la silueta esquemática de la propia sonda, unos dibujos simples del sistema solar y de su situación en la galaxia, etc.

¹² O'Neil fundó también el Instituto de Estudios Espaciales, donde se analizaron y resolvieron en teoría todos los problemas técnicos y logísticos del proyecto. A pesar de que los planes contemplaban la amortización económica de las estaciones 17 años después de su construcción, con beneficios a partir de ese momento, el proyecto no llegó a desarrollarse por razones más políticas y económicas que técnicas.

Los primeros programas de escucha espacial no proporcionaron resultados positivos. Es verdad que de vez en cuando se recibía una señal inexplicable por causas naturales, pero después se descubría que se trataba de una señal debida a procesos naturales poco conocidos. Algunas señales de este tipo resultaron emitidas por cuasares remotos, y en una ocasión, el año 1967, la señal llevó al descubrimiento de un nuevo tipo de objeto cósmico, los pulsares. En este caso la emisión fue inicialmente atribuida a una civilización extraterrestre, y de hecho el primer nombre que los descubridores dieron a la fuente era LGM (*Little Green Men*, u *Hombrecillos verdes*) (Bell, 1977).

Solo una señal hasta el momento no ha encontrado explicación natural. En Agosto de 1977 se recibió una señal clara que destacaba del ruido de fondo en el radiotelescopio de la Universidad de Ohio. El astrónomo encargado de analizar los registros impresos, Jerry Ehman, los examinó varios días más tarde y al encontrar la señal escribió "Wow!" al lado de la misma, de lo que deriva el nombre de "señal wow", que ha quedado. A pesar de las intensas búsquedas posteriores en la zona de procedencia de la señal, la constelación de Sagitario, no se ha podido obtener ninguna otra señal confirmatoria, ni una explicación adecuada para ella. Probablemente se debió a un fenómeno cósmico único y no identificado todavía (Ehman, 1997).

Desde principios de los años 60 la exploración espacial había incluido el envío de sondas para el estudio de los planetas del sistema solar, pero no específicamente para la búsqueda de vida en ellos. De entre los posibles candidatos para albergar vida, por primitiva que esta sea, destaca por su interés y proximidad el planeta Marte, y a éste se han dedicado los mayores esfuerzos con este propósito. La primera sonda que logró posarse con éxito en ese planeta, el Viking I, lo hizo el 20 de Julio de 1976, exactamente siete años después del primer viaje tripulado a la Luna. Esta sonda, como su gemela, el Viking II, que llegó a Marte 45 días más tarde, tenía el objetivo específico de encontrar señales de vida en el planeta rojo, o descartar de manera clara la existencia de ésta.

Las misiones Viking constaban, como sucedería después con la mayoría de las misiones posteriores, con sendos módulos orbitales, que permanecieron girando en torno al planeta y fotografiando su superficie, y módulos de aterrizaje o *landers*, que tomaron muestras del suelo marciano y las analizaron. Las fotografías proporcionadas por los módulos orbitales aportaron nuevas pruebas de la existencia y la actividad del agua en la superficie marciana, al menos en el pasado: hundimientos del suelo debidos a la fusión del permafrost, redes de escorrentía y abanicos fluviales se observaron en diversos puntos. La existencia de agua era un dato muy importante de cara a sustentar la hipótesis de una posible vida marciana, pero los datos derivados de los análisis del suelo no fueron tan positivos. Tres de los cuatro experimentos diseñados para estos análisis arrojaron de inmediato resultados positivos en relación

con la presencia de microorganismos en el suelo de Marte. El cuarto experimento dio un resultado negativo. Pero los tres experimentos positivos encontraron pronto explicaciones mejores en procesos que no requerían la presencia de microorganismos, y aunque la conclusión se debatió durante algún tiempo, hoy el consenso general es que no pudo establecerse la existencia de vida en el planeta (AGU, 1977).

Por supuesto el tema no quedó cerrado con las misiones Viking; es más, fue precisamente el módulo orbital de Viking I el que obtuvo una fotografía famosa de la superficie de Marte, fotografía que alimentó durante un tiempo las esperanzas de aquellos que seguían estando convencidos de que en Marte había vida, y vida inteligente. Se trataba de una fotografía de la zona llamada *Cydonia Regio*, una llanura salpicada de montículos, uno de los cuales tenía el aspecto de una cara humana. Como pasaron bastantes años entre las misiones Viking y los envíos ulteriores de sondas al planeta rojo, el error se mantuvo con mayor o menor fortuna hasta bien entrada la década de los 90. Las fotografías mejores del Mars Global Surveyor, demostraron en el año 2000 que el montículo era una formación totalmente natural (Carlotto, 1988).

Las misiones de observación y escucha, por supuesto, se efectuaban en todo el universo, y especialmente en nuestra galaxia, pero las misiones de exploración debían limitarse, como es de esperar, al sistema solar. Hacia finales de la década de los 70 se habían enviado sondas de exploración a todos los planteas del sistema solar salvo a Plutón, pero algunas de ellas no habían llegado todavía a su destino. Evidentemente, no se contemplaba la exploración de otros sistemas planetarios, que ni siquiera se sabía si existían, pero que se daban por supuestos. Si moverse a través del sistema solar implica viajes de 10 a 15 años, ¿cómo atreverse a pensar siquiera en un viaje a la estrella más próxima, que duraría como poco 270000 años?

Sin embargo, tan temprano como en 1978 la Sociedad Interplanetaria Británica se atrevió a elaborar el proyecto de un viaje no tripulado a una estrella próxima, la llamada Estrella de Barnard, o Estrella Proyectil. Se trata de una enana roja, la más cercana al Sol, exceptuando el sistema triple de α Centauri, pues su distancia es de 5.98 años luz.

Además de por su proximidad, esta estrella fue seleccionada porque al comienzo de la elaboración del proyecto algunos astrónomos pretendían haber deducido la existencia de hasta tres planetas en torno a ella. Esta suposición se reveló después equivocada, pero los cálculos del proyecto son aplicables a cualquier estrella aislada y situada a menos de 10 años luz, tenga o no planetas.

