

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

DISCURSO INAUGURAL

DEL AÑO ACADÉMICO 1969-1970

LEIDO EN LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 19 DE NOVIEMBRE DE 1969

POR EL ACADEMICO NUMERARIO

EXCMO. SR. D. ANTONIO ROMANA, S. J.



M A D R I D
DOMICILIO DE LA ACADEMIA:
VALVERDE, 22.—TELÉFONO 221-25-29
1 9 6 9

Depósito Legal: M. 24.096.-1969

TALLERES GRAFICOS VDA. DE C. BERMEJO.—J. GARCIA MORATO, 122.—MADRID

EL PROBLEMA DE LA VIDA FUERA DE LA TIERRA

La posibilidad de la existencia de vida fuera de la Tierra ha sido siempre un tópico que ha excitado la curiosidad humana. Así, por ejemplo, incluso en el siglo VIII a. C. decía Hesíodo en su poema *Los trabajos y los días* describiendo la creación del Universo : «Otro mundo superior hizo Dios, que los hombres llamamos Luna y divina Selene ; allí hay ciudades, montes y amplios tem-plos.» Y más cerca de nosotros Fontenelle en el siglo XVII y Flammarion en el XIX hicieron popular en sus obras la idea de la pluralidad de los mundos habitados. Sabido es que Schiaparelli, una vez hubo descubierto en Marte sus discutidos «canales», cada vez se afirmó más en la teoría, formulada por primera vez por Lowell, de que eran obra de seres inteligentes ; y no faltó quien sostuviese que eran claro indicio del avanzado grado de cultura alcanzado por sus habitantes y aun quisiese deducir de ellos su tipo de civilización y su forma de gobierno... Sin duda ello parecerá un récord de imaginación ; pues bien, quizás lo supera la afirmación que Opik atribuye a William Herschell de que el interior del Sol es relativamente frío y apto para la vida y que las manchas solares son orificios de la atmósfera incandescente que permiten ver el interior más templado del astro-rey (!)...

Hoy día, en los albores de la era espacial y más particularmente cuando la Humanidad parece estar ya entrando resueltamente en ella con el desembarco de los primeros hombres en la Luna, no es de maravillar que el asunto haya cobrado más actualidad que nunca y ésta no se manifieste solamente en las publicaciones de ciencia-ficción y en la pululación en tan diversas re-

giones de platillos volantes, U. F. O. S., O. V. N. I. S. o como quiera llamárseles. Son muy numerosas las investigaciones emprendidas con toda seriedad sobre la constitución de las atmósferas y superficies planetarias, precaución natural y obligada desde el momento en que se está pensando en vuelos tripulados a dichos astros. Así por no recordar sino algunos datos, el grupo de trabajo V, de la Comisión Internacional de Investigación del Espacio (COSPAR) está enteramente consagrado a los problemas de la vida extraterrestre; la Academia Internacional de Astronáutica y la Federación Astronáutica Internacional le dedican especial atención tanto en las sesiones generales como en los simposios particulares de sus asambleas anuales; numerosos artículos sobre la materia van apareciendo en los volúmenes de *Astronautica Acta* y le están enteramente consagrados los de *Life Sciences and Space Research*. Ciertamente que muchas veces el problema directamente tratado se refiere a las condiciones de vida en que se tendrán que desenvolver los astronautas del futuro; pero ya se ve lo íntimamente ligado que está con la existencia de vida fuera de nuestro globo, y de aquí que a esto tiendan directamente muchos de los experimentos ideados. En 1964 publicaba un interesante trabajo sobre *Los supuestos orígenes de la vida* en las páginas de nuestra Revista el ilustre académico D. Obdulio Fernández, y uno de los aspectos que examinaba era el «Origen extraterrestre de la vida». Ocupaciones apremiantes e ineludibles me impidieron colaborar en el número extraordinario con que nuestra Academia quiso honrar su medio siglo de fecunda y ejemplar carrera científica en su seno, caso único en la historia de nuestra Corporación. Por esto, al entrar en materia, complementaria de la que él entonces expuso, le ruego acepte esta aportación como respetuoso y cálido homenaje, no por lo tardío menos leal y sincero. Por lo demás ni el tiempo de que disponemos ni la bibliografía a nuestro alcance nos permite abrigar la ilusión de hacer un trabajo exhaustivo, sobre todo si se considera que el número de publicaciones sobre la materia crece a ritmo acelerado. Pero sí creemos que nuestra contribución puede ser a lo menos indicativa de las diversas sendas que está siguiendo actualmente la investigación en este campo y dar una vista pa-

norámica de los principales resultados conseguidos hasta la fecha ; más aún, en algunos aspectos, creemos también poder llegar a insinuar con bastante probabilidad de acierto lo que cabe esperar en el futuro.

Ante todo es preciso advértir que cuando hablamos de vida extraterrestre nos referimos exclusivamente a la posibilidad de vida como la que conocemos en la Tierra ; tratar de la posibilidad de seres cuyo metabolismo vital fuese enteramente distinto sería perder el tiempo. Los autores medievales soñaron en salamandras, habitantes del fuego, como las aves lo son del aire y los peces del mar, o en dragones alados y bicéfalos. Por tal camino cualquier afirmación es posible, pero perfectamente ajena al dominio de la Ciencia, como tampoco nos parece científica toda elucubración sobre procesos vitales en que el silicio desempeñaría el papel del carbono ; como sus compuestos son más resistentes al calor (el cuarzo, dióxido de silicio, se funde a $+1.700^{\circ}\text{C}$, en tanto que el dióxido de carbono lo hace a -57°C y a la temperatura ordinaria está en estado gaseoso), se ha sugerido a veces que los compuestos de silicio podrían formar organismos en la lava fundida y que podría haber vida con un metabolismo basado en el silicio en el interior de los volcanes o en la superficie de los planetas más cálidos, de manera que tales vivientes ígneos pereciesen al producirse la solidificación. Como hace notar Opik, tan fantásticas sugerencias tienen que ser rechazadas, porque los débiles saltos «orgánicos» del átomo de silicio, que no son más intensos que los de sus correspondientes del carbono, no son viables a estas altas temperaturas ; las moléculas «orgánicas» de silicio son entonces inestables y quedan inmediatamente destruidas, en tanto que a temperaturas más bajas sus compuestos están helados y «sin vida». Pero incluso tratándose de vida superior creemos que hemos de pensar también en un tipo de vida sustancialmente igual a la humana. Y la razón es sencilla. La espectroscopia nos muestra que los elementos en todo el Universo son los mismos ; podrá variar de un punto a otro su abundancia relativa ; pero la materia es la misma en todas partes. Además las leyes de la Física tienen asimismo valor universal, luego la consecuencia lógica parece ser que, si la

vida ha aparecido en muchas partes del Cosmos, lo haya hecho en circunstancias o idénticas o muy parecidas y que la evolución a que se haya visto luego sometida se haya realizado en las mismas condiciones en todos los puntos en que haya tenido lugar.

Este estudio se puede realizar por dos caminos distintos, que no sólo no se excluyen, sino que se complementan. El primero, la observación: ¿hay algún dato experimental que suministre por lo menos serios indicios de la existencia de vida en otros astros? Y luego, el raciocinio deductivo: partiendo de las leyes conocidas de la Física y la Biología y en particular del modo como en el Cosmos se realiza la evolución tanto en el mundo orgánico como en el anorgánico, ¿qué probabilidad hay de que en otros planetas hayan tenido lugar procesos como los que en el nuestro han llevado a la eclosión y desarrollo de la vida? Y aun esto último se puede abordar con dos concepciones enteramente distintas: de un modo puramente mecanicista, a base del juego estricto de las leyes físico-químicas y biológicas y el cálculo de probabilidades, o dando también cabida al factor teleológico. Según los astros de que se trate será aplicable uno u otro de los procedimientos; en nuestro sistema planetario y aun quizás en sus inmediaciones tiene sentido pensar en observaciones y hasta experimentos; más allá y sobre todo si salimos de nuestra galaxia no parece que quepa otro recurso que el puramente discursivo, naturalmente apoyado en cuantos datos se van adquiriendo sobre los distintos cuerpos celestes. Examinaremos primero el caso de la vida en general y luego el de la vida de seres inteligentes.

* * *

Siempre nos había parecido evidente que no podía haber vida alguna en la Luna; su carencia de atmósfera y los fuertes cambios de temperatura a que se ve sometida su superficie de resultas de la lentitud de su rotación no dudábamos que la excluían totalmente. La reciente hazaña del «Apolo XI» ha comenzado a procurar una confirmación experimental directa de dicho punto de vista, aunque es preciso reconocer que, como las muestras traídas de nuestro

satélite proceden todas de un solo punto del mismo, no es posible considerar lo que de ellas se deduzca como demostrativo de las condiciones de la totalidad del astro: constituirá ciertamente una fuerte presunción, pero en modo alguno una prueba apodíctica. Como consecuencia del primer análisis de los materiales lunares llevado a cabo en el Laboratorio de Recepción Lunar del Centro Espacial de Vuelos Tripulados de Houston, parece poderse afirmar que no hay en la Luna rastro alguno de vida, ni actual ni fosilizada; los debilísimos indicios de materia orgánica que se creyó haber hallado en los primeros momentos en alguna de las muestras se ha visto luego que con toda seguridad se debían a contaminaciones de manipulación, pues no obstante las precauciones adoptadas fue imposible evitar algunos escapes de gases en el laboratorio, y en el mismo momento de posarse el módulo lunar tuvo que desprender gases que pudieron afectar las rocas circundantes. Más aún, según el Dr. Robin Brett no hay el menor indicio de haber habido agua en nuestro satélite desde la época de su formación, y el Dr. Paul Gert, de la Universidad de Columbia, asegura que la composición química de las rocas lunares es distinta de la de cualquier roca conocida de origen terrestre o meteórico.

Descartada la Luna, hay que volver los ojos a los restantes astros de nuestro sistema solar. Afortunadamente los datos que sobre ellos se van poseyendo son cada vez más abundantes y nos permiten formarnos una idea de día en día más justificada de las posibles condiciones de vida en cada uno. Y en seguida se ve que no es posible computar entre los astros habitables los planetas demasiado cercanos al Sol y sólo con muchas salvedades los demasiados alejados. Entre los primeros comprendemos naturalmente a Mercurio y «a fortiori», si acaso existe, al pretendido planeta intramercurial que con tanto ahínco buscaron en vano algunos astrónomos el siglo pasado: lo denominaban Vulcano.

Según las más recientes investigaciones la superficie de Mercurio recuerda mucho la de la Luna, con áreas claras y oscuras, cráteres y fracturas profundas; para el geólogo soviético Youri Khodak deben existir en Mercurio las mismas rocas que en nues-

tro satélite. Como la Luna carece de agua y en general de líquidos, está sometida a temperaturas extremas y su atmósfera, si existe, es tan tenue que no puede evitar que el planeta reciba una radiación ultravioleta intensísima y esté sometido a un bombardeo de protones y rayos cósmicos que en pocas horas destruiría toda forma de vida semejante a la terrestre, caso de poderse dar ésta allí por otros capítulos. Se ha argüido que quizás podría existir a cierta profundidad bajo la superficie : allí en efecto estaría a cubierto de dicha radiación, debería soportar cambios de temperatura mucho menores y aun quizás se podría contar con agua encerrada entre capas impermeables. Quizás... ; pero aunque fuera así, en todo caso bajo el suelo se carecería de luz solar y sin ella no es posible la vida al no contarse con otra fuente apropiada de energía para las funciones vitales.

En cuanto a los planetas demasiado lejanos nos bastará fijarnos en Júpiter, ya que de los cuatro restantes cabe afirmar «a fortiori» lo que de él se diga. Su temperatura, medida con pares termoelectrónicos o deducida de la intensidad de la luz que refleja, es de unos — 117° C. El análisis espectral nos revela que su atmósfera contiene cantidades considerables de metano (CH_4) y amoníaco (NH_3) ; antes se creía que eran los principales constitutivos de la misma ; pero luego se ha visto que sobre ellos predominaba el hidrógeno molecular (H_2), y más recientemente aún, el helio (He) con algo de neón y argón (Ne y A). Estos gases inertes son inobservables en las regiones del espectro transmitidas por la atmósfera terrestre ; pero su presencia y proporción se deduce del peso molecular de la atmósfera del planeta y de sus propiedades dispersivas, estudiadas escrupulosamente aprovechando ocultaciones de estrellas por el mismo. Hoy día parece probado que el 97 por 100 de la atmósfera de Júpiter es helio y el 2 por 100 hidrógeno ; el metano no pasa de las 0,06 por 100, de 0,04 por 100 el argón y de 0,4 por 100 el neón ; en cuanto al amoníaco representa 0,003 por 100 sobre la cubierta de nubes y 0,12 por 100 bajo la misma. Finalmente el vapor de agua falta enteramente en las nubes del planeta, pero puede representar un 0,27 por 100 debajo de ellas. En confirmación de lo que antecede cabe añadir

que Herzberg ha encontrado asimismo recientemente que también en Urano y Neptuno hay un claro y fuerte predominio del helio sobre el hidrógeno. Con tales temperaturas y una atmósfera como la descrita, sin rastros de nitrógeno ni oxígeno, parece legítimo concluir que en Júpiter no es posible la vida. Con todo no seríamos leales si no hiciésemos notar que la temperatura medida corresponde a la parte superior de la capa de nubes de cristales de amoníaco que cubre el 70 por 100 de la superficie del planeta y que al nivel de las capas nubosas más bajas correspondientes a las bandas oscuras que cubren el otro 30 por 100 es lógico suponer temperaturas menos rigurosas e incluso en algunos puntos condensaciones acuosas. Ahora bien, sostienen algunos que una atmósfera de esta índole no sería demasiado distinta de lo que debió ser la primitiva de nuestro globo cuando aparecieron los primeros vivientes ; y no falta quien sostenga la posibilidad de tipos de vida con metabolismo basado en el carbono y en líquidos distintos del agua, resistentes a temperaturas bajísimas. Según Sagan, se está actualmente investigando la posibilidad de sustituir el agua por el amoníaco, que se hiela a -78°C , y aun por el metano, que lo hace a -182°C . Con todo hasta ahora tal posibilidad no pasa de mera especulación, y como bien hace notar Opik, incluso si se consiguiese sintetizar compuestos «orgánicos» en estas condiciones, todavía quedaría por recorrer una larga trayectoria hasta la producción del viviente propiamente tal, distancia que ni siquiera se ha logrado todavía salvar en el caso de los compuestos orgánicos carbono-acuosos, por más que para ellos conste la existencia del término pretendido, el ser vivo tal como lo conocemos. Más realista es la observación de que es conocida la existencia de microorganismos capaces de vivir en medios anaeróbicos, pero ricos en hidrógeno. No se puede, pues, descartar totalmente su existencia en Júpiter ; pero sí cabe afirmar con seguridad, como indicaremos más adelante al tratar de las condiciones para que un planeta pueda ser habitable, que no reúne las mínimas indispensables para cuanto no sea formas de vida en extremo elementales.

Quizá cabría aún sugerir la posibilidad de vida, si no precisamente en Júpiter, a lo menos en alguno de sus satélites mayores.

Aunque por su enorme distancia al Sol ha de ser muy poca la luz y calor que de él reciban, el déficit puede quedar compensado por la luz y calor reflejados por el planeta. Esto no obstante, lo pequeño de su masa y su baja densidad, parecida a la de la Luna en Io y Europa y todavía menor en Ganimedes y Calixto, los hace poco aptos para haber retenido una atmósfera; por lo demás quizá no pasan, sobre todo los dos últimos, de ser algo más que inmensos bloques de hielo.

El interés, pues, de nuestro estudio se tiene que centrar en los llamados planetas terrestres, por ser los más semejantes en dimensiones al nuestro, Venus y Marte. Y aunque sólo sea a título de curiosidad bueno es notar que en tanto que los americanos parecen atender preferentemente al segundo, el interés de los rusos da la impresión de estarse polarizando hacia Venus, sin que ello quiera decir no obstante que se trata de exclusivismos. Comencemos por Venus.

Aparte los datos obtenidos mediante observaciones desde la Tierra, tienen especial interés los suministrados por el «Mariner II», que el 14 de diciembre de 1962 pasó a 35.000 kilómetros del planeta, y sobre todo por el «Mariner V» y el «Venera IV», que con sólo un día de diferencia pasó el primero a 4.160 kilómetros de la superficie del planeta el 19 de octubre de 1967 y el segundo penetró el 18 en la atmósfera del mismo por un punto situado en la parte no iluminada por el Sol, cerca del ecuador, a unos 1.500 kilómetros del terminador, y desprendió para que se depositase sobre su superficie una cabina-laboratorio provista de aparatos registradores y una estación emisora que transmitió efectivamente datos durante noventa y cuatro minutos: triunfo indiscutible de la técnica soviética que consiguió que, habiendo penetrado el «Venera IV» en la atmósfera de Venus a la velocidad de 10,7 km./seg., desprendiese la cabina-laboratorio esférica de un metro de diámetro y 383 kg. de peso, la cual se fue frenando de resultas de la resistencia de la atmósfera, y cuando su velocidad se hubo reducido a 300 m./seg. se abrió automáticamente un paracaídas de un tejido especial capaz de resistir temperaturas de 450° C. con lo que la velocidad disminuyó a 10 m./seg. al en-

contrarse a una altura de 21 kilómetros sobre el suelo del planeta y era sólo de 3 m./seg. cuando cesó la emisión. Si en aquel momento se había posado o no el artefacto sobre la superficie del astro no se ha conseguido ponerlo en claro con seguridad. Posteriormente los rusos han conseguido depositar de nuevo sobre la superficie de Venus otras dos cápsulas-laboratorio el 16 y el 17 de mayo último, las cuales estuvieron también transmitiendo datos sobre la presión, temperatura y composición de su atmósfera durante cincuenta y tres minutos la una y cincuenta y cuatro la otra ; pero hasta ahora no se han difundido los datos obtenidos, de modo que tenemos que limitarnos a los de los dos «Mariner II y V» y del «Venera IV».

La temperatura señalada por los radiómetros del «Mariner II» fue de 430°C , valor de acuerdo con anteriores determinaciones radioeléctricas de la energía radiada al espacio por el planeta y asimismo con el que se deduce por extrapolación de los datos del «Mariner V» sobre el efecto de la atmósfera de Venus en las señales de radio enviadas por el artefacto a la Tierra: según ellas la temperatura en la superficie de Venus debe ser de 700°K (430°C) y la presión de 65 atmósferas. En cambio los termómetros del «Venera IV» midieron 313°K (43°C) con 0,7 atmósferas de presión cuando la cápsula se hallaba a 26 kilómetros del suelo ; 353°K (83°C) con dos atmósferas de presión a 23 kilómetros ; y, finalmente, 543°K (273°C) y una presión de 20 ± 2 atmósferas al cesar la emisión, probablemente ya en el suelo.

La discrepancia salta a la vista y ha dado lugar a largas discusiones teóricas, de las que parece deducirse que hay que dar la preferencia a los valores obtenidos por los «Mariner», ya que al estar hechas sus medidas a distancia abarcarían la totalidad del planeta, en tanto que las del «Venera IV» se referirían mejor a un punto particular, situado además en la parte del astro en que era entonces de noche. Otra explicación verosímil se ha sugerido, y es la siguiente: de los valores registrados por el «Venera IV» parece deducirse una ley bastante lineal de variación de la temperatura con la altura con un gradiente medio de unos $10^{\circ}/\text{km.}$; como la diferencia en el suelo sería de unos 160° , bastaría suponer que el

punto de aterrizaje del «Venera IV» se encontraba sobre una montaña de unos 15 kilómetros de altura, cosa no imposible dado que en la Tierra la diferencia entre la cumbre del Himalaya y las fosas de Kermadec se acerca a los 20 kilómetros. Y aún cabría una tercera explicación y es que, como lo que se conoce del tránsito del «Mariner V» es su distancia al centro del planeta y la temperatura deducida para su superficie es una extrapolación basada en la aceptación de un radio de 6.056 kilómetros obtenido mediante medidas de radar, bastaría que el radio resultase ser 20 km. mayor para que la contradicción desapareciese. En todo caso tanto unos valores como otros son lo suficientemente elevados para que Herman Oberth afirme poderse deducir de ellos la imposibilidad en Venus de todo género de vida. Semejante conclusión quizás peque un poco de precipitada, pues cabe preguntarse por una parte si en tales valores influyen tan sólo fuentes térmicas, y por otra, si aun excluida la posibilidad de vida en la superficie del planeta, no puede existir a lo menos en las capas de nubes que lo rodean.

Por lo que toca a lo primero, físicos como Tolbert, Straiton, Vakhnin y Lebedinski se han inclinado a atribuir dichas apreciaciones de temperatura a causas no térmicas, como a descargas eléctricas en las nubes entre gotas líquidas vecinas, a radiación sincrotrónica en posibles cinturones de van Allen o a distintos modelos de emisión ionosférica, etc. Estas últimas explicaciones parecen quedar excluidas después de la prueba del «Venera IV», ya que sus datos han confirmado que Venus no tiene apenas campo magnético, y también del «Mariner V», que ha demostrado que la ionosfera de Venus es sumamente estrecha y su densidad máxima de electrones por cm^3 es del mismo orden que en la Tierra, en tanto que para poder explicar los valores atribuidos a la temperatura deduciéndola de la intensidad de la emisión de microondas sin necesidad de recurrir a fuentes térmicas superficiales se exigiría una densidad electrónica mil veces mayor. Y por lo que toca a las restantes hay que advertir que los cálculos basados en ellas conducen todos a resultados discordantes entre sí; en cambio cuando se recurre a causas térmicas propiamente tales y se deduce la temperatura del suelo integrando para todo el disco su temperatura de bri-

llo en microondas en función de la longitud de onda y del ángulo de fase o con interferómetros radioeléctricos, o bien comparando los radios del planeta obtenidos visualmente y por radar con la distribución más verosímil de la temperatura en distintos modelos probables de atmósfera, dentro del límite de errores probable, se llega siempre a resultados coherentes. Si a ello se añade que los datos del «Venera IV» proceden de medidas termométricas directas, parece evidente que el origen propiamente térmico de la elevada temperatura de Venus no puede ponerse en duda. Incluso en los casquetes polares la temperatura debe exceder probablemente el punto de ebullición del agua ; pues, si admitimos para el conjunto del planeta los 430°C deducidos de las medidas del «Mariner II», a base de medidas interferométricas y razones de simetría calcula Sagan que los polos se han de hallar a $200 \pm 95^{\circ}\text{C}$. Solamente en las cumbres de las montañas podrían existir temperaturas más bajas. Comparando las mejores fotografías del creciente de Venus obtenidas en Monte Palomar y Monte Wilson con las del creciente de la Tierra hechas por el «Orbiter I» desde las inmediaciones de la Luna, se ve que, al revés de lo que ocurre con nuestro planeta, la capa de nubes de Venus es muy compacta y sin hueco alguno, lo que por una parte ha de contribuir a mantener la elevada temperatura superficial y por otra nos imposibilita conocer los detalles de la superficie. La existencia de montañas elevadas se deduce pues, solamente, aunque con seria probabilidad, de las medidas de radar. Pues bien, si se admite una caída de temperatura con la altura del orden de $10^{\circ}/\text{km.}$, como la hallada por el «Venera IV», bastaría que hubiese alturas del orden de 43 kilómetros para que en la misma zona ecuatorial la temperatura en su cumbre fuese de 0°C ; la dificultad está en que tales elevaciones no parecen admisibles, pues las presiones hidrostáticas a que estarían sometidas sus bases serían enormes y difícilmente las soportarían ni la corteza ni el manto del planeta. Y alturas como las del Himalaya, aun en los polos, estarían todavía a temperaturas superiores a los 100°C .

En cuanto a la composición de su atmósfera, elemento asimismo primario para poder llegar a una conclusión sobre la posibili-

dad de vida, por observaciones espectroscópicas se había creído que abundaba en ella el anhídrido carbónico CO_2 en una proporción por lo menos mil veces superior a la de la Tierra. La sorpresa proporcionada por las medidas directas del «Venera IV» es que constituye la casi totalidad de la atmósfera. Cuando se hallaba a 26 kilómetros del suelo tomó muestras del gas circundante que se introdujeron en cinco analizadores y otro tanto se hizo a 23 kilómetros con otros seis analizadores; la cantidad de gas absorbida se conocía por la reducción de la presión en cada analizador por obra de un elemento químico apto para absorber un componente determinado de la mezcla gaseosa. El único elemento identificado con certeza fue el CO_2 , pero no fue posible determinar el contenido en nitrógeno, que muchos creían el principal constitutivo de la atmósfera de Venus y que ahora resultó no llegar siquiera al 7 por 100, ya que no manifestó su presencia un analizador capaz de detectar hasta dicho valor; no quedó excluida la presencia de gases nobles, pero tampoco comprobada; en suma, las medidas del «Venera IV» dieron del 90 al 95 por 100 de CO_2 ; del 0,4 al 1,6 por 100 de oxígeno; y entre el 0,1 y 0,7 por 100 de vapor de agua. Los datos deducidos de las medidas radioeléctricas realizadas por el «Mariner V» concuerdan bien con el 90 por 100 de CO_2 dado por el «Venera IV».

Todos estos datos no son favorables a la existencia en Venus de organismos vivientes. El CO_2 , tanto en Venus como en la Tierra, parece proceder del interior del planeta, a través de las hendiduras de la corteza. Al resultar ahora mil veces más abundante en dicho planeta que en el nuestro, parece que la explicación hay que buscarla en que habrán faltado allí las reacciones químicas que van transformando el CO_2 en carbonatos y depositándolo sobre la corteza en forma de rocas sedimentarias. Y como dichos carbonatos son fruto en gran parte del metabolismo de los animales marinos o, si proceden de reacciones en que no intervienen seres vivos, exigen la presencia de agua líquida, la consecuencia es que no hay en Venus ni una cosa ni otra a lo menos en cantidad apreciable. Por lo que toca al agua, antes de la prueba del «Venera IV» el análisis espectroscópico había mostrado la existencia encima de las

nubes de Venus de una cantidad de vapor de agua comparable a la que existe en la Tierra en las mismas condiciones, y algunos habían creído poder deducir que las nubes debían estar formadas de gotas de agua líquidas o heladas y que una cantidad considerable de agua líquida debería existir en la superficie o en la atmósfera inferior. Es el caso de la Tierra en que el 99,99 por 100 del agua está en los mares ; y como según las modernas teorías cosmogónicas es razonable presumir que los materiales de que se formó Venus debían contener aproximadamente la misma agua que los que dieron origen a la Tierra, de aquí que se creyese poder suponer a Venus cubierto en grandes extensiones por mares de varios kilómetros de profundidad. Al conocerse las elevadísimas temperaturas del planeta se vio que el agua no iba a poderse considerar líquida en su superficie, sino en forma de vapor en la atmósfera. Ahora bien, incluso antes de la prueba del «Venera IV» se había visto que esto era imposible, pues como el vapor de agua absorbe fuertemente las microondas de 1,35 cm. de longitud, incluso una concentración de H_2O relativamente pequeña en la atmósfera de Venus tenía que producir una fuerte caída en la emisión radioeléctrica de Venus a esta longitud de onda. Como no hay tal, se deduce que a lo más puede haber 20 gr. de vapor de agua por columna de cm^2 de sección en la atmósfera venusina y esto representa sólo la diez milésima parte del agua de la Tierra. Los sensitómetros del «Venera IV» indican una concentración entre 0,1 y 0,7 por 100 de vapor de agua debajo de las nubes ; ahora bien, el 0,1 por 100 viene a coincidir con el límite de 20 gr./ cm^2 antes asignado. Luego no parece poderse dudar de que Venus es un planeta muy seco. Probablemente es ello debido a la disociación de las moléculas de H_2O producida por la radiación solar UV ; el H liberado no habría podido ser retenido por las fuerzas gravitatorias del planeta y se debió escapar al vacío ; en cambio el O pudo quedar retenido y esto explicaría la presencia de una capa de O que no se puede atribuir como en la Tierra a la acción del metabolismo de las plantas. En cuanto a las nubes mismas, pueden ser efectivamente de vapor de agua si la proporción de éste llega en realidad al 0.7 por 100 y en tal caso se ha calculado que el espesor