Lo notable del proyecto es el grado de minuciosidad y precisión con que se elaboró, a pesar de que dependía de materiales y tecnologías que no se conocían o

no estaban desarrolladas en aquel momento, y que, en algunos casos no lo estarán hasta dentro de siglos. El viaje sería solo de ida, y llevaría unos cincuenta años a una velocidad aproximada de 36000 km/seg, inalcanzable actualmente. La nave (*Dédalo*) sería una estructura gigantesca, de 190 m de altura y una masa de 150000 toneladas. No podría despegar de la Tierra y debería construirse y cargarse de combustible en órbita, preferentemente en torno a un satélite de Júpiter. El sistema de propulsión sería nuclear, mediante continuas explosiones termonucleares de pequeñas esferas congeladas de deuterio y helio 3, isótopos que se obtendrían ambos de la atmósfera de Júpiter. Factible sobre el papel, lo cierto es que el proyecto está fuera del alcance de las tecnologías actuales superando con mucho el grado de utopía de las colonias espaciales de O'Neil, pero la lectura del proyecto es un ejercicio fascinante, aunque no fácil, para cualquier lector interesado en la colonización de la galaxia y una prueba de que el viaje interestelar es concebible para una civilización algo más avanzada que la nuestra (Martin, 1978).

Volviendo al sistema solar, es muy probable que si hay vida microbiana fuera de la Tierra se limite al planeta Marte. Pero en otros astros, especialmente en algunos satélites de gran tamaño, como Europa, Ganimedes, Calisto, Titán y Encélado, puede haber además de agua (generalmente en forma de hielo) numerosos compuestos orgánicos esenciales para la vida que conocemos. La existencia de diversos hidrocarburos, parte de ellos en forma líquida, consta para Titán, el mayor satélite de Saturno, aunque este dato se ignoraba en las últimas décadas del siglo XX¹³. Si se sabía, en cambio, que las moléculas orgánicas eran comunes en el universo, primero porque se habían hallado en algunos meteoritos caídos sobre nuestro planeta, y en segundo lugar, porque el análisis espectroscópico de las nubes interestelares había revelado desde 1937 diversas sustancias de este tipo. Hoy se conocen más de 200 moléculas orgánicas en el espacio, algunas de las cuales, como el alcohol etílico, la acetona común, el acetaldehído o la urea, son comunes en los seres vivos de nuestro planeta (Ruaud et al., 2015).

La química orgánica interestelar y planetaria es una de las ramas de la astrobiología que más se ha cultivado en las últimas décadas, debido a su relación con el origen espontáneo de la vida. Aunque este problema dista de haberse resuelto por completo en la propia Tierra, el conocimiento de los hipotéticos mecanismos de la abiogénesis es fundamental para comprender un posible origen similar de la vida en otros planetas. De hecho muchos científicos postulan que dadas las condiciones adecuadas, que no son muy estrictas, la vida debe aparecer inevitablemente en

¹³ Titán es el único satélite del sistema solar que tiene atmósfera, y una atmósfera más densa que la de la Tierra. Está compuesta principalmente de nitrógeno, con un 15 % de hidrocarburos, principalmente metano. En Titán llueve metano líquido y los ríos y lagos son de metano y etano, según los datos de la misión Cassini-Huygens.

cualquier planeta. La abundancia de moléculas orgánicas y prebióticas en el universo apoya, por supuesto, las teorías de Oparin y Haldane acerca del origen de la vida, pero aún apoya en mayor grado la teoría de la panspermia de Arrhenius.

Junto con la bioquímica espacial, la rama de la astrobiología que más desarrollo ha cobrado es la microbiología de ambientes extremos, quizás porque puede estudiarse en la Tierra y someterse a procedimientos experimentales en laboratorio. Numerosos descubrimientos de microorganismos hallados en condiciones ambientales extremas en nuestro planeta han llevado a pensar que organismos similares podrían existir también en otros planetas, por duras que sean sus condiciones. Las bacterias anaerobias, conocidas desde hace tiempo, no necesitan oxígeno para subsistir y para algunas de ellas el oxígeno es, de hecho, un gas tóxico, por lo que permanecen confinadas en espacios separados de la atmósfera. No se crea que esta propiedad se limite a las bacterias, pues la ostentan asimismo diversos organismos animales parásitos o saprofitos. Incluso existen animales pluricelulares que no pueden utilizar el oxígeno porque sus células carecen de mitocondrias y por tanto de respiración celular (Danovaro et al., 2010). Otros animales pueden resistir temperaturas de 200 °C o de -150 °C, salinidades muy altas, un vacío casi completo o una presión cientos de veces superior a la atmosférica, niveles de radiación muy elevados, etc¹⁴.

Pero realmente, el reino de los organismos llamados extremófilos es el de las bacterias, y especialmente las bacterias primitivas, o arqueobacterias. Es entre ellas donde se encuentran los habitantes de la llamada “biosfera profunda” incrustada a kilómetros de profundidad en las rocas de la corteza terrestre tanto en las tierras emergidas como en el fondo del mar, una biosfera que se mantiene separada de la nuestra y del motor solar de la vida, quizás desde los tiempos de los primeros organismos vivos (Edwards et al., 2012). Y también las eubacterias, más evolucionadas, cuentan con especies resistentes a condiciones extremas: altas temperaturas (como en las fuentes termales de muchas zonas volcánicas), falta absoluta de agua (como en las colonias de algunas cianobacterias), acidez o alcalinidad muy fuertes (en efluentes de minería o lagos hipersalinos), intensa radiactividad (como la bacteria *Dinococcus radiodurans*, que puede vivir en el agua de refrigeración de los reactores nucleares), etc. Vale la pena mencionar que una bacteria tan común como *Streptococcus mitis*, comensal generalmente inofensivo de la boca humana, sobrevivió

¹⁴ Algunas especies de loricíferos, un tipo de animalillos del fondo marino descubiertos a finales del siglo pasado, carecen de mitocondrias en sus células; en cuanto a los animales capaces de tal resistencia a los agentes indicados, se trata de algunos tardígrados, animalillos microscópicos que viven sobre musgos y líquenes. De hecho ciertos tardígrados han sobrevivido algún tiempo a las duras condiciones del vacío espacial (Horikawa, 2011).