de la capa que forman sería de un kilómetro, lo que explicaría la apariencia del planeta ; pero basta que no pase del 0,5 por 100 para que la presión del vapor no pueda alcanzar el punto de saturación en ningún punto de la atmósfera inferior y por tanto no sea posible la formación de nubes de gotas de agua. Según Jastrow, la combinación de los datos deducidos de las medidas radioeléctricas y de las del «Venera IV» favorecen la presunción de que la concentración del vapor de agua no puede pasar del 0,1 por 100 y que por tanto las nubes de Venus no son ni de gotas de agua ni menos aún de cristallitos de hielo. Quizás cuando se disponga de los datos de los «Venera V y VI» será posible resolver esta incógnita. En cuanto al problema de la vida, aunque va ganando terreno la idea de su imposibilidad, a lo menos en la superficie del planeta, las opiniones siguen divididas y menester es reconocer que en ellas influyen no poco las preferencias de sus autores. Así según Sagan, como por una parte no es posible la presencia de agua líquida en la superficie del planeta y por otra a temperaturas mucho menores de 430° C las enzimas quedan desactivadas, las proteínas desnaturalizadas y la mayoría de las moléculas orgánicas biológicas se queman, la exclusión de toda forma de vida análoga a la de la Tierra no ofrece duda. Pero en cambio Krassilnikov insiste en que aun en nuestro globo existen bacterias que resisten hasta los 130° C, acogándose a la posibilidad de que haya en Venus regiones con temperaturas menos elevadas, v. gr., las hipotéticas montañas. Y tampoco juzga obstáculo insuperable el pequeño contenido de oxígeno de la atmósfera venusina ya que se ha conseguido hacer vivir en el laboratorio microorganismos en atmósferas todavía más pobres en oxígeno que la de Venus. Y todavía son más los que sostienen la posibilidad de alguna forma rudimentaria de vida en las nubes, ya que además de contener algo de H₂O al lado del CO₂ reciben la luz solar, prerequisite indispensable para la fotosíntesis. Para Horowitz e incluso para el mismo Sagan se trata de condiciones parecidas a las primitivas de la Tierra y por tanto no imposibles para microorganismos con un metabolismo parecido al que conocemos. Incluso llega Sagan a entretenerse en calcular a qué altura es concebible que tales organis-

mos puedan existir, cuál puede ser su tamaño (hasta algo mayores —dice— que pelotitas de ping-pong), cuál su género de nutrición, etc. Cosas todas que quizás hagan sonreír y tachen algunos de pura ciencia-ficción, pero que a nosotros se nos antojan algo mucho más serio, a saber, la demostración de que en las nubes de Venus se puede imaginar una vida que podría desarrollarse en completo acuerdo con el metabolismo vital tal como lo conocemos en la Tierra.

De todos los miembros del sistema planetario ha sido siempre Marte el que más esperanzas ha hecho concebir de que se pueda hallar en él una vida análoga a la de la Tierra. Evidentemente sus puntos de semejanza con nuestro planeta son muy numerosos: aunque seis veces menor y con una intensidad de la gravedad que no pasa del 37 por 100 de la terrestre, como gira alrededor de su eje en 24 h. 37 m. y su inclinación sobre la eclíptica es de $25^{\circ} 12'$, tan parecida a la nuestra, sus días tienen sensiblemente la duración de los nuestros y lo mismo que la Tierra goza de diversidad de estaciones, por más que, debido a la excentricidad mayor de su órbita, duren sensiblemente el doble de las nuestras; no hay que olvidar que el año marciano tiene prácticamente 687 días siderales.

Además para resolver el problema de la existencia de vida en Marte no es preciso limitarse como en Venus a la consideración de su temperatura y de la composición de su atmósfera. Como la superficie del planeta es visible y ha sido tan cuidadosamente estudiada que se han trazado de ella mapas con centenares de pormenores individuales, es natural que para solucionar la cuestión se haya apelado una y otra vez a cuantos indicios fuese posible deducir de la observación minuciosa de los cambios que en ella se producen, tales como las variaciones de extensión de los casquetes polares y las de coloración de las llamadas áreas oscuras con las distintas estaciones del año. Así, por ejemplo, puede decirse que cuando la mancha blanca de los casquetes polares disminuye durante la primavera y el verano de cada uno de los hemisferios, la coloración gris o marrón de las áreas oscuras del mismo se transforma en verde o verde-azulada y así permanece hasta que de nue-

vo vuelve al gris o al marrón al crecer otra vez el casquete blanco de la región polar correspondiente. Asimismo en los limbos de salida y puesta del Sol para el planeta aparecen con frecuencia nebulosidades brillantes que faltan por completo en las regiones expuestas a la plena luz solar. En ocasiones se ve otro tipo de nebulosidad, difusa y amarillenta, que se origina en las regiones ecuatoriales, y se expansiona, a veces con mucha rapidez, hasta las zonas templadas, y puede durar varios días. Es lógico que con una mentalidad basada en la analogía con los fenómenos terrestres tales cambios se hayan interpretado como el deshielo periódico de los casquetes polares al llegar la estación calurosa y el despertar de la vegetación con el riego y el ambiente de la primavera y el verano; y por lo que hace a las aparentes nubes se las haya comparado a las formaciones de cirrus y cúmulos en los cielos de la mañana y de la tarde o bien otras veces a las nubes y tempestades de polvo procedentes del desierto.

Por lo demás los datos mismos que de la temperatura de Marte se conocen no son de tal naturaleza que no puedan compaginarse con estas elucubraciones. Obtenidos por métodos muy distintos y en épocas bien diferentes, los resultados han sido también diversos; pero en todo caso el valor más alto hallado durante el día ha sido de unos 33° C. En la zona tropical la temperatura suele alcanzar 20° C a mediodía en las regiones claras y 30° C en las oscuras; pero ya en las zonas templadas la temperatura a mediodía va de $+20^{\circ}$ C en verano a -10° C en invierno; y durante la noche se han hallado temperaturas de hasta -73° C. La media de todo el planeta para el conjunto del año la estiman unos en -25° C y llegan otros hasta -40° C; como término de comparación la de la Tierra es de unos $+15^{\circ}$ C. Imposible no pensar en seguida en el doble efecto nocivo de las heladas, el de provocar la ruptura de las estructuras celulares mediante la producción de cristales y el de suprimir la presencia del agua líquida, tan necesaria para los microorganismos y en general para todo ser vivo; sin embargo, no hay que olvidar que las temperaturas citadas no difieren demasiado de las de la Antártida, donde a pesar de ellas se encuentran microorganismos y aun plantas que florecen e in-

vertebrados. Y asimismo es preciso contar con la gran capacidad de adaptación de muchos vegetales y animales ; bastaría que en épocas pasadas hubiese sido el clima menos áspero y luego la adaptación se hubiese producido gradualmente. En la Tierra no faltan ejemplos de ello, por ejemplo la rata canguro de California, que vive en desiertos totalmente privados de agua.

Menos clara se ha presentado siempre la cuestión de la composición de su atmósfera. Durante largo tiempo se la ha creído constituida de dos partes de nitrógeno por una de anhídrido carbónico con ligeros indicios de vapor de agua ; pero sin completa seguridad de la presencia de este último por la dificultad de separar su espectro del del vapor de agua terrestre ; esto no obstante, la evidente variación periódica de los casquetes polares y lo que se cree ser efecto del agua en el suelo marciano da cierta verosimilitud a la afirmación de su existencia. Según Kimper hay un 4 por 100 de argón y asimismo otros gases pesados como kriptón y neón ; de lo que no hay rastro alguno es de oxígeno libre ni consiguientemente de ozono. En Marte, pues, no se podría encender fuego ; y lo que es todavía más grave, esta ausencia implica la falta de protección contra todo género de radiaciones, como la solar ultravioleta y la cósmica, los rayos X y los protones del viento solar, máxime que al carecer Marte de campo magnético apreciable, ni siquiera cabe contar en él con la modulación de tales radiaciones por la acción de dicho campo. El resultado ha de ser una ionización cientos de veces mayor que la terrestre ; no obstante, los datos de que se disponía antes de las últimas pruebas parecían asegurar que su intensidad quedaba muy por debajo de los 5.000 rads, que es la dosis letal para una bacteria típica. En cambio alrededor de los 2.600 Å la radiación que recibe ha de ser de 20 ergios/mm²/seg. y ésta sí que es dosis letal para la bacteria más resistente. Puede con todo que haya sustancias absorbentes y esterilizantes que actúen a manera de escudo. Algunos astrofísicos, como Kiess, creen que las nubes amarillentas que generalmente se han atribuido a tempestades de polvo y asimismo las nubes brillantes que con frecuencia se ven en las regiones del orto y del ocaso o bien trasladándose del ecuador a las zonas templadas,

son precisamente de NO_2 , gas más o menos amarillo según su grado de concentración, la cual a su vez depende de la temperatura. Ahora bien, tanto el bióxido de nitrógeno NO_2 como el tetróxido que con frecuencia le acompaña son gases venenosos. En nuestra atmósfera basta que se encuentren a veces en la proporción de 25 moléculas por 100 millones de moléculas de nitrógeno y oxígeno para producir irritación en los ojos y perturbaciones en la respiración. En dosis considerablemente mayores son fatales. La menor proporción en que se hallan en algunas regiones del Oeste de los Estados Unidos causan anualmente millones de dólares de pérdidas en la vegetación y en los frutos. La consecuencia sería que, si realmente en Marte están en tal cantidad que puedan producir nubes en la atmósfera y, como luego se dirá, incluso casquetes helados en los polos, han de dificultar extraordinariamente formas de vida como la terrestre, si no es que la imposibilitan del todo. No obstante hay quien responde, como Sagan, que esto son elucubraciones y que la cantidad que de hecho detecta el espectroscopio no parece superior a la que contiene la atmósfera de Los Angeles y ya se ve que no hay por ahora peligro de que allí se extinga la vida. Evidentemente, para salir de dudas, será preciso aguardar a los resultados de las observaciones efectuadas por los «Mariner VI y VII», que están todavía siendo objeto de estudio en el Instituto de Tecnología de California y en el Jet Propulsion Laboratory, de Pasadena. De momento de lo que hasta ahora se ha publicado parece deducirse la sorprendente novedad de que en Marte no hay rastro de nitrógeno, por más que se hubiese creído tenerlo que encontrar como fruto de la actividad volcánica. En cambio el espectrómetro infrarrojo habría indicado la presencia de hidrocarburos... Por lo demás de los datos del «Mariner IV» algunos creyeron poder deducir que la atmósfera marciana tenía que ser sumamente tenue y que la presión al nivel del suelo no podía pasar de unos 25 mb ; aunque se hubiese sobreestimado en unos 30 kilómetros su radio ecuatorial, lo que no es imposible, no excedería la presión de 100 mb ; la media en la Tierra es de 1.015 mb... Se ve que todavía hay mucho por aclarar. En todo caso el gran misterio de Marte son todavía hoy los cambios periódicos de

coloración que se habían interpretado como reveladores del ritmo anual de la vegetación. Lo curioso es que, de ser realmente así, el proceso revestiría características inversas al de la Tierra. Al disminuir los casquetes polares una onda oscura baja de ellos hacia el ecuador ; sucesivamente el color marrón de las áreas oscuras se transforma en verde y azul, para recobrar más tarde el color ocre primitivo. ¿ Están cubiertas tales regiones por seres vivos, animales o vegetales, que estarían como aletargados durante el invierno y al llegar la onda, digamos de agua, se activarían, crecerían y proliferarían para volver a aletargarse? La polarización de la luz indica que tales áreas más sombrías están cubiertas de finos granos oscuros que cambian de tamaño y sombreado. ¿ Son microorganismos? ¿ Son partículas minerales? Por métodos espectroscópicos infrarrojos se han estudiado los casos en que se sabe que tal radiación es absorbida por moléculas orgánicas ; la longitud de onda a que se observa es específica de los hidrocarburos y aldeídos ; el hecho de que sea absorbida parece atestiguar la presencia de tales cuerpos, pues hoy por hoy no se sabe qué molécula inorgánica sería capaz de producir tal absorción. Esta consideración estaría de acuerdo con lo antes dicho de las observaciones de los «Mariner». En todo caso esta vida vegetal marciana no se puede desarrollar en las mismas condiciones que la terrestre, pues en el mejor de los casos la humedad debe ser en Marte de mil a dos mil veces inferior a la de nuestro globo. No ha faltado quien apelase a la posible presencia de aguas subterráneas... La poca probabilidad de tal recurso comenzaron a ponerla de manifiesto las fotografías del «Mariner IV» y sin duda las de los «Mariner VI y VII» la han acabado de descartar.