durante más de dos años en un medio absolutamente distinto del suyo propio, y nada acogedor, por cierto, la superficie lunar (Mitchell & Ellis, 1971)¹⁵

En 1973 el físico franco-australiano Brandon Carter formuló el llamado principio antrópico, que ha influido de manera profunda en el pensamiento cosmológico y en consecuencia en la astrobiología posteriores. Este principio establece que el universo está adaptado para el hombre, porque de lo contrario éste no podría existir. Carter discutió tres paradigmas cosmológicos, que implicaban respectivamente la ausencia total de un principio antrópico, la existencia de un principio antrópico débil y la existencia de un principio antrópico fuerte (Carter, 1973). La formulación débil del principio antrópico postula que nuestra situación en el universo es necesariamente privilegiada, en la medida en que éste debe ser compatible con nuestra existencia como observadores. La formulación fuerte, más estricta, postula que el universo, y por lo tanto los parámetros fundamentales de los que éste depende, deben ser tales que posibiliten la existencia de observadores en algún momento. Parafraseando a Descartes, *"Cogito ergo mundus talis est."* Existen numerosas variantes del principio antrópico, las más fuertes de las cuales casi equivalen al Diseño Inteligente: *"El universo ha sido hecho para que el hombre pudiera habitarlo"*. Por este motivo tales variantes son objeto de fuertes críticas en el mundo científico y aún las variantes débiles son miradas con recelo. En la medida en que el principio antrópico se opone al principio copernicano de mediocridad es lógico que despierte una cierta polémica en el campo astrobiológico, pues de acuerdo con este principio la Tierra y por ende la humanidad serían realmente singulares, y la existencia de civilizaciones extraterrestres poco probable.

La última década del siglo XX ha sido la más importante para el desarrollo de la astrobiología. Esta ciencia ha crecido y ha sido incluida como ciencia de pleno derecho entre las demás disciplinas científicas, han aparecido distintas revistas científicas dedicadas a este tema, se han creado cátedras e institutos de investigación sobre astrobiología, y los proyectos de investigación relacionados, si bien con magra financiación, se han multiplicado. Pero el punto de inflexión más importante ha sido la obtención de una respuesta clara a una pregunta que subyace en todas las discusiones sobre el tema. Como es sabido, de la ecuación de Drake sólo se conocía, y no con precisión, el primer factor, la tasa de nacimiento de estrellas en nuestra galaxia. Del segundo factor, proporción de estrellas con planetas, sólo se tenían conjeturas. Ni siquiera se sabía si existían realmente planetas fuera de nuestro sistema solar. Pues bien, durante la década de los 90 se han descubierto los primeros planetas

¹⁵ El caso de la bacteria lunar, aunque generalmente aceptado hasta tiempos recientes, y considerado por algunas personas, como Alan Bean, comandante de la misión Apolo XII, como el resultado más importante del programa Apolo, ha sido discutido, y pudiera ser que la bacteria en cuestión no estuviera nunca en la Luna, sino que procediese de una contaminación posterior al viaje lunar.

extrasolares, lo que permite no sólo afirmar su existencia sino calcular su proporción, aunque esto último de manera insegura.

Ya se ha comentado que supuestas detecciones de planetas extrasolares se habían producido en décadas anteriores (Van de Kamp, 1963) pero más tarde se demostró que se trataba de observaciones erróneas. Sin embargo en 1994 se detectó con seguridad el primer planeta que gira en torno a otra estrella. Se trata de un gigante de gas 150 veces mayor que la Tierra, que gira en torno a la estrella 51 Pegasi (hoy rebautizada como *Helvetios*), a 51 años luz de la Tierra¹⁶. El descubrimiento se efectuó en un observatorio francés y con instrumentos que no son los mejores del mundo, analizando las variaciones de velocidad radial de la estrella (Mayor y Queluz, 1995).

Pronto empezaron a descubrirse más planetas extrasolares en torno a otros astros. Entre 1995 y 2010 se descubrieron centenares de planetas de este tipo en distintas regiones del cielo y en diferentes observatorios del mundo. Hasta el final del siglo XX se habían detectado ya 42 planetas extrasolares, pero la cosecha se iba a incrementar notablemente en el siglo XXI, como se comentará más adelante. Debido a las características del método de detección, estos primeros planetas descubiertos eran todos gigantes de gas, de tamaños comparables con los de Júpiter o Saturno, y aún mayores (Butler et al., 2006).

El optimismo astrobiológico disparado por el hallazgo de los primeros planetas extrasolares se vio acrecentado además por el supuesto hallazgo de microfósiles en una roca procedente de Marte. Se trata de un fragmento de meteorito hallado en 1984 al pie de las colinas llamadas Alan Hills, en la Antártida, de lo que deriva su nombre oficial (ALH84001). Ese fragmento habría sido expulsado de Marte por un choque asteroidal hace unos 17 millones de años, y habría caído a la Tierra hace unos 13000 años. Un estudio del meteorito, publicado en 1996, descubrió en él unas estructuras que parecían bacterias fosilizadas y que apoyarían la idea de que el planeta Marte albergó o podía albergar aún vida bacteriana (McKay et al., 1996). La conclusión era tan sensacional que ocupó enseguida los titulares de casi todos los medios de comunicación, e incluso el presidente de Estados Unidos, Bill Clinton, consideró que su importancia le obligaba a convocar una rueda de prensa y dar al mundo oficialmente la noticia. Sin embargo estas conclusiones pronto fueron discutidas y refutadas, reduciéndose los microfósiles a formaciones minerales sin ninguna relación con la vida. Este es el consenso casi general hoy en día (García Ruiz, 1999).

¹⁶ En realidad este no fue el primer planeta extrasolar descubierto. En 1992 se detectaron dos planetas girando en torno a un pulsar lejano, a 2300 años luz de la Tierra. Como los pulsares son estrellas de neutrones, originadas por el colapso y explosión de estrellas masivas, sus sistemas planetarios son muy diferentes de los que hay en estrellas ordinarias y por eso suele mencionarse 51 Peg b como el primer planeta extrasolar conocido.

Por cierto, el autor que se acaba de citar, Juan Manuel García Ruiz, es un investigador español perteneciente al CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas). Este dato podría hacer pensar que la astrobiología tiene un cierto peso en la ciencia española, lo cual es cierto, aunque el autor en cuestión no se dedica a esa disciplina. El hecho es que desde 1999 España cuenta con un instituto de investigación en astrobiología, el Centro de Astrobiología, situado en Torrejón de Ardoz (Madrid). Este centro forma parte del CSIC y del INTA (Instituto de Técnica Aeroespacial), y es el primero de los dos centros extranjeros asociados al NASA Astrobiology Institute, de Estados Unidos, inaugurado sólo un año antes (el segundo centro asociado está en Australia), y de los doce centros en todo el mundo afiliados a la misma institución. Alberga un Departamento de Planetología y Habitabilidad Planetaria cuyas investigaciones se centran precisamente en los temas de que se ocupa este artículo. Con la creación de este centro y de los estudios universitarios de astrobiología, España se une a la corriente impulsada por la NASA desde su misma fundación a favor del establecimiento y desarrollo de las investigaciones astrobiológicas.

Tras las misiones de las sondas Viking en 1975, la exploración del planeta Marte sufrió un parón de más de veinte años, quizás por la falta de resultados positivos en cuanto al hallazgo de vida en las misiones previas. La interrupción duró hasta 1996, apenas cortada por las misiones Phobos (soviéticas) y Mars Observer (americana) que fracasaron. Cuatro misiones más fueron enviadas en el siglo XX, pero sólo una de ellas, Mars Global Surveyor, tuvo éxito, con un orbitador que estuvo siete años fotografiando la superficie del planeta y depositó en la superficie del planeta un módulo de aterrizaje con el primer robot motorizado (Sojourner) que exploró los alrededores del punto de llegada. Durante el siglo XXI trece misiones adicionales han sido enviadas al planeta rojo, pero sólo diez han tenido éxito, depositando cinco sondas de análisis en la superficie de Marte. Entre los hallazgos más importantes hasta el momento se cuentan el descubrimiento de hielo bajo la superficie del suelo, la detección de agua líquida ocasional y de rocas sedimentarias, y la observación de la primera nevada marciana, pero por ahora no se han encontrado rastros de vida, ni siquiera elemental (Portree, 2001).

Es necesario presentar ahora la llamada “hipótesis de la Tierra improbable”, o hipótesis de la Tierra especial, propuesta en el año 2000 por dos profesores de la Universidad de Washington, Peter Ward y Donald Brownlee (Ward & Brownlee, 2003). Según esta hipótesis, la combinación de circunstancias que han llevado a la aparición de vida inteligente en la Tierra es altamente improbable, y las inteligencias extraterrestres serían muy raras si las hay. Los autores de la HTE derivaron de ella la ecuación HTE, ya discutida en relación con las ecuaciones de Drake y de Dole. La HTE considera que la evolución en nuestro planeta ha requerido bastantes

acontecimientos improbables en el ámbito físico, cosmológico, geológico y biológico, tales como la formación de la Luna o el establecimiento de la tectónica de placas, además de otros que nos son aún desconocidos. Como es de esperar, esta idea ha tropezado con numerosas y severas críticas, pero también ha suscitado fervientes apoyos entre los científicos.

En nuestro siglo XXI ha seguido creciendo el optimismo respecto a la pluralidad de los mundos habitados por alguna forma de vida a causa del incremento en el número de exoplanetas detectados. A los 42 que se detectaron en la última década del siglo XX, todos ellos (salvo los planetas de pulsares) detectados mediante el método de análisis de las velocidades radiales, se sumaron casi 350 más en los 9 primeros años del siglo XXI, en su mayoría detectados también por ese método, pero algunos ya detectados por otros métodos (tránsito, imagen, microlensing, periodicidad, etc). El método más eficaz es el de tránsito, en el que se analiza la curva de luz de una estrella, que experimenta una ligerísima variación cuando un planeta pasa ante ella. Este es el método principal de detección empleado por el observatorio espacial Kepler.

El observatorio Kepler fue lanzado al espacio a finales del año 2009 y se situó en órbita planetaria alrededor del Sol. Incluye un telescopio espacial y fotómetros ultrasensibles, que permiten la detección de planetas en tránsito ante sus estrellas respectivas. El método de tránsito tiene muchas ventajas frente a los otros métodos de detección, pues permite no sólo estimar los datos orbitales y de masa que también proporciona el método de la velocidad radial, sino que además detecta planetas de tamaño terrestre (lo cual es muy difícil con otros métodos), en algunos casos permite la detección de atmósferas planetarias si las hay, e incluso pronto permitirá el análisis de tales atmósferas. Debido a su gran sensibilidad no es de extrañar que a partir de 2010 el número de planetas extrasolares detectados y confirmados haya crecido de forma impresionante. A mediados de 2017 el número total de tales planetas superaba los 3500, girando en torno a más de 2600 estrellas. Es, pues evidente, que también es posible tener una estima del segundo factor de la ecuación de Drake: se supone que entre el 5 y el 10 % de las estrellas tienen planetas a su alrededor.

Es más, ahora conocemos también datos de la órbita y de la masa de tales planetas y podemos calcular el porcentaje de los que se hallan en la exosfera de su estrella, es decir a una distancia de la misma que debería garantizar la existencia de agua líquida, el tercer factor de la ecuación de Drake. Es decir, conocemos la proporción de planetas teóricamente compatibles con la vida. Actualmente se conocen 21 planetas de tamaño terrestre y cuya distancia a su sol es moderada, y su hallazgo se ha vendido en los medios de comunicación como el descubrimiento de nuevas Tierras. Trece de ellos se relacionan en la tabla adjunta.