El 15 de julio de 1965 desde unos 10.000 kilómetros de distancia obtenía el «Mariner IV» una serie de 22 fotografías que hicieron comenzar a tambalearse este gran edificio de elucubraciones que supone cuanto hemos estado exponiendo. En las doce fotografías centrales contaron Leighton y sus colaboradores más de 70 cráteres de diámetros comprendidos entre 5 y 120 kilómetros ; las tres últimas fotografías correspondían a la zona oscura más allá del terminador y en las siete primeras las condiciones de iluminación

eran adversas. Si se podía mirar tal muestra como representativa, el número de cráteres de este tamaño estaría comprendido en Marte entre diez y quince mil, según como se hiciese el cálculo, en tanto que en la Tierra no pasan de la docena: el fantasma de una nueva Luna se presentaba a la mente... Pero se arguyó que la franja fotografiada era tan sólo una zona pequeñísima que no llegaba a representar siquiera cinco milésimas de la superficie total del astro, y que además, según la identificación llevada a cabo por Nicolini en el Observatorio de Capodimonte dicha franja coincidía en gran parte con zonas que la observación óptica había calificado siempre de «desiertos», ya que partiendo de una región próxima a Propontis I se extendía hacia el Sur hasta la ensenada del Mare Sirenum, denominada Titanum Sinus, próxima a la gran lengua Atlantis, para llegar en las últimas placas al desierto de Faetonte y terminar en la región gris oscura del Sinus Aonius, todavía lejana de la Thaumasia. Pero después de las nuevas fotografías obtenidas desde sólo 3.200 y 3.100 kilómetros por los «Mariner VI y VII» los últimos días de julio y primeros de agosto de este año ya no es posible abrigar dudas: contra lo que se había creído, el suelo de Marte se parece mucho más al de la Luna que al de la Tierra; más aún, en algunos aspectos parece más atormentado que el de nuestro satélite. La impresión ha sido tal que los científicos que trabajan en el proyecto «Mariner» han creído poder desde ahora calificar a Marte de planeta único dentro del sistema solar, y Robert Sharp, del Instituto de Tecnología de California, ha afirmado que es un planeta formado independientemente de todos los demás de nuestro sistema.

Además de cubrir una extensión mucho mayor, las fotografías tomadas recientemente por los «Mariner VI y VII» son mucho más perfectas que las del «Mariner IV». En éstas, en efecto, la imagen se obtenía gracias a la transmisión de la luminosidad de 40.000 puntos por fotografía mediante 250.000 bits a la cadencia de 8,3 bits por segundo, lo que hacía que la recepción de toda fotografía exigiese algo más de ocho horas. La trama de las imágenes actuales se compone de 650.000 puntos por fotografía, mediante 3.900.000 bits transmitidos a razón de 16.200 bits por segundo;

para cada fotografía, menos de cuatro minutos ; en menos de cinco horas pudo transmitir el «Mariner VI» las 75 que tenía programadas y el «Mariner VII» las 126 asignadas en algo más de ocho horas, precisamente lo que duraba la transmisión de cada fotografía del «Mariner IV». Los resultados hasta ahora publicados por Leighton, Horowitz y sus colaboradores son de índole topográfica ; los que afirmaban tener en estudio a fines de agosto sobre las consecuencias que de las observaciones se derivaban para la constitución de la atmósfera y superficie del planeta es posible que ya hayan sido publicadas, pero hemos de confesar que no han llegado a nuestras manos. En cuanto a los resultados topográficos he aquí algunos de los más interesantes. De las fotografías del «Mariner VI» 50 fueron tomadas desde suficiente distancia para obtener la imagen de todo el disco y 25 de cerca abarcando solamente áreas parciales ; de las del «Mariner VII» 93 presentan asimismo el planeta entero y 33 partes del mismo. Como las fotografías lejanas se estuvieron obteniendo durante un número de quince a veinte horas antes y después del paso por el punto más próximo y el planeta gira en poco más de veinticuatro horas, se puede decir que, excepto las regiones inmediatas al Polo Norte todo el planeta quedó fotografiado. En cuanto a las fotografías cercanas, como el «Mariner VI» recorrió prácticamente todo el hemisferio iluminado a lo largo del ecuador y el «Mariner VII» fotografió sobre todo las inmediaciones del Polo Sur, puede decirse que los pormenores que nos han proporcionado constituyen una muestra del planeta realmente significativa. Lo primero que salta a la vista es que Marte se parece a la Luna en la abundancia, forma, disposición y tamaño de los cráteres: tan sólo en la fotografía 21 de las próximas del «Mariner VI» se cuentan 156 en un área de 625.000 km² con diámetros que van de 3 a 240 kilómetros ; pero es claro que el número total es mucho mayor, pues en las fotos 20 y 22. que cubren parte de la misma área bajo ángulos distintos se adivinan claramente cráteres de unos 300 m. de diámetro. Así se ha visto que el aspecto moteado presentado por los «mares» es efecto de la presencia de gran número de cráteres de diámetro muy variado, la mayoría de ellos con fondos oscuros y bordes más brillantes.

En cambio los cráteres en Marte suelen ser menos prominentes, con fondos más planos, con menos picos centrales y asimismo menos cráteres secundarios y radiaciones. Además hay zonas casi enteramente desprovistas de cráteres ; así, en tanto que el Helesponto y la zona que lo separa de la Hélade abundan en cráteres, esta última no tiene apenas ninguno, a excepción de una pequeña zona marginal en la que apenas resultan visibles ; más aún, los pequeños cráteres faltan también en la zona de transición y en el borde adyacente del Helesponto ; diversas consideraciones sugieren que tal ausencia no es resultado de bruma o calima extendida sobre esta parte del planeta, sino más pronto resultado de cierta diversidad en los procesos de formación o en los materiales presentes en el suelo o en ambas cosas a la vez. Las áreas brillantes que aparecen con frecuencia en las fotografías hechas desde la Tierra con filtros azules o verdes y que presentan variaciones diurnas y estacionales, por lo que se las denominaba nubes blancas o azules, han aparecido muy bien en las fotos de los dos Mariner. Una de ellas, la llamada «Nix Olympica», ha resultado ser un cráter de unos 500 kilómetros de diámetro con una mancha central brillante ; de otras en cambio, como por ejemplo las «nubes W» que brillan tanto más cuanto más cercanas están al limbo, quizás sí cabría interpretarlas como nubes convectivas, pero la verdad es que el aspecto que presentan no es precisamente el de bancos sin la menor traza de las ondulaciones que de serlo cabría esperar. En ninguna de las fotografías de los «Mariner» se ha encontrado algo identificable con ríos sinuosos, ni formaciones parecidas a cadenas de montañas, o cuencas tectónicas, o terrenos sedimentarios, campos de dunas, superficies de playas, etc. En cuanto a los célebres «canales», algunos como el Agathodaemon o el Cerbero corresponden ciertamente a profundas y anchas cortaduras ; pero los más no son sino efecto óptico de sucesiones de distintos pequeños accidentes alineados. La región mejor observada ha sido la del Polo Sur: el borde septentrional de la cubierta blanca de «nieve» que lo cubre es muy definido, pero a la vez muy irregular, pareciendo influenciado por configuraciones topográficas locales y fuertes desniveles, sin que falten numerosos cráteres, alguno de hasta 130

kilómetros de diámetro. De la perspectiva de su aspecto con la posición y la rotación del planeta, se deduce que lo que se ve es realmente la superficie del astro y no alguna capa de nubes. En cambio por el otro lado la cubierta blanca se oscurece notablemente y no parece girar con el astro, lo que induce a pensar que se trata de una bruma atmosférica variable. En el casquete polar se observan grandes formaciones topográficas enteramente «nevadas»; en cambio, dentro de las mismas regiones polares aparecen otras áreas libres de «nieve» por completo: ello hace pensar en que esta cubierta blanca es lo suficientemente espesa para no evaporarse durante el día en las partes expuestas al Sol; pero a la vez lo suficientemente liviana para poder ser barrida en algunos puntos por los vientos u otros factores meteorológicos. Finalmente, por medio de medidas con radar realizadas con el gran radiotelescopio de Goldstone, California, poco antes de la llegada a las inmediaciones de Marte de los «Mariner», se han comprobado diferencias de altitud de hasta 13 kilómetros entre las regiones ecuatoriales de Tharsis y Amazonia. Como la anchura del haz del radar cubre cerca de 10.000 km² no puede pensarse en medidas de puntos individuales; pero sí en una determinación del aspecto general del planeta, cosa que se ha estudiado en una zona de 10° al norte del ecuador y a partir del mismo. El resultado ha sido comprobar que la costumbre de considerar las áreas brillantes como elevadas y las oscuras como regiones bajas no correspondía a la realidad; hay áreas brillantes tanto elevadas como bajas; en cambio las oscuras parecen corresponder a niveles más uniformes intermedios.

Hasta aquí cuanto se ha observado hasta ahora. Aunque no hemos podido dar con la referencia directa, parece que los datos de los «Mariner» han aumentado la convicción de que la «nieve» observada en Marte no es precisamente de agua, sino de anhídrido carbónico. Y si así es, las probabilidades de hallar vida en el planeta claro está que se reducen extraordinariamente. No obstante no se renuncia a su búsqueda y nuevas exploraciones están planeadas. Si el programa previsto por la NASA puede llevarse a cabo, en 1971 un nuevo «Mariner» estudiará las características

dinámicas de Marte desde una órbita a su alrededor por espacio de noventa días ; al mismo tiempo se obtendrían datos de la composición de su atmósfera, lo mismo que de su densidad, presión y temperatura y nuevas informaciones sobre su superficie ; el proyecto es fotografiar el 70 por 100 de su superficie con un poder de resolución entre 550 y 1.000 metros y un 8 por 100 entre los 60° S. y 40° N., con un poder de resolución entre 55 y 100 metros ; el poder máximo de resolución de las fotos del «Mariner IV» era de 2,5 kilómetros y el de las tomadas por los últimos «Mariner» de 300 metros. En 1973 vehículos «Viking» intentarán un aterrizaje suave no tripulado y el depósito en la superficie del planeta de cabinas-laboratorio. Finalmente para 1985 ó 1987 se prevé la primera tentativa de un vuelo tripulado y consiguiente aterrizaje. No hay que decir que se han proyectado numerosos experimentos que permitan salir de dudas sobre la existencia de vida en Marte y aun satisfacer nuestra legítima curiosidad sobre sus particularidades, si efectivamente existe, pues, como dice Horowitz, son muchas las preguntas sobre los hipotéticos vivientes marcianos a las que querríamos hallar respuesta ; por ejemplo, si su protoplasma contiene ácidos nucleicos y proteínas y, en caso afirmativo, cuál es su composición ; cuál la actividad óptica de sus aminoácidos, cuál su código genético, etc. La idea directriz de las experiencias que se preparen es que por una parte exijan pocas hipótesis iniciales y por otra conduzcan o a fuertes indicios positivos o a claras pruebas negativas. Naturalmente la empresa no es fácil.

De entre los varios experimentos proyectados para conseguir estos fines describiremos como muestra el llamado «experimento Gulliver». Su objeto es enviar a Marte una cámara de cultivo que se autoinocule con muestras del suelo marciano. A este fin irá provista de dos hilos de 7½ metros de longitud atados a pequeños proyectiles que serán disparados una vez se haya posado sobre el planeta el artefacto. Los hilos naturalmente se desarrollarán, caerán sobre el terreno y al ser luego recogidos por medio de un motorcito arrastrarán necesariamente consigo la partículas del suelo que se les hayan adherido. En el interior del instrumento hay un medio de crecimiento con nutritivos orgánicos y carbono radiacti-

vo. Si se cogen microorganismos, éstos metabolizarán los compuestos orgánicos y producirán anhídrido carbónico radiactivo que se difundirá contra la ventana de un contador de Geiger que medirá la radiactividad. Si se multiplican los microbios, la producción del CO_2 crecerá con el tiempo exponencialmente, claro indicio de que el gas se está formando biológicamente ; para mayor seguridad el aparato llevará un dispositivo para inyectar una solución venenosa y ver si al hacerlo se detiene la producción de CO_2 ; llevará asimismo medio de analizar la naturaleza de las reacciones biológicas. Es de gran importancia seleccionar cuidadosamente las materias nutritivas : si hay vida en Marte, lo lógico es esperar encontrar un continuo intercambio del carbono entre la atmósfera y la biosfera. Para mayor garantía de éxito conviene valerse de sustancias que estén ampliamente difundidas en el sistema solar y cuya función biológica en la Tierra sea bien conocida. Es sabido que en la reacción de descarga de chispa de Urey-Miller se producen compuestos orgánicos, biológicamente importantes, cuando se realiza en una atmósfera que se cree parecida a la primitiva de la Tierra. Ahora bien, como es razonable suponer parecidas las atmósferas primitivas de los distintos miembros de la familia solar, es lógico esperar que se formen los mismos compuestos ; varias de estas sustancias (lactatos, glutamatos, formatos, etc.) son fácilmente metabolizadas con producción de anhídrido carbónico ; en ellas, pues, parece que hay que pensar para constituir el medio adecuado de cultivo cósmico.

También cabe pensar en el carbono radiactivo para otros experimentos que tienen la ventaja de exigir como punto de partida todavía menos hipótesis que el experimento Gulliver, por ejemplo las encaminadas a ver si se da la fotosíntesis, esto es, la fijación del CO_2 por la acción de la luz. Si hay vida en Marte, necesariamente tendrá que existir allí por lo menos una especie fotosintetizadora, pues también en la Tierra la vida depende en último término de las especies capaces de utilizar la energía solar. Supongamos las bacterias quimioautotróficas que obtienen energía mediante la oxidación de materias inorgánicas ; es claro que pronto terminarían sus reservas de alimentación, si éstas no se fuesen

reponiendo por la acción de las especies fotosintetizadoras. Y como la fotosíntesis exige la luz solar, se puede concluir que, si hay vida en Marte, algunos organismos por lo menos han de vivir en su superficie. No tiene pues sentido pensar que, si no hay vida en la superficie, puede haberla en cavernas profundas. Una duda que se ofrece es de cómo se puede hablar de fotosíntesis en una atmósfera tan pobre en oxígeno como la marciana, pero la solución es obvia ; incluso en la Tierra, aunque la acción fotosintetizadora de las plantas verdes produzca oxígeno, no ocurre lo mismo con la de las bacterias y la razón es que éstas no emplean el agua para la reducción del anhídrido carbónico, sino otros agentes reductores. Lo mismo puede ocurrir en Marte, pero lo cierto es que, como el planeta aparentemente es pobre en hidrógeno, la naturaleza de tales agentes no es fácil de explicar. Otros experimentos automáticos se están ideando para la exploración biológica de la atmósfera y del suelo marcianos, y de un modo particular para estudiar la actividad óptica de muestras del mismo. Uno de ellos, por ejemplo, está basado en la catálisis enzimática del intercambio de oxígeno entre agua y ciertos oxianiones comunes, como fosfatos, nitratos y sulfatos. Esta actividad catalítica parece ser exclusiva de los sistemas vivientes y su aplicación requiere pocas hipótesis relativas a la naturaleza química de la vida. Los datos obtenidos hasta ahora parecen indicar que el experimento resultaría apto y sería técnicamente realizable.