Estrella	Tipo	Año	Masa
Proxima Centauri b	M6Ve	0.03	≥ 1.3
Gliese 667 C-c	M3V	008	≥ 3.8
Kepler 442b	K?V	0.307	8.2
Kepler 452b	G2V	1.05	19.8
Wolf 1061c	M3V	0.05	≥ 4.3
Kepler 1229b	M?V	0.238	9.8
Kapteyn b	sdM1	0.561	≥ 4.8
Kepler 62f	K2V	0.732	10.2
Kepler 186f	M1V	0356	4.7
Estrella de Luyten b	M3.5V	0.05	3.15
Trappist 1e	M8V	0.017	0.6
Trappist 1f	M8V	0025	0.7
Trappist 1g	M8V	0.034	1.3

Esta tabla se basa en exigencias estrictas sobre la habitabilidad de un planeta. Si las exigencias son algo más relajadas el número de planetas detectados que podrían ser habitables añade 30 candidatos más, para un total de 43. Ahora bien, hay que señalar que, aunque calificada de pesimista, la tabla anterior es en realidad demasiado optimista, pues permite masas muy elevadas (las indicadas en la tabla son en realidad masas máximas) y años muy cortos, lo que implica una distancia muy baja a la estrella correspondiente. Por otra parte hay que señalar que el telescopio Kepler, del que procede la detección de la mayoría de los planetas de tipo terrestre, ha limitado sus observaciones a una pequeña región del cielo en la constelación del Cisne, hacia la que está enfocado de modo permanente, y que los números resultantes de sus observaciones deberían multiplicarse al menos por 100 si se pretende estimar el total de objetos en el cielo (Petigura et al., 2013, De Weck et al., 2002)

En definitiva, existen en el universo miles de planetas comparables a la Tierra y en los cuales podría haber surgido la vida, lo cual no quiere decir, sin embargo, que haya surgido realmente en ellos, y mucho menos la vida inteligente. Aún menos segura es la comprobación de su existencia. Por supuesto, mediante análisis espec-

troscópicos muy sensibles podrá comprobarse la existencia de atmósferas con oxígeno u otros gases relacionados con la vida, pero una comprobación experimental directa exige un viaje, tripulado o no, y por ahora los viajes a las estrellas quedan fuera del alcance de nuestra tecnología.

Entonces, ¿Qué nos depara el futuro? ¿Podremos contestar por fin a las preguntas básicas de la astrobiología, es decir, sobre la existencia de vida extraterrestre, sobre la existencia de inteligencias extraterrestres o sobre la posibilidad de comunicarnos con dichas inteligencias? Veamos cuales son, en relación con estas preguntas, las posibilidades contempladas para el futuro inmediato.

Con relación a los planetas extrasolares una serie de misiones sucesivas mejorará notablemente nuestro conocimiento de los mismos. Por de pronto el Telescopio Espacial James Webb, cuya puesta en órbita está prevista para 2018, sustituirá con ventaja a los actuales telescopios empleados en la detección de planetas: HUBBLE, KEPLER, COROT, etc. Se espera que pueda determinar la composición de las atmósferas de los planetas de tipo terrestre ya descubiertos y de los muchos miles de planetas adicionales de este tipo que descubrirá. La Agencia Espacial Europea prepara un proyecto similar pero restringido a la búsqueda y análisis de planetas de tipo terrestre, el Proyecto PLATO, cuyo telescopio será lanzado en 2024. Por su parte la NASA afirma que antes de 2040, y quizás antes de 2030, tendrá pruebas incontestables de la existencia de vida en alguno de los planetas extrasolares.

En cuanto a las exploraciones en el sistema solar se centrarán, como es de esperar, en el planeta Marte. La misión Europa Clipper, de la Agencia Espacial Europea se plantea el envío de una sonda a la superficie de Europa, uno de los satélites de Júpiter. Como es sabido, este satélite, algo menor que la Luna, está cubierto de una capa de hielo de quizás 100 km de espesor, aunque hay planetólogos que sostienen que esa capa no sobrepasa los 10 km de espesor, y bajo ella existe un inmenso océano líquido que recubre todo el planeta. La sonda Europa Clipper pretende dilucidar la estructura del satélite y averiguar, en caso de que exista en él un océano de agua líquida, si puede albergar vida (Brown, 2015).

Hasta el momento cinco países, además de la Agencia Espacial Europea han enviado misiones a Marte, Estados Unidos, Unión Soviética/Rusia, Japón, China e India, pero las de China y Japón fracasaron. En los años próximos continuarán las misiones, con varias de ellas cada dos años entre 2018 y 2030. Todas las misiones serán no tripuladas, y en el caso de las de Estados Unidos todas incluirán módulos de aterrizaje que intentarán buscar vida en el subsuelo marciano. En realidad ya se están proyectando misiones tripuladas a Marte, la primera de las cuales se anuncia para 2030. Para esta empresa se preparan, no solamente los países con experiencia en el espacio, sino también empresas privadas (Nolan, 2008). Y sin duda antes de la

fecha indicada se habrán efectuado nuevas exploraciones de los satélites de Júpiter y Saturno, en los cuales podrían encontrarse también océanos de agua líquida bajo la superficie helada (Friedman, 2015).

El descubrimiento de planetas más o menos comparables a la Tierra fuera del sistema solar constituye hasta ahora el mayor avance científico en el ámbito de la astrobiología. Tanto es así que ha llevado a la Iglesia Católica a plantearse el problema en los términos de los conocimientos actuales. Por supuesto, no lo ha hecho aún de forma oficial, pero ya son bastantes los eclesiásticos que se han pronunciado sobre este tema, generalmente en sentido positivo, aunque no faltan las voces discrepantes. El primero de ellos, muy precoz, fue Pierre Teilhard de Chardin, como se ha comentado ya unos párrafos atrás, quien lo hizo en 1953, antes de que se descubriesen los primeros exoplanetas, antes del nacimiento de la astrobiología e incluso antes del comienzo de la exploración espacial. No ha encontrado seguidores (ni opositores) hasta el siglo XXI, y entre los primeros destacan, naturalmente, los astrónomos. El jesuita George Coyne, director por entonces del Observatorio Astronómico Vaticano, aseguró en 2002 que consideraba una locura el asegurar que el hombre se halla solo en el universo (ABC, 2002). Opiniones similares sustentaron los directores subsiguientes de la misma institución, como José Gabriel Funes, también jesuita. La idea de una aceptación de la existencia de habitantes extraterrestres inteligentes se ha ido también difundiendo en otras órdenes religiosas y en algún caso ha conducido a una completa revisión de la teología de la Redención (Delio, 2007). Finalmente en Noviembre de 2009 la Academia Pontificia de Ciencias organizó una reunión monográfica sobre el tema de la astrobiología, en la que 30 especialistas de todo el mundo debatieron el tema de la vida extraterrestre, con opiniones generalmente favorables a la existencia de la misma. Varias de esas opiniones fueron emitidas por especialistas católicos, entre ellos el propio padre Funes (Lunine y Funes, 2009). Ningún pontífice ha aludido directamente al tema, pero al parecer el Papa Francisco lo hizo indirectamente en una misa matinal celebrada en Roma en Mayo de 2014 (cita no comprobada, en Giangravè, 2017), al decir que si un extraterrestre apareciera en la Plaza de San Pedro solicitando el bautismo, la iglesia le abriría sus puertas sin reparo. Otra cita del mismo pontífice, ésta confirmada, procede de una alocución leída ante la Academia Pontificia de Ciencias en 2014, pero no se refiere a los seres inteligentes de otros mundos, aunque alude a la existencia de vida en todo el Universo (Francisco I, .2014).