Dos observaciones conviene tener en cuenta en toda esta materia: la primera que, aunque no se hallase actualmente vida en Marte, sería de gran importancia el encontrar fósiles que probasen que había existido allí en el pasado ; la segunda que es enteramente necesario esterilizar con todo cuidado los artefactos que se envíen al planeta, si no se quiere correr el peligro de contaminarlo ; si tal cosa ocurriese, aunque luego se encontrase allí vida microbiana, sería casi imposible determinar si era autóctona o introducida espuriamente desde la Tierra.

Después de los planetas principales todavía es preciso prestar atención a la posible existencia de trazas de vida en ciertos meteoritos, con la particularidad de que, como algunos de ellos, dada la

naturaleza de sus órbitas, podrían proceder del exterior del sistema solar, los datos que puedan suministrarnos extenderían nuestra investigación más allá de los más lejanos planetas. Por lo demás, aparte las muestras de materia lunar traídas por el «Apolo XI», son los únicos materiales extraterrestres de que se dispone en los laboratorios. Que en algunos meteoritos se han hallado compuestos orgánicos es ya conocido de antiguo, tanto que en 1834 describió Berzelius la extracción de tales sustancias del meteorito de Alais y se planteó por primera vez la cuestión de si tal tierra carbonosa contenía verdaderamente humus o trazas de otros compuestos orgánicos y de si podía ser un indicio de la presencia de formaciones orgánicas en otros planetas. Sin embargo lo que causó una gran sensación fue que en 1961 Claus y Nagy afirmasen en un artículo aparecido en *Nature* haber encontrado células fósiles de origen extraterrestre en algunos de los meteoritos denominadas condritas carbonáceas. Se trataba de una veintena de meteoritos caídos en diversos puntos del globo, desde el de Alais en 1806 al de Al Rais en 1955. Posteriormente habría que añadir por lo menos los de Bells (1961) y Revelstoke (1965). Según los autores citados, varios por lo menos de estos meteoritos contienen cuerpos microscópicos que identificaron con células fósiles; tales células no se asemejarían a ninguna forma biológica conocida y darían la impresión de ser extraordinariamente primitivas. Su forma es variada, pero de ordinario circular con una protección exterior o membrana; no faltan apariencias granulares y en algunos incluso aparece cierta subdivisión. Su diámetro variaba entre 0,5 y 20 micras y se aseguraba haberse descubierto en ellos aminoácidos, varios azúcares y otros compuestos orgánicos. La materia fue en seguida objeto de vehementes discusiones: biólogos como Degans y Welsh aseguraron después de detenido examen que los pretendidos elementos organizados no eran sino conglomerados de partículas inorgánicas que se parecían a células fósiles. Otros, como Fitsch y Anders, sugirieron que algunos se parecían a minerales como la triolita y que otros podían ser esporas de hongos o granos de polen de hierba salvaje que a veces son muy difíciles de distinguir de ciertas algas y bacterias. Según ellos, tales meteori-

tos serían de origen terrestre y habrían sido arrojados al espacio en un pasado remoto, cuando la actividad volcánica de la Tierra pasó por un máximo ; esto explicaría que tales «organismos» fuesen muy primitivos y se pareciesen a fósiles del precámbrico, bien conocido por su naturaleza eruptiva. Después de girar alrededor del planeta durante millones de años habrían terminado por caer de nuevo en él. No faltan otras explicaciones, como la de Hoyle, que a propósito de su teoría de la acreción opina que todos los planetas de nuestro sistema se fueron formando por agregación de materiales semejantes a los meteoritos y que los compuestos orgánicos fósiles que contienen son de origen anterior a la formación de los planetas y por tanto de la Tierra ; hasta cierto punto le siguen Masen y Ringwood. En cambio discrepan en absoluto Hutchinson, Jones y Potter, que se inclinan a ver en ellos contaminaciones de origen terrestre. Y como confirmación de esta opinión cabe citar a Meinschein y Frondel que han encontrado actividad óptica en extractos orgánicos sacados de condritas ordinarias no carbonosas y que por todos los indicios solamente se pueden atribuir a contaminación biológica terrestre. No obstante estas impugnaciones, Nagy no ha abandonado por completo su tesis : reconociendo que hoy por hoy no es posible llegar a una conclusión sobre su origen, no duda en manifestar su asombro por el hecho de que «la hipótesis de que los elementos organizados puedan ser microfósiles extraterrestres haya sido una de las ideas científicas más plenamente confirmadas (naturalmente, a su juicio) y al mismo tiempo más exhaustivamente refutadas en los últimos años». Ciertamente Urey escribió en 1966 que, si en objetos terrestres se encontrasen algunas de las sustancias de las condritas carbonosas, se considerarían indiscutiblemente como biológicas. Probablemente tiene razón, pero la cuestión es saber si se trata o no de contaminaciones, en cuerpos sobre todo abandonados largo tiempo sin precaución ninguna ; basta recordar lo ocurrido con algunas muestras lunares no obstante el cuidado con que fueron manipuladas.

* * *

Pasemos ahora a estudiar la posibilidad de la vida fuera de nuestro sistema planetario. Como ya hemos indicado al principio, nos es preciso renunciar desde el primer momento a toda deducción basada en la observación directa y mucho más a cualquier tipo de experimentación. Ciertamente desde el descubrimiento del compañero oscuro de la estrella de Barnard consta que otras estrellas tienen también planetas ; pero obtener datos concretos de los mismos, útiles para nuestro propósito, resulta hoy por hoy imposible. Menester es por tanto tratar la cuestión desde un punto de vista puramente teórico.

La materia fue abordada hace unos diez años con gran erudición por el conocido físico J. Perrin en «Revue des Questions Scientifiques». Perrin no se limita a estudiar la probabilidad de la simple existencia de la vida fuera de la Tierra, sino que investiga la probabilidad de la existencia de vida racional igual o parecida a la nuestra. Y para ello divide su estudio en tres pasos sucesivos:

1.º Qué probabilidad hay de que un planeta sea apto para permitir la eclosión de la vida.

2.º Qué probabilidad hay de que en un planeta que reúna las condiciones debidas la vida aparezca efectivamente.

3.º Qué probabilidad hay de que, una vez aparecida la vida, haya evolucionado como en la Tierra hasta llegarse a la aparición del hombre y a un grado de civilización análogo al que poseemos.

Evidentemente la respuesta a los dos primeros pasos lleva ya consigo la contestación a la probabilidad de la existencia de vida simplemente tal fuera de nuestro globo ; pero es claro que el tercero encierra para nosotros todavía mayor interés y esto hasta tal punto que Opik y Sagan, al discutir por su lado este mismo problema, se fijan todavía en un paso ulterior, a saber :

4.º Qué probabilidad hay de que una vez alcanzada y quizás superada nuestra civilización, la colectividad, llamémosla Humanidad, que tal haya conseguido, no se haya destruido a sí misma, por ejemplo, mediante una guerra con explosivos nucleares.

Como el esquema es conspicuo y lógico, vamos a seguirlo en líneas generales, comenzando por advertir, a ejemplo de Perrin, que en nuestro raciocinio prescindimos en absoluto de toda consi-

sideración teleológica, es decir, basada en el principio de finalidad, limitándonos por completo al juego de la probabilidad y el determinismo. Y no estará de más recordar que en el dominio de las ciencias positivas no es lícito invocar el azar, como se podría hacer en otros dominios, por ejemplo, la lotería; algo de máxima probabilidad es lo mismo que un fenómeno de observación ordinaria; algo de probabilidad mínima no puede ser sino un fenómeno que no ocurre nunca o todo lo más de manera verdadera y estrictamente excepcional. Perrin no vacila en afirmar que la vida «es el triunfo de lo improbable sobre lo probable» y que «la probabilidad físico-química de la aparición de la vida en un planeta se le presenta como infinitamente pequeña», por donde ya se ve la tendencia de sus elucubraciones. Por este motivo y para ser estrictamente imparciales, al seguir el desarrollo de su argumentación, no nos ligaremos precisamente a sus raciocinios, sino que al igual que a ellos acudiremos a los de representantes de posiciones más o menos opuestas, como son Sagan y Opik; de esta manera confiamos dar mayor peso y verosimilitud a las conclusiones a que podamos llegar.

Es claro que los factores primordiales para que la vida pueda llegar a ser posible en un planeta son sus condiciones de humedad y temperatura y la composición de su atmósfera, y éstas a su vez dependen de su masa y de la distancia del planeta a su astro central no menos que de la forma e inclinación de su órbita, todo lo cual a su vez está en función del tiempo y manera como el planeta se haya formado. Más en concreto y sólo a título de ejemplo, es preciso que la proporción de carbono en la corteza sea suficiente para poder dar nacimiento a una atmósfera de gas carbónico. Para que los primeros vivientes no quedasen expuestos a las radiaciones cósmicas abióticas, el oxígeno tuvo que ser lo bastante abundante para la formación de la capa de ozono y el manto y la corteza debieron contener los materiales ferromagnéticos indispensable para dar lugar a la existencia del campo magnético terrestre modulador de la radiación exterior. Todavía hay más: todas estas condiciones tuvieron que irse produciendo en un orden determinado. Así, la atmósfera tuvo que ser de origen secundario y re-

sultado de procesos químicos, probablemente volcánicos, posteriores a la solidificación del manto ; y ésta tuvo que verificarse a tiempo para que el núcleo metálico a gran temperatura no absorbiese todo el oxígeno, absorbiendo no obstante el conveniente, para lo que fue preciso que estuviesen entonces presentes en la corteza suficientes elementos con fuerte afinidad por dicho gas como el aluminio, manganeso, calcio, sodio, potasio y carbono, hidrógeno en exceso y elementos pesados como el hierro. Realmente, cuando se atiende a esta multitud de circunstancias, es menester reconocer que no es fácil su realización en la forma y momento oportunos, y se ve la importancia que para ello ha debido revestir el fenómeno que haya dado origen al nacimiento del planeta.

Por desgracia ninguna de las teorías sobre la génesis de los sistemas planetarios formuladas hasta ahora consigue explicar satisfactoriamente la realización del conjunto de las condiciones dichas ; unas explican unas y otras, otras ; pero la totalidad, ninguna. Tres, o quizás más propiamente dos, son las que han estado o están más en boga: la nebular clásica de Laplace, la catastrófica de Chamberlain y Moulton, reformada sucesivamente por Jeans y Jeffreys, Lyttleton y Luyten, y la nebular moderna de la «acreción», vislumbrada por Kant y aun antes por Descartes y debida en su forma actual a Weiszäcker y Ter Haar, Kuiper y Urey, etc. Recordando brevemente su contenido, según la primera los planetas resultan de la contracción por enfriamiento progresivo de una inmensa nebulosa esferoidal gaseosa primitiva, animada de un movimiento de rotación alrededor de una fuerte condensación central, origen del sol del sistema, y que ocupaba al principio todo el espacio alrededor del mismo hasta la órbita por lo menos del planeta más distante. Al contraerse y achatare por enfriamiento y aumentar por tanto su velocidad de rotación en virtud del principio de conservación del momento angular, se expansionó primero y finalmente se desprendió su cinturón ecuatorial en forma de anillo, el cual luego por fraccionamiento y contracción se transformó en el primer planeta con la órbita en el plano que ocupaba anteriormente el anillo. Y de igual modo se fueron originando los planetas restantes ; y por un proceso análogo en éstos, los satélites. Muchos

astrónomos y en particular Poincaré, en su tratado de las hipótesis cosmogónicas, se han ocupado ampliamente de esta teoría ; pero sobre todo Babinet y Fouché demostraron que, como en la hipótesis de Laplace el Sol y los planetas se forman en detrimento de la nebulosa primitiva, la contracción de sus partes centrales tenía que conducir a un Sol dotado de una rotación muy rápida, lo que es en contra de la experiencia ; y que supuesto que es esto contrario a lo que ocurre, la única explicación es acudir a una nebulosa inicial animada de un movimiento de rotación lento e incapaz por lo tanto de desprender en el curso de su contracción los anillos que dan origen a los planetas.

La segunda teoría, que también tropieza con tales dificultades que generalmente se ha ido abandonando, es la llamada teoría catastrófica de Chamberlain y Moulton, reformada sucesivamente por Jeans y Jeffreys, Lyttleton y Luyten. Según ella, el cruce de dos estrellas da lugar a enormes efectos de marea que forman en las partes más próximas de ambos astros y en sus antípodas protuberancias gigantescas con velocidades de escape suficientes para superar la atracción del astro madre y desprenderse del mismo. Al proseguir el movimiento de ambos astros después del cruce, su cambio de posición respecto de las masas desprendidas produce en el movimiento de éstas tales desviaciones que no vuelven a caer sobre los astros de que proceden, sino que quedan girando en órbitas elípticas alrededor de los mismos. Según unos las masas desprendidas pueden ser lo suficientemente grandes para dar nacimiento a los planetas directamente ; según otros han de ser menores y luego formar los planetas acumulándose por acreción. Pronto se vio que las dificultades con que se tropezaba eran muchas y muy grandes, por ejemplo, cómo explicar la regularidad de la distribución de las órbitas planetarias y su forma casi circular. Además, apoyándose en la teoría de las mareas, Russell probó que para obtener protuberancias de las dimensiones indispensables habría sido menester casi un choque directo de los dos astros y entonces, a la par que los planetas, se habría formado una nebulosidad que habría frenado rápidamente los planetas recién nacidos y habría transformado sus órbitas elípticas iniciales en circulares, casi

rasantes al astro central ; ahora bien, como sabemos por experiencia que no fue así (a lo menos en el caso de nuestro sistema planetario), a la distancia a que debería haberse verificado el cruce y dadas las velocidades relativamente pequeñas de las estrellas, a lo más cada una habría producido algunas ligeras arrugas en la superficie de la otra sin mayores consecuencias. Lyttleton ha intentado obviar la dificultad suponiendo originariamente uno de los dos astros estrella doble y que los planetas proceden, no del que actualmente los posee, sino de su estrella compañera, y que fueron luego capturados por él. Con todo, al formular su teoría en ecuaciones, reconocieron Lyttleton y Luyten que la masa que de esta manera habría podido ser capturada por el Sol no habría llegado en el mejor de los casos a la cuarta parte de la de Júpiter. Para obviar esta nueva dificultad se pensó en un astro inicial triple (!). Pero ni aun así se adelanta gran cosa, pues ha sido demostrado por Spitzer que no se puede prescindir del efecto que ejercería sobre la protuberancia que se desprende la radiación aprisionada en la misma. Incluso si la materia que la constituye proviene de las capas menos profundas del astro-madre, debería encontrarse a una temperatura del orden del millón de grados, por lo que antes de condensarse tendría que enfriarse. Calculando el tiempo necesario para el enfriamiento y comparándolo con el necesario para que la velocidad de expansión de la protuberancia bajo el efecto de la presión de radiación alcance la velocidad de escape, se ve que, dada su elevada temperatura, esta última supera tanto la primera que la protuberancia, apenas formada, debería estallar en uno o dos minutos.

La teoría que desde hace una veintena de años goza de mayor favor es la llamada «de la acreción»: en el fondo es una vuelta a la teoría nebular, pero modificada convenientemente para tener en cuenta los conocimientos modernos sobre los distintos tipos de astros que integran un sistema planetario. Su mérito principal es explicar la distribución de los planetas, del mismo modo que el mérito de la ley de Newton es dar cuenta satisfactoria de sus movimientos. En rigor cada uno de los autores que la han ido formulando se ha ocupado preferentemente de un aspecto particular, atendiendo

unos al problema del momento angular, otros a la estructura de la nebulosa primitiva, su densidad, su temperatura, su estado de turbulencia ; otros, finalmente, al modo de formarse los planetas, sus distancias, su rotación, su condensación, su estado físico-químico... Esto no obstante, en líneas generales todos coinciden en decir que la nebulosa primitiva, madre de nuestro sistema planetario, debió ser un disco nebular muy aplastado en el que la temperatura debía disminuir rápidamente del centro a la periferia. Su masa se calcula del orden de una décima parte de la masa de la condensación central, origen de nuestro Sol, en torno de la cual se extendía. De acuerdo con las ideas dominantes sobre las atmósferas planetarias antes de las últimas exploraciones, se creía que en dicho disco las condiciones favorables para la condensación del agua y del amoníaco debieron darse en las inmediaciones de la actual órbita de Marte y las favorables a la condensación del metano en las cercanías de la de Júpiter y Saturno, y aun más allá. De resultas de su gran superficie de contacto con el espacio exterior porciones nebulares se enfriaron rápidamente y se condensaron en forma de pequeños elementos sólidos, los llamados planetesimales. Al girar éstos en el interior de la nebulosa y encontrarse con regiones sometidas a la acción de intensos torbellinos comienzan a entrechocarse y unirse unos con otros, con lo que, al aumentar el volumen y la masa de unos cuantos, crece rápidamente su poder de captación, hasta llegar a un tamaño en que se deja ya sentir su atracción gravitatoria y comienzan a capturar materia hasta llegar a formar totalmente los planetas. En la explicación de Weiszäcker-Ter Haar, en que la densidad de la nebulosa en la vecindad de la actual órbita de Júpiter se supone del orden de 10^{-9} gr/cm³, el tiempo necesario para llegarse a formar un cuerpo capaz de ejercer ya acción gravitatoria es del orden de 10^7 años. He aquí cómo concibe Urey lo ocurrido, sobre todo en la parte del disco nebular en que se formaron los planetas tipo Tierra. En un primer estadio, a baja temperatura, la formación de planetesimales se habría producido a partir de polvillos, siendo esencial en esta etapa que tales polvillos tengan la aptitud de adherirse unos a otros al producirse colisiones. Urey hace notar que, cuando una

sustancia sólida se halla cerca de su punto de fusión, es adhesiva, como les ocurre a los copos en las tempestades de nieve. Sugiere entonces que el agua debió jugar este papel de sustancia adhesiva en la formación de la Tierra y de Venus ; para Mercurio la temperatura era demasiado elevada ; para Marte y los asteroides demasiado baja para que su acción fuese eficaz. Para los grandes planetas este papel pudo ser desempeñado por el amoníaco. A la distancia de Plutón la temperatura debió ser todavía demasiado elevada para que el metano pudiese servir para este objeto. Formados así los planetesimales, al adherirse dan nacimiento a los proto-planetes: la temperatura en éstos no debió ser uniforme, sino más elevada en sus regiones centrales y de resultas se establecería en su interior una circulación de planetesimales desde las regiones más calientes a las más frías y recíprocamente. En esta etapa la temperatura habría sido suficientemente alta para que los planetesimales no pudiesen retener el neón, el hidrógeno, el helio y la mayor parte del agua y del amoníaco. En un segundo período la contracción adiabática de los gases del protoplaneta habría ido elevando la temperatura hasta el punto de que los planetesimales circularan en regiones de temperatura hasta unos 2.000° C. La reducción del óxido de hierro se produciría en la superficie de los planetesimales lo mismo que la volatilización parcial de los silicatos (de donde habría resultado el hierro puro de los meteoritos). Las diferencias de densidad y composición de los planetas tipo-Tierra podría así explicarse en parte por la volatilidad mayor o menor de los silicatos con la temperatura. En sustancia habría habido enriquecimiento en elementos *siderófilos* menos volátiles, tales como el hierro, el cobalto y el níquel. En el curso de esta etapa el planeta en formación perdería todos los gases. En una tercera etapa la temperatura volvería a bajar y se terminaría la formación del planeta prácticamente a la temperatura actual. En confirmación de su teoría aduce Urey la posibilidad de llegar a explicar todos los pormenores de la superficie lunar a base de ella y de la hipótesis meteorítica. Si estas teorías de la acreción lograrán imponerse definitivamente o serán sustituidas por otras sólo el porvenir nos lo podrá aclarar ; ya ahora los recientes datos del «Apo-

lo XI», los «Venera» y los «Mariner» obligarán a retocarlas en más de un punto ; por lo demás son todavía bastantes sus incoherencias internas y superarlas del todo tendrá que ser obra de largo tiempo.

En vista de ello parece que lo único que podemos hacer es tratar de evaluar de algún modo la probabilidad de los pasos indicados por Perrin, cotejándolos con los razonamientos de Sagan y Opik y sin perder naturalmente de vista las teorías cosmogónicas acabadas de exponer, aunque apoyándonos preferentemente en los indicios que se puedan ir derivando del acervo de conocimientos, tanto teóricos como de observación, que se van considerando definitivamente adquiridos en Astrofísica. Ciertamente los asertos de los distintos autores son tan discordantes que su diversidad constituye una clara prueba de la influencia de los factores subjetivos en la manera de tratar unos mismos argumentos ; pero en el estado actual de nuestros conocimientos sobre la materia no creemos que haya otro camino. Trataremos de proceder con la mayor objetividad que podamos.

En el symposium sobre la posibilidad de la existencia de vida inteligente fuera de la Tierra celebrado en noviembre de 1961 en el Observatorio Radioastronómico Nacional de Estados Unidos, bajo el patrocinio del Comité para la Ciencia del Espacio de la Academia Nacional de Ciencias de Washington, propuso F. D. Drake un método que luego modificó ligeramente Carlos Sagan, del Departamento de Genética de la Universidad de Stanford, Palo Alto, California, a la vez que miembro del Departamento de Astronomía de la Universidad de Harvard y del Observatorio Astrofísico de la Smithsonian Institution. Según ellos, el número N de planetas de una galaxia en que ha de llegar a haber vida inteligente comparable o superior a la nuestra puede expresarse por la fórmula

$$N = R_* f_p n_e f_i f_l f_c L \quad [1]$$

siendo

R_* el promedio de formación de estrellas por año durante la vida media de una galaxia.

- f_p la fracción de estrellas dotadas de sistemas planetarios.
- n_e el número medio de planetas de cada sistema planetario con condiciones favorables a la eclosión de la vida.
- f_t la parte de estos planetas en que la vida de hecho se desarrolla.
- f_i la función de estos últimos en que una vida inteligente con facultades manipulativas aparece durante el tiempo de vida del Sol local.
- f_c la fracción de planetas poblados por seres inteligentes en que una civilización técnica avanzada nace durante el tiempo de vida del Sol local.
- L el tiempo de vida de la civilización técnica.

Por una serie de consideraciones que expone detenidamente atribuye Sagan respectivamente a estos factores los valores 10, 1, 1, 1, 0,1, 0,1 y 10^7 ; de ellos unos no ofrecen dificultad y son generalmente admitidos, por ejemplo el de R_* ; de otros nos ocuparemos más adelante; en todo caso, de ellos deduce para N el valor 10^6 , es decir, que para Sagan en una galaxia con 10^{11} estrellas, de cada cien mil estrellas una tiene un planeta poblado por seres inteligentes con una civilización igual por lo menos a la nuestra.

En la misma línea de Sagan está el cálculo de A. G. W. Cameron, del Instituto para Investigaciones Espaciales de la NASA, el cual llega a encontrar para N nada menos que un valor aproximado de dos millones; pero es de advertir que él mismo reconoce que la cifra habría podido resultar bastante diferente con sólo variar un poco los valores atribuidos a los factores intermedios; precisamente para él lo que tiene importancia son los pasos sucesivos que a su juicio marcan un camino que espera ha de llevar con el tiempo a resultados más precisos. La fórmula de Cameron, muy parecida a primera vista a la de Drake-Sagan, pero bien diferente si se atiende al factor F enteramente nuevo que contiene, es la siguiente:

$$N = S \times P \times E \times B \times I \times F \times L \quad [1 \text{ bis}]$$

en la que

S es el número total de estrellas de nuestra galaxia aptas para ser centro de un sistema planetario.

P la fracción de tales estrellas que tienen efectivamente planetas.

- E el número medio de planetas por sistema suficientemente parecidos a la Tierra para poder ser soporte de la vida.
- B la probabilidad de que tales planetas desarrollen especies biológicas.
- I el número de estas especies suficientemente inteligentes para poder llegar a comunicarse interestelarmente.
- F la fracción de las mismas que psicológicamente vayan a desear comunicarse con otras.
- L el tiempo medio de vida de tales especies, expresado como fracción del tiempo total durante el que ha habido vida en un planeta.

Adoptando para los distintos factores los valores de 4×10^{10} , 1, 0,3, 1, 1, 0,5 y 0,0003 respectivamente, llega a un producto de 1.800.000, o en números redondos a los dos millones antes indicados.

Frente a estos cálculos, que podríamos calificar de optimistas, está el de Opik, del Observatorio de Armagh, Irlanda. Para él la probabilidad de la existencia de una civilización adelantada en un planeta puede expresarse por la fórmula

$$P = \begin{cases} p_0 p_t = p_1 (p_2 \cdot p_{31} + p_{21} \cdot p_{32}) \cdot p_t & [2a] \\ p_2 p_t = p_1 \cdot p_2 \cdot p_{31} \cdot p_t & [2b] \end{cases}$$

siendo

- p_1 la fracción de sistemas planetarios con un solo Sol central.
- p_2 la probabilidad de que un planeta quede dentro de la distancia a su Sol para que pueda ser habitable y contenga agua.
- p_{21} la probabilidad de que quede de manera que pueda todavía ser habitable aunque no contenga agua en cantidad apreciable.
- p_3 la probabilidad de que un planeta tenga masa suficiente para retener una atmósfera conveniente.
- p_{31} con agua.
- p_{32} sin apenas agua.
- p_n probabilidad de que un planeta sea habitable.
- p_g probabilidad de que un planeta sea habitable como la Tierra.
- p_t probabilidad de encontrar un cierto estadio de civilización en un planeta del tipo de la Tierra.

Opik es exclusivamente astrónomo y de aquí que su discusión dé mucha más importancia a las consideraciones estrictamente as-

tronómicas. Los valores que adopta tras larga discusión son los siguientes:

$$p_1 = \frac{1}{20} : p_2 = \frac{1}{70} : p_{21} = \frac{1}{25} : p_3 = \frac{1}{3} : p_{31} = \frac{1}{9} : p_{32} = \frac{2}{9}$$

de donde se sigue

$$p_0 \simeq \frac{1}{2.000} \qquad p_9 \simeq \frac{1}{13.000}$$

En cuanto a p_1 lo evalúa en $t/750 \times 10^6$ años, siendo t la duración en años de cada estadio de la evolución. Calculando ésta a base de lo ocurrido en nuestro planeta, concluye que en nuestra galaxia puede haber hasta un millón de planetas con vida incluso de mamíferos, 100 a lo más con humanidades en un estadio de civilización anterior a la era técnica y sólo uno dotado de una civilización en el grado de desarrollo por lo menos de la nuestra. Como hemos dicho este cálculo puede parecer a primera vista pesimista ; pero bien mirado no deja de ser también optimista, pues si se tiene en cuenta que el número de galaxias excede seguramente de 500 millones, en el total del Cosmos todavía podría haber 500 millones de planetas con colectividades inteligentes igual o más desarrolladas que nuestra Humanidad. Claro que para Sagan habría en total unos 500 billones y aun 1.000 para Cameron...