No se puede descartar todavía que la humanidad albergue a la única inteligencia del Universo. Si ello fuera así todos los astros salvo la Tierra carecerían de civilización, pero no para siempre. Aún en ese caso la humanidad podría colonizar lentamente mundos cada vez más lejanos, comenzando, naturalmente por los del sistema solar. Ya hemos visto que este proceso de colonización se ha puesto en

marcha, y que son varios los planetas y satélites de nuestro sistema planetario en los que se han depositado artefactos humanos, señales de nuestra existencia, y un astro, la Luna, que ha albergado breve y pasajera a seres humanos.

La expansión de la humanidad por el espacio sideral debe desarrollarse lógicamente en siete etapas progresivas. La primera es la de la observación, o exploración a distancia, activa desde el comienzo de la ciencia y que ha avanzado hasta límites insospechados con el desarrollo de los telescopios y de otros instrumentos de observación y medida. La segunda es la de la exploración automática, con instrumentos robóticos y laboratorios complejos que se colocan en el espacio o en otros astros para un estudio in situ. Esta etapa comenzó en 1957 con el lanzamiento del primer satélite artificial y en la actualidad abarca la mayor parte del sistema solar y un poco de su vecindad. La tercera etapa es la de la exploración humana, que comenzó en 1961 con el vuelo espacial de Yuri Gagarin y que por ahora sólo ha alcanzado la Luna y el espacio próximo a la Tierra. Sigue la etapa precolonizadora, en la que se instalan fuera de la Tierra agrupamientos humanos permanentes, etapa que no ha comenzado todavía a no ser que se considere iniciada con la Estación Espacial Internacional, que lleva ya once años habitada de forma continua.

Las etapas ulteriores de la expansión de la humanidad por el universo corresponden íntegramente al futuro y por lo tanto son hipotéticas. Consisten en la transformación de los hábitats que permita después una colonización estable y finalmente una expansión a partir de las nuevas colonias, que repita el proceso. Poco se puede decir de proyectos tan quiméricos, pero la transformación de los hábitats extraterrestres si que se ha planificado, al menos sobre el papel, lo suficiente como para poder decir algo de la misma.

La creación o transformación de hábitats adecuados para los seres humanos tiene dos vertientes, una la creación de colonias artificiales, que pueden situarse en la Tierra pero aisladas del resto de la biosfera, y en el espacio o sobre otros astros, también aisladas, como las colonias ya comentadas de Gerard O'Neil. La segunda vertiente es la modificación de las condiciones de un planeta o satélite para hacerlo habitable por el hombre, es decir, para otorgarle unas características similares a las de la Tierra. Por ello este segundo procedimiento recibe el nombre de terraformación, y al mismo se dedica el párrafo siguiente.

La terraformación implica la aplicación de la ingeniería a escala planetaria con el fin de transformar la atmósfera de otros mundos y hacerla respirable, además de darle la presión adecuada para que los humanos puedan vivir en su seno sin trajes o artefactos especiales. Del mismo modo implica la modificación de la hidrosfera para establecer un ciclo del agua similar al terrestre y para mantener la humedad atmosférica necesaria, la circulación de los ríos, los regímenes de vientos y corrientes, etc.

Por último implica también el diseño y el desarrollo de biosferas compatibles con la vida humana, e integradas por ecosistemas estables, dinámicos, interdependientes y de suficiente complejidad. Ya se echa de ver que los desafíos tecnológicos implicados en la terraformación de un planeta son descomunales, y quizás nunca lleguen a estar a nuestro alcance.

Varios programas razonablemente elaborados de terraformación se han preparado únicamente para el planeta Marte. Carl Sagan, el conocido astrónomo, hizo una propuesta simple para una etapa inicial de la terraformación de Venus mediante la siembra de algas aeroplanctónicas en la atmósfera de ese planeta (Sagan, 1961), pero era demasiado prematura pues se desconocían muchos detalles sobre dicha atmósfera. Otras propuestas posteriores son más completas, y en algún caso (Birch, 1991) podrían llevarse a cabo en un tiempo relativamente breve, de unos pocos siglos. Se ha trabajado mucho más para el planeta Marte, pero su posible concreción debe esperar a un eventual programa de aplicación directa, que puede tardar siglos en iniciarse, si es que se inicia.

La transformación de Marte en un mundo habitable debe comenzar con la provisión de una nueva atmósfera densa y respirable. En efecto, es la tenue atmósfera marciana, cuya presión es aproximadamente la centésima parte de la que hay en la Tierra, la responsable de la falta de agua líquida suficiente y de las gélidas temperaturas que generalmente reinan sobre el planeta. Los planes para el cambio atmosférico se basan en la introducción de plantas que pudieran utilizar el dióxido de carbono del aire, el aporte de cantidades masivas de agua, y el deshielo del permafrost de los polos. El proceso más rápido entre los discutidos para hacer el planeta habitable duraría unos 100000 años.

El tema cuenta con muchas más publicaciones que las disponibles para la terraformación de otros astros (Fogg, 1992, Zubrin, 1997, Berliner & McKay, 2017), y ha dado origen a documentales famosos, a varias novelas de ciencia ficción (p. ej. Robinson, 1993), y hasta a un elaborado poema épico de notable valor literario (Turner, 1988).