Perrin no hace evaluaciones ; se limita a ponderar las dificultades intrínsecas de cada uno de sus tres pasos. En un estudio previo sobre esta materia hicimos un sondeo a base de calcular en una diezmilésima la probabilidad de cada uno de ellos ; nos pareció que no pecábamos de parquedad y creo que las consideraciones que añadimos nos convencerán de ello. Resultaba entonces que la posibilidad de que en un planeta encontrásemos una civilización análoga a la nuestra se reducía a una billonésima ; todo dependería, por tanto, del número de planetas presentes en el Cosmos. En una primera aproximación llegamos al número de 1.000 trillones que justificábamos así: el número medio de estrellas en una gala-

xia normal se admite generalmente que es de 100.000 millones, 10^{11} . En cuanto al número de galaxias es imposible calcularlo con exactitud : no hay duda que excede de los 500 millones, 5×10^8 . Cecilia Payne 'Gaposchkin, en su *Introduction to Astronomy*, apunta como probable la cifra de 10.000 millones, 10^{10} ; es evidente que según alguna de las teorías cosmológicas deberían existir en número, o mejor dicho, en multitud infinita. Deduzcamos de ello que 1.000 millones, 10^9 , no es una cifra inverosímil. Podemos, pues, concluir que no decimos nada absurdo estimando en unos 100 billones el número total de estrellas en el Cosmos, 10^{20} . Para pasar ahora al número de planetas, naturalmente entrará en juego la teoría sobre su formación que resulte más conforme a la realidad. Si admitimos de momento que la formación de planetas es un paso natural en la evolución de toda estrella, podremos decir que toda estrella tiene su sistema planetario. De cuántos planetas se componen en promedio tales sistemas, no tenemos base alguna para decirlo. Ciertamente que a las pocas estrellas, a las que hasta ahora se les ha hallado planetas, sólo se les ha encontrado un solo compañero a cada una y siempre de masa muy superior a la de Júpiter ; pero esto no presupone nada, pues como hasta hace poco el único modo de descubrirlos era por las perturbaciones gravitatorias que ejercían sobre su astro central, es lógico que se comenzase por hallar los más masivos ; con los métodos espectroscópicos y fotométricos que se irán aplicando cada vez mejor al ir disponiendo de telescopios en satélites artificiales o en la misma Luna, es de esperar que se puedan llegar a descubrir de masa y volumen mucho menor ; pero sin necesidad de esperar hasta entonces, ya desde ahora es lógico suponer que junto a estos planetas mayores existen alrededor de cada estrella otros menores. Si tomamos como modelo nuestro propio sistema, con sus nueve planetas principales y los asteroides, podemos elegir el número de diez. Con lo que resulta en el Cosmos el número de 1.000 trillones de planetas que hemos adelantado antes, 10^{21} . Si la probabilidad deducida de los pasos de Perrin es de 10^{-12} , todavía habrá en el Cosmos 10^9 planetas con seres inteligentes como nosotros. Se ve que vamos a parar a una cifra del orden de la de Opik y que el cálculo basado

en los pasos de Perrin no resulta tan pesimista como a primera vista se habría podido temer. Sólo que Perrin no admitiría sin duda alguna el valor de 10^{-4} que hemos adoptado para la probabilidad de cada uno de sus pasos ; es lo más seguro que la quisiese rebajar a 10^{-6} por lo menos o aún más todavía ; y naturalmente entonces iríamos a parar o bien a que nuestra Tierra es el único punto del Cosmos con seres inteligentes (que es a todas luces a lo que Perrin se inclina) o bien a que estamos acompañados a lo sumo por un pequeño número de otras colectividades inteligentes, un millar como mucho, perdidas por todos los ámbitos de la Creación.

Quizás al llegar a este punto deberíamos dar por terminado nuestro cometido, máxime no siendo posible llegar a nada definitivo ; pero como es tanta la curiosidad de estas materias, creemos interpretar el deseo de nuestros oyentes, formulando por nuestra parte una serie de observaciones más o menos personales, relativas sobre todo a la primera etapa de los razonamientos, la más propia de nuestra especialidad, a fin de que pueda cada uno llegar a la conclusión que más le plazca con menos peligro de errar. Y esperamos no se llevará a mal que también nosotros formulemos nuestro parecer...

Comenzaremos, pues, por cuanto se refiere al modo de calcular la probabilidad de que un planeta pueda ser sede apta para la vida. A ello se refieren los tres primeros factores de Sagan y de Cameron y todos los de Opik a excepción del último. Por nuestra parte evidentemente nuestra primera estimación pecaba de excesiva. En primer lugar, aunque hoy se prefiera explicar la formación de los planetas por la teoría de la acreción más que por la catastrófica, ésta no deja de tener todavía algunos partidarios y si de hecho resultase exacta (la teoría nebular se había desechado y a ella en forma modificada se ha vuelto), el número de estrellas con sistemas planetarios se reduciría fuertemente. Estudiando la equipartición de la energía en la Vía Láctea, Henri Mineur calculó la probabilidad de los cruces o pasos de las estrellas que la componen por las inmediaciones unas de otras para deducir la influencia de tales pasos en sus cambios de velocidad y dirección.

Encontró que la probabilidad de un cruce a una unidad astronómica de distancia, es decir, a la distancia que separa el Sol de la Tierra, era sólo de 5×10^{-17} por año y que en un lapso de tiempo de un billón de años sólo una estrella de cada 20.000 ha podido sufrir este fenómeno; la probabilidad de un choque casi directo, es decir, un paso rasante como lo exigía Russell a 0,14 unidades astronómicas, es sólo de 3×10^{-18} ; en un billón de años sólo una estrella de cada 300.000 habría podido estar en estas condiciones. Como la edad de la Vía Láctea se cifra entre 10 y 20.000 millones de años, generalmente en 13.000, en este lapso de tiempo sólo una estrella de cada 25.000 millones habrá podido sufrir una colisión; es decir, que en el total del Cosmos el número de estrellas que habrán estado en condiciones de producir planetas sería sólo de cuatro billones. Suponiendo que en todos los casos el proceso hubiese tenido buen resultado y a diez planetas por estrella, nos encontraríamos con 40 billones de planetas en el conjunto del Universo. La cifra resulta 250 millones de veces menor que en la teoría nebular o de la acreción. Podrá objetarse que la generalización del raciocinio de Mineur equivale a considerar constante la densidad estelar de todas las nebulosas y que consta las hay mucho más densas que la nuestra, por ejemplo, algunas más jóvenes; pero evidentemente las hay también de densidad menor y ya es costumbre en Astrofísica y Cosmología considerar como «típica» la parte del Universo en que nos hallamos y admitir por tanto sus valores propios como representativos de los valores medios del conjunto.

Pero prescindiendo de la teoría catastrófica, también en la nebular parece que el número que avanzamos de 1.000 trillones de planetas ha de reducirse considerablemente, no precisamente en sí mismo, sino en cuanto tales planetas puedan ser sede de la vida. En efecto, en la teoría nebular, tanto si se admite la opinión de Hoyle, según la cual del protosol no comenzó a desprenderse materia nebular hasta haberse reducido su diámetro al de la órbita de Mercurio, como si se prefiere la de los que opinan que se desprendió ya del protosol una nebulosa masiva al pasar su diámetro por el de la órbita de Plutón, en ambos casos hay fuerte transfe-

rencia de momento angular del protosol a la nebulosa en condensación, con gran pérdida de velocidad ecuatorial de rotación. Ahora bien, cuando se estudia la velocidad de rotación de las estrellas de los sucesivos tipos espectrales, se encuentra una clara discontinuidad al llegar al F 5; todas las siguientes tienen velocidades de rotación ecuatorial muy bajas y la interpretación general es que se debe a la transferencia dicha de momento angular a los planetas que las circundan, nacidos de la dicha nebulosa en condensación. Luego no parece que hayan dado lugar a planetas las estrellas de los primeros tipos espectrales con velocidades altas de rotación ecuatorial y habrá por tanto que descontarlas. Aunque no se sabe todavía con claridad qué influjo ejerce en los procesos de condensación o disipación de la nebulosa circundante la luminosidad de la estrella central, con todo, estudiando sus espectros, parece que las muy luminosas de tipo O, B, A, F 1-4, la tienen que disipar rápidamente, en tanto que ha de ocurrir lo contrario con las de tipo F 5 y siguientes, lo que confirmaría lo dicho de resultados de la medida de la velocidad de rotación ecuatorial. Sin embargo, la disminución por este concepto no parece ser significativa, pues el 98 por 100 de las estrellas estudiadas de nuestra Vía Láctea pertenecen a los tipos siguientes al F 5 y es por lo tanto lógico suponer que lo mismo ocurra en la mayoría de las demás galaxias. Una reducción mucho más sustancial puede provenir de la incapacidad de determinados tipos de estrellas para dar nacimiento a planetas capaces de ser sede de vida, sobre todo desarrollada. En primer lugar las estrellas masivas supergigantes de los primeros tipos O y B irradian energía a tal cadencia que su vida se reduce a unos pocos millones de años. Y casi lo mismo cabe decir, aunque su vida sea algo más larga, de todas las estrellas con masa igual por lo menos a vez y media la solar. Por otra parte, las estrellas de masa inferior a unas dos décimas de esta última irradian tan poco calor que sus planetas no podrían sustentar vida alguna como la que conocemos. Unas y otras deben ser por tanto excluidas. Las primeras no pasan del 2 por 100 y coinciden con las de los primeros tipos espectrales, ya excluidas anteriormente; pero las segundas son muy numerosas; así las enanas de tipo M repre-

sentan el 60 por 100 de todas las estrellas de los tipos siguientes al F 5. La reducción por este concepto es ya drástica y hace que el millar de trillones de planetas que decíamos deberse tomar en consideración se tenga que dividir por un factor 2,5.

Dando un paso más adelante, veamos ahora cuál puede ser la probabilidad de que un planeta de una de las estrellas capaces de dar origen a planetas que puedan ser sede de vida esté realmente en condiciones de serlo. Es necesario ante todo que posea una órbita estable, ni demasiado cercana ni demasiado distante de su estrella central y de excentricidad moderada ; de lo contrario las variaciones de temperatura y por lo tanto climáticas serían tan fuertes que no sería en él posible la vida como la conocemos en la Tierra ; se sabe, en efecto, que los delicados compuestos orgánicos de los que depende la vida quedan destruidos en cuanto la temperatura excede ciertos límites: 50° C para los organismos superiores y unos 130° para algunas bacterias, y por el otro extremo 10 ó 15° C para formas tropicales, alrededor de 0° C para muchos animales de sangre caliente, — 35° C para algunos arbustos y hasta — 70° C para el abedul polar, musgos y muchas bacterias ; pero las funciones reproductivas y de crecimiento están encerradas dentro de límites mucho más estrechos. Comparada esta zona con el amplio margen de variación de las temperaturas medias planetarias que conocemos, desde más de medio millar de grados centígrados sobre cero a más de doscientos bajo cero, se ve que el margen de temperaturas necesario para la posibilidad absoluta de la vida se reduce a una franja de anchura de tres a cuatro veces menor, y si se trata de vida superior, limitada prácticamente por la condición de que la temperatura exceda de 0° C por lo menos varios meses al año y no pase nunca, al menos en los polos, de 40° C, la anchura de la zona es unas 20 veces menor que la de la franja de temperaturas medias planetarias. Pues bien, en principio, todos los planetas de estrellas múltiples, a menos de que las componentes disten mucho entre sí o de que ellos estén sumamente próximos a su astro central y sometidos por tanto a temperaturas muy elevadas, estarán lógicamente sujetos a tales perturbaciones de sus órbitas que tienen que ser eliminados. Según Eddington la mitad

de las estrellas conocidas son sistemas dobles y un 10 por 100 triples o múltiples. Opik ha calculado que lo más probable es que cualquier estrella tomada al azar pertenezca a un sistema múltiple de cuatro o cinco, aunque las más de las veces muy separadas entre sí en el espacio. Si se toman también en consideración los posibles planetas gigantes mucho mayores que Júpiter, del tipo de los que se han ido descubriendo en algunas de las estrellas más próximas, se puede estimar que en promedio el número de compañeros estelares y subestelares, distantes del astro principal hasta 200 unidades astronómicas (las dimensiones atribuidas por los más al radio de nuestro sistema planetario) y capaces de perturbar la regularidad de las órbitas planetarias, es de unos tres por estrella. Resulta en definitiva que el número de estrellas libres de tales impedimentos se reduce por lo menos a la mitad; pero más probablemente, si se admite una distribución al azar del número de tales compañeros perturbadores, a un veinteavo, de acuerdo con el valor hallado por Opik, $p_1 = e^{-3} = 1/20$. Así, pues, por este concepto el número de planetas aptos para ser sede de la vida deberá ser dividido de nuevo a lo menos por 2 y muy probablemente por 20.

Todavía puede haber otra causa que ponga en peligro la regularidad de la temperatura de un planeta, no obstante la constancia de su distancia al astro central: que éste pertenezca a la categoría de las estrellas variables, sobre todo propiamente tales. Claro que en muchas de éstas la variación es escasamente de unas décimas de magnitud; pero no faltan ejemplares en que pasa de nueve magnitudes y en la mayoría de los casos de variables de período inconstante es de unas cuatro magnitudes. Ahora bien, una oscilación de cuatro magnitudes supone una variación en el brillo del astro de 1 a 40, y otra de nueve magnitudes, de más de 1 a 10.000. Naturalmente la variación de temperatura y radiación total que la variación de brillo supone son muy distintas de una estrella a otra según su tipo espectral y la causa de la variación. Así, Nicholson y Petit comprobaron que la radiación total de X del Cisne, cuya luz oscila 9,5 magnitudes, es decir, en la proporción de 1 a 10.000, variaba tan sólo de 1 a 1,7, y que en la variable

Mira Ceti, cuya luminosidad varía asimismo 10.000 veces, la oscilación de la radiación total medida con el bolómetro resultaba insignificante comparada con la del brillo y su temperatura superficial oscilaba solamente entre 1.700 y 2.600° C. Una cosa con todo es evidente: según Simpson, citado por Rodés, una variación del 40 por 100 de la radiación solar cambiaría en unos 10° C la temperatura media de nuestro globo y provocaría en el mismo un nuevo período glaciario que cubriría de hielo la mayor parte de Europa y América del Norte; de ser algo más intensa, la capa de hielo abarcaría todo el globo. Pues bien, las oscilaciones antes indicadas, no obstante ser calificadas de insignificantes respecto de la luminosa, alcanzan el 70 por 100 en la radiación total de X del Cisne y el 53 por 100 en la temperatura superficial de la O de la Ballena. En ambos casos los efectos sobre la temperatura de los posibles planetas han de ser catastróficos para la producción o por lo menos la conservación prolongada de la vida, indispensable para su evolución. El número de tales estrellas es imposible de precisar; sólo cabe decir que aumenta rápidamente con el perfeccionamiento de los medios de observación y que las catalogadas y estudiadas se acercan ya a los 10 millares; esto no obstante en opinión de Payne-Gaposchkin, citado por Ledoux y Walraven en el *Handbuch der Physik*, vol. LI, no pasan en el conjunto de la Vía Láctea de una por millón. Si así es, el número de planetas aptos para albergar la vida no se modifica sensiblemente por este respecto.