REFERENCIAS

- ABC, 07/01/2002, Actualidad: *Un astrónomo del Vaticano convencido de la existencia de vida extraterrestre.*
- American Geophysical Union: Flinn, E. A. (Editor), 1977 .- Scientific Results of the Viking Project. *J. Geophys. Research*, Vol. 82, nº 28, 720 pp
- Arrhenius, S., 1903, Die Verbreitung das Lebens im Weltenraum. *Umschau*, 7: 481-485
- Arrhenius, S., 1908, *Worlds in the Making: The Evolution of the Universe*, Ed. Harper & Sons, New York.
- Basalla, G., 2005.- *Civilized Life in the Universe : Scientists on Intelligent Extraterrestrials*, Oxford University Press, Oxford.
- Bastian, H. C., 1872.- *The beginnings of life: being some account of the nature, modes of origin and transformation of lower organisms*. Ed. Macmillan and Co., London, 1872.
- Beattie, J., 1786 .- *Evidences of the Chistian Religion ; Briefly and plainly stated*. Printed for W. Creech, Edinburgh.
- Bell, S. J., 1977 .- Little Green Men, White Dwarfs or Pulsars? *Annals of the New York Academy of Science*, vol. 302, pages 685-689.
- Berliner, A. J. & McKay, C. P., 2017 .- The Terraforming Timeline. *Lunar and Planetary Science* vol. 48, University of California Berkeley & NASA Ames Research Center.
- Billings, L., 2013 .- *Five Billion Years of Solitude: The Search for Life Among the Stars*. Current Ed., a member of Penguin Group, New York.
- Birch, P., 1991 .- Terraforming Venus quickly. *Journal of the British Interplanetary Society*, vol. 44 :157-167.
- Bond, P. R., 2017 .- *IHS Jane's Space Systems & Industry 2015-2016* 29th Revised Edition, London
- Bostrom, N., 2008 .- Where are they? Why i hope the search for extraterrestrial life finds nothing. *MIT Technology Review*, May/June issue pp. 72-77
- Brin, G. D. 1983 .- The Great Silence – The Controversy Concerning Extraterrestrial Intelligent Life. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*. 24 (3): 283–309
-

- Brown, D., 2014 .- *NASA Announces Mars 2020 Rover Payload to Explore the Red Planet as Never Before*. <https://www.nasa.gov/press/2014/july/nasa-announces-mars-2020-rover-payload-to-explore-the-red-planet-as-never-before>
- Butler, R.P., Wright, J.T., Marcy, G.W., Fischer, D. A., Vogt, S. S., Tinney, C. G., Jones, R. A., Carter, B. D., Johnson, J. A., McCarthy, C., & Penny, A. J., 2006 .- Catalog of Nearby Exoplanets. *The Astrophysical Journal*, Volume 646, Number 1
- Carlotto, M. J., 1988 .- Digital Imagery Analysis of Unusual Martian Surface Features *Applied Optics*, Vol. 27, No. 10
- Carter, B., 1974 .- Large number coincidences and the anthropic principle in cosmology In: *Confrontation of cosmological theories with observational data; Proceedings of the Symposium*, Krakow, Poland, September, 1973. Ed. Reidel Publishing Co., Dordrecht, :291-298.
- Chapman, A., 1991 .- A World in the Moon - Wilkins and his Lunar Voyage of 1640 *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, Vol. 32, nº 2
- Clark, J., 1998 .- *The UFO Book: Encyclopaedia of the Extraterrestrial*. Ed. Visible Ink, Canton, Mich., USA
- Clark J., 2005 .- *The UFO Encyclopaedia: The Phenomenon from the Beginning*. Ed. Omnigraphics, Detroit
- Cocconi, G. & Morrison, Ph., 1959 .- *Searching for interstellar communications*, Nature, vol. 184, no. 4690, pages 844- 846.
- Crawford, I., 2000 .- Where Are They? (Sidebar by Lepage, J.) *Scientific American*, July 2000.
- Crowe, M., 1986 .- *The Extraterrestrial Life Debate, 1750-1900*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- de Cusa, N., 2003 (1440).- *Acerca de la docta ignorancia*, Libro I. Introd. trad. y notas J. M. Machetta, y C. D'Amico. Ed. Biblos. Buenos Aires
- de Cusa, N., 2004 (1440).- *Acerca de la docta ignorancia*, Libro II. Introd. trad. y notas J. M. Machetta, y C. D'Amico. Ed. Biblos. Buenos Aires
- de Cusa, N., 2009 .- *Acerca de la docta ignorancia - Libro III..* Introd. Klaus Reinhardt. Trad. y notas Jorge Machetta y Ezequiel Ludueña. Editorial Biblos, Buenos Aires.

- Danovaro, R., Dell'Anno, A., Pusceddu, A., Gambi, C., Heiner, I., & Kristensen, R. M., 2011 .- The first metazoa living in permanently anoxic conditions. *BioMedCentral Biology* (2010), 8.
- Darling, D., 2001 .- Life Everywhere: The Maverick Science of Astrobiology. Basic Books/Perseus, New York.
- Del Prete, A. (Ed.), 2007 .- Préface. In Terrasson, J., *Traité de l'Infini Créé*. Ed. Champion, Paris
- Delio, I., 2007.- Christ and Extraterrestrial Life. *Theology and Science* 6: 249-265.
- Des Marais, D., Nuth III, J. A., Allamandola, L. J., Boss, A. P., Farmer, J. D., Hoehler, T. M., Jakosky, B. M., Meadows, V.S., Pohorille, A., Runnegar, B. & Spormann, A. M., 2008.- Focus Paper: The NASA Astrobiology Roadmap. *Astrobiology* Vol. 8, Num.4.
- Dole, S., 1964 .- *Planetas habitables*. Ed. Labor, Barcelona
- Drake, F.; Sobel, D., 1992 .- *Is Anyone Out There?*. Elacorte Press, New York.
- Edwards, K. J., Becker, K. & Colwell, F., 2012 .- The Deep, Dark Energy Biosphere: Intraterrestrial Life on Earth. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* Vol. 40 :551-568
- Ehman, J., 1997 .- *The Big Ear Wow! Signal: What We Know and Don't Know About It After 20 Years*. <http://www.bigear.org/wow20th.htm>
- Ferguson, J., Horrocks, J. & Patterson, R., 1809.- *Astronomy explained upon Sir Isaac Newton's Principles : and made easy to those who have not studied mathematics : to which are added, a plain method of finding the distances of all the planets from the sun, by the transit of Venus over the sun's disc, in the year 1761 : an account of Mr. Horrox's observation of the transit of Venus in the year 1639 : and, of the distances of all the planets from the sun, as deduced from observations of the transit in the year 1761*
- Mathew Carey Publ., Philadelphia.
- Firpo, L., 1993 .- *Il processo di Giordano Bruno*. Salerno Editore, Roma.
- Flammarion, C., 1880.- *Astronomie Populaire: Description Générale du Ciel*, Marpon et Flammarion Eds., Paris.
- Flammarion, C., 1884.- *Les Terres du Ciel : Voyage Astronomique sur les autres Mondes et description des conditions actuelles de la vie sur les diverses planètes du système solaire*, Marpon et Flammarion Eds., Paris

- Fogg, M. J., 1992 .- A Synergic Approach to Terraforming Mars. *J. British Interplanetary Society*, vol. 45 :315 – 329.
- Fontenelle, B. le B., 1990.- *Conversaciones acerca de la pluralidad de los mundos*, University of California Press, Berkeley.
- Francisco I Papa, 2014 .- Address of His Holiness Pope Francis on the occasion of the inauguration of the bust in honour of Pope Benedict XVI. *Plenary Session of the Pontifical Academy of Sciences*, 27/10/2014.
- Friedman, L., 2015 .- *Human Spaceflight: From Mars to the Stars*. The University of Arizona Press, Tucson.
- Garcia-Ruiz, J. M., 1999 .- Morphological behavior of inorganic precipitation systems – Instruments, Methods, and Missions for Astrobiology II. *SPIE Proceedings.*, 3755: 74
- Giangravè, C., 2017 .- *Can catholicism handle the discovery extraterrestrial life?* In: <https://cruxnow.com/global-church/2017/02/23/catholicism-handle-discovery-extraterrestrial-life/>
- Gray, R. H., 2016. *Scientific American Blog*, 29-Jan-2016. <https://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/the-fermi-paradox-is-not-fermi-s-and-it-is-not-a-paradox/>
- Grinspoon, D., *Lonely Planets: The Natural Philosophy of Alien Life*. New York: Harper-Collins Publishers, 2003.
- Haldane J (1928) The origin of life. *Rationalist Ann.* 148:3–10
- Halley, E., 1704.- *Astronomiae Cometicae Synopsis*, *Phil. Trans. R. Soc.* 1704 24 :64
- Hay, W., 1753 .- *Religio Philosophi, or the Principles of Morality and Christianity, illustrated from a View of the Universe and of Man's Situation in it*. Printed by R. & J. Dodiley, London, 1753,
- Heinlein, R., .- 1961 *Stranger in a strange land*. Ed. Putnam, New York
- Horikawa, D. D., 2011 .- Survival of Tardigrades in Extreme Environments: A Model Animal for Astrobiology. Cellular Origin, In: *Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology, Chapter Anoxia, BioMedCentral Biology*, 21. Ed. Springer
- Kepler, J., 1634 .- *Iohannes Kepleri Mathematici Olim Imperatorii Somnium Seu Opus Postumum De Astronomia Lunari*. Impressum partim Sagani Silessiorum, Absolutum Francofurti.
- Le Faure, G. et Graffigny, H., 1889-1896 .- *Aventures Extraordinaires*

- d'un Savant Russe* (4 vols.). Edinger Ed., Paris
- Lowell, P., 1895 .- *Mars*. Ed. Macmillan, Boston.
- Lowell, P., 1906 .- *Mars and its canals*. McMillan Co. Eds. New York
- Lowell, P., 1909 .- *Mars as an Abode of Life*, Macmillan Co. Eds., New York.
- Lunine, J. L. y Funes, J. G., 2007 .- Vita e Cosmo a rapporto. *L'Osservatore Romano*, 9/11/2009
- Marconi, G. 1919 .- Entrevista publicada por el New York Times el 20 de Enero, que nel periodista titula: *Radio to stars, Marconi's hope; Inventor' Says Waves of Ether Are Eternal and Can Reach Other Planets. Gets strange signals now. These, He Declares, Might Conceivably Have Proceeded from Other Worlds.*
- Martin, A. R. (Editor y Autor parcial) et. al. .- 1978. Project Daedalus: The final report on the BIS starship Studio. *J. British Interplanetary Society*, Supplement.
- Mayor, M. & Queloz, D., 1995 .- A Jupiter-mass companion to a solar-type star. *Nature* 378: 355 - 359.
- McKay, D. S.; Gibson Jr., E. K., et al. 1996 .- Search for Past Life on Mars: Possible Relic Biogenic Activity in Martian Meteorite ALH84001. *Science*. 273 (5277): 924-930.
- Menzel, D., 1953, *Flying Saucers*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- Metzler, J. (Ed.), 1991 .- Bula Sublimis Deus, in *America Pontificia primi saeculi evangelizationis, 1493-1592. Documenta Pontificia ex registris et minutis praesertim in archivo secreto Vaticano existentibus*, I. Libreria Editrice Vaticana, Città del Vaticano.
- Mitchell, F. J., & Ellis, W. L., 1971 .- Surveyor III: Bacterium isolated from lunar retrieved TV camera. In A.A. Levinson (Ed.). Proceedings of the second lunar science conference. MIT Press, Cambridge
- Mitchell, M., (Journal, 1857) In: *The Project Gutenberg EBook of Maria Mitchell: Life, Letters, and Journals* Release Date: November 21, 2003
- NASA, 2010 .- *Astrobiology: A History of Exobiology and Astrobiology at NASA*
- Nicollet, N., 1836.- *Grandes descubrimientos astronómicos hechos recientemente por Sir John Herschel en El Cabo De Buena Esperanza*. Impr. Ignacio Estivill, Madrid.
- Nolan, K., 2008, .- *Mars, A Cosmic Stepping Stone: Uncovering Humanity's Cosmic Context*. Ed. Copernicus Books, New York.
- O'Neil, G.K., 1979 .- *Ciudades del Espacio*. Ed. Bruguera, Barcelona