Pasando ahora a los sistemas planetarios del tipo del nuestro, es claro que no todos sus componentes pueden hallarse a distancias tales del astro central que sus temperaturas medias sean aptas para la eclosión y mucho menos para el desarrollo y evolución de la vida, es decir, para que puedan considerarse «habitables». Opik considera como límite superior para ello una temperatura planetaria media de +35° C (caso en que la vida quedaría restringida prácticamente a los polos) y como límite inferior una temperatura normal de +17° C, como la que reinó hace cosa de 1.000 millones de años en el precámbrico. Como que la irradiación planetaria varía proporcionalmente a la potencia 3,65 de la temperatura absoluta, las dos temperaturas límites dichas corresponden en nuestro siste-

ma planetario a un margen muy estrecho de razón de sus distancias al Sol, a saber: de 1 a 1,116, siendo así que la razón de las distancias respectivas de los astros tributarios del Sol, que pueden ir de 0,1 a 200 unidades astronómicas por lo menos (y quizás hasta 10.000) puede consiguientemente variar de 1 a 2.000 (o quizás de 1 a 100.000). Teniendo en cuenta la ley logarítmica de Bode $A = 0,4 + 0,3 \times 2^n$, obtiene Opik aproximadamente el valor

$$p_2 = \log 1.116 / \log 2.000 \simeq \frac{1}{70}.$$

de donde deduce que de cada 70 planetas sólo uno puede estar situado dentro del margen de distancias al astro central que garantice su habitabilidad. Naturalmente, si tomásemos en consideración el valor de 10.000 U. A., la reducción sería bastante más drástica, pues entonces se tendría

$$p_2 \simeq \frac{1}{105} ;$$

y bien mirado probablemente esta última cifra es la más razonable, pues de hecho hay cometas que se cree se alejan del Sol hasta distancias probables de 2,4 años de luz y la distancia de 10.000 U. A. equivale tan sólo a 0,16 años de luz.

Claro está que si se tratase de la posibilidad de la simple aparición de la vida, dado que, como se ha dicho al tratar de Venus y Marte, algunas bacterias pueden vivir dentro de un margen de temperatura que llega a ir de los $+140^\circ \text{C}$ a los -100°C , el margen de la razón de distancias admisible se agranda considerablemente, alcanzando la proporción de 1 a 4,891. Razonando como antes obtendríamos, según la hipótesis que hagamos,

$$p_{2a} = \log 4.891 / \log 2.000 \simeq \frac{1}{5}$$

o bien

$$\log p_{2b} = \log 4.891 / \log 100.000 \simeq \frac{1}{7}$$

Opik considera un caso intermedio: el de planetas en que pueda aparecer y desarrollarse una vida sumamente pobre, condicionada por la casi absoluta carencia de agua, como sería la que tal vez podría existir en Venus, en Marte o en Júpiter ; y encuentra que entonces el factor de reducción es

$$p_{21} \simeq \frac{1}{25} .$$

No creemos haga falta considerar este caso separadamente, por quedar incluido en lo último que acabamos de decir y no prestarse tampoco a ulterior evolución y desarrollo de la vida superior.

Todavía hay que tomar en consideración otros elementos de exclusión. No basta que un planeta esté a una distancia tal de su estrella que la oscilación de su temperatura no pase de ciertos límites ; es indispensable que pueda sustentar una atmósfera apropiada y para ello su masa ha de estar también comprendida dentro de ciertas limitaciones ; ni puede ser tan pequeña que no pueda retener los gases atmosféricos (tal es, por ejemplo, el caso de la Luna), ni tan grande que les impida abandonar su núcleo y expandirse como cubierta gaseosa alrededor de su superficie. Según Opik en nuestro sistema hay tres planetas en estas condiciones de los nueve que lo componen junto con los asteroides, y de ello deduce $p_3 \simeq \frac{1}{3}$; pero a nuestro juicio sería más lógico adoptar el valor $1/4$, pues en un sistema planetario que obedezca a la ley de Bode, cuando todos los puestos están ocupados, el número de planetas hasta 200 U. A. es de 11 (y de 17, si se aceptase el radio de 10.000 U. A., con lo que $p_3 \simeq \frac{1}{6}$ y en definitiva la suma de $\frac{1}{3}$ y $\frac{1}{6}$ es igual a $\frac{1}{4}$).

Aplicando todos los factores de corrección que hemos indicado nos encontramos con que para tener el número de planetas que probablemente han de estar en condiciones de que en ellos pueda simplemente aparecer la vida la cifra inicial de 1.000 trillones se ha de dividir a lo menos por 100 y más probablemente por 1.000 ó 1.200 ; y para tener el de aquéllos en que la vida, una vez producida, ha de poderse desarrollar hacia tipos superiores de existencia, la división ha de ser lo más seguro por 14.000 ó 21.000. Quiere ello decir que la probabilidad del primer paso de Perrin debe cifrarse en 0,00007 ó en 0.00005, atendiendo sólo a las características puramente extrínsecas de la masa y posición del planeta en el espacio. A ella hay que añadir la de que la composición de su atmósfera y la intensidad de su campo magnético sean las que, siguiendo a Perrin, hemos hecho notar al principio de esta segunda parte. En la casi imposibilidad de hacer razonablemente este cálculo, teniendo en cuenta tan sólo las siete u ocho alternativas allí mencionadas y cifrando la probabilidad de cada una en un 50 por 100, vemos que las probabilidades dichas se reducen a 5 ó 3 diezmillonésimas. No será, pues, una inconsecuencia adoptar para el valor de la probabilidad del primer paso de Perrin el de una millonésima.

¿Cuál es ahora la probabilidad de que, supuesta en un planeta las condiciones necesarias para que la vida pueda aparecer y desarrollarse, el fenómeno vital aparezca de hecho? Es notable que tanto Sagan como Cameron la cifren en 1 y que el mismo Opik considere el hecho tan natural que ni siquiera lo mencione, lo que equivale a cifrarlo también en la unidad. En frente de ellos arguye Perrin que en cuanto un compuesto orgánico, sin excluir siquiera la clorofila, no está integrado en un ser vivo y queda sometido a la acción de los agentes atmosféricos se descompone y sus elementos vuelven al reino mineral. La síntesis espontánea de estos compuestos orgánicos de formación endotérmica es muy poco probable ; así por ejemplo, las nucleoproteínas de los virus, que no son todavía vivientes, pero dan, aunque sólo sea superficialmente, la impresión del paso, necesitan para multiplicarse un medio viviente. Y cuando se trata del paso al ser vivo propiamente tal, la difi-

cultad es tan grande que precisamente para obviarla recurrió Arehenius a la llegada de gérmenes exteriores a la Tierra traídos por meteoritos, y Alejandro Dauvillier lo atribuye a un conjunto de causas fortuitas de origen cósmico y una coincidencia excepcional de circunstancias favorables. y añade: «Hay que reconocer, por tanto, que la vida ha nacido sobre la Tierra por el mayor de los azares.» Tanto que mientras por un lado, por ejemplo, exige una cantidad de oxígeno libre suficiente para dar origen a la capa de ozono indispensable para proteger la vida recién nacida mediante la absorción de la mayor parte de las radiaciones solares ultravioletas capaces de destruirla, apela por otro a la acción de estas mismas radiaciones como generadores de síntesis orgánicas originales en un momento en que la atmósfera debía contener sobre todo óxido de carbono, gas carbónico, vapor de agua y muy poco oxígeno libre y por tanto carecer de ozono (!)... Aun en la suposición de que el hombre, a fuerza de ciencia y técnica, llegase un día a producir la vida en el laboratorio y pudiese entonces formularse una hipótesis razonable sobre el modo de aparición de la vida en nuestro planeta, la misma consideración del camino recorrido nos haría ver la acumulación de circunstancias y precauciones a que habría sido necesario recurrir de una manera sistemática y racional para lograrlo, y por tanto la extrema improbabilidad de que el mismo fenómeno fuese fruto del azar y se produjese espontáneamente. ¿Será demasiado rigorismo tasar probabilidad tan exigua en una millonésima? Sobran evidentemente argumentos para considerarla mucho menor ; pero a fin de que no parezca que queremos «a priori» minimizarla, la fijaremos en esta cuantía. Lo que no acertamos a comprender es el raciocinio de Sagan y Cameron y Opik, que la cifraban en la unidad por el hecho de que en el único planeta conocido con condiciones para la vida, ésta se ha desarrollado efectivamente. Claro que desde el momento en que hay vida en la Tierra ésta ha tenido que reunir condiciones que permitiesen su eclosión y desarrollo, pues de no reunir las la vida no habría podido aparecer... Pero ¿qué clase de ilación es la contraria y decir que, si las condiciones se dan, la vida aparece? Y no se arguya que se argumenta empírica y estadística-

mente, pues ninguna estadística puede apoyarse en un único caso conocido...

De acuerdo con el tercer punto de Perrin, hay que examinar ahora la probabilidad de que una vez aparecida la vida en un planeta, llegue a evolucionar en la misma forma que en la Tierra hasta producir al cabo de una duración análoga una humanidad como la nuestra. Para ello es evidente que, si se supone que la evolución se produce al mismo ritmo que en la Tierra, son indispensables para su total desarrollo unos 750 millones de años por lo menos en que no se haya producido ninguna interrupción completa debida a un período glaciario. Para ello es preciso que la estrella central de cada sistema tenga por lo menos entre 4 y 5 mil millones de años de radiación sin grandes altibajos que hagan prácticamente inviable una evolución progresiva continua. Suponiendo que así haya ocurrido y tomando de nuevo como pauta lo ocurrido en nuestro planeta, en nuestro globo parece demostrado haber habido vida durante unos 3.000 millones de años de los 4.500 millones de su duración; evolución progresiva definida durante 750 millones; animales durante 300 millones; mamíferos durante 100 millones; tan sólo durante $2\frac{1}{2}$ millones hombres; y hombres civilizados sólo durante los últimos 10.000 años. Es decir, que si tomamos un momento cualquiera de la historia de la Tierra, tenemos $\frac{2}{3}$ de probabilidad de encontrar en ella seres vivos; sólo $\frac{1}{15}$ de dar con animales; $\frac{1}{45}$, con mamíferos; y nada más que 0,0006 de hallar hombres; en cuanto a hombres civilizados la probabilidad se reduce a unas 2 millonésimas; y si por civilización entendemos una civilización técnica como la nuestra actual, preciso es dividir todavía por 100 y la probabilidad no pasará de 2 cienmillonésimas. La probabilidad, pues, del conjunto de las tres etapas de Perrin, no pasa de unas dos cientrillonésimas. Y por lo tanto aun admitiendo en el Universo la existencia de unos 1.000 trillones de planetas, como se deduce de la teoría nebular de la acreción, el número de los que probablemente albergan una humanidad como la nuestra no pasa de unos 20. Si el número de planetas no pasa de unos 40 millones, como se deduciría de la teoría catastrófica, la probabilidad de hallar en uno de ellos vida se redu-

ciría a 0.0000008, lo cual sería lo mismo que asegurar que la Tierra es el único astro en todo el Cosmos habitado por seres inteligentes.

Quizás se nos tilde de antropocentrismo. Ya hemos prevenido que nuestro propósito no era realizar un cálculo que nos llevase a conclusiones seguras, sino sólo dar elementos de juicio para que el lector saque la conclusión que juzgue más oportuna. Si nos seguimos moviendo exclusivamente en el campo de la experiencia y el determinismo, las cifras están ahí... Otra cosa es si nos decidimos a introducir en nuestro raciocinio factores de otra índole, por ejemplo, teleológicos. Que en todo el desarrollo evolutivo hay una tendencia ascensional hacia lo alto, en el sentido de Teilhard de Chardin, no parece poderse poner en duda. Nos encontraremos entonces con una evolución cósmica «dirigida a un fin» por una Mente Superior, que, como decía Pío XII en su discurso a los miembros de la Asamblea de Roma de la Unión Astronómica Internacional en 1952, no puede ser otra que la del Ser Trascendente, Autor del Universo, Dios Creador. Y como el Creador no puede obrar sino por fines dignos de su Sabiduría, y al crear el Mundo y en él seres inteligentes se ha de haber propuesto como objetivo la gloria extrínseca que tales seres le tendrían que dar al conocer y admirar las maravillas salidas de sus manos, lo lógico es que, dado lo restringido del campo de percepción de cada humanidad, sean múltiples los puntos del Cosmos en que haya situado tales observadores... A menos que se prefiera otra explicación, apoyada ésta no ya en la Teodicea, sino en la Revelación y la Teología. Sabemos por la Fe que el Creador ha honrado de tal manera su creación que ha querido unirse sustancialmente a ella en la Persona del Dios-Hombre. ¿Sería una obra indigna de su Sapiencia que el astro en que decidió llevar a cabo tal maravilla fuese un astro privilegiado y único entre todos y todo el resto no constituyese sino el espléndido dosel de este trono escogido por El para su Encarnación? Una vez más queda claro que, aun desde otro punto de vista tan diverso, son diametralmente opuestas las conclusiones a que se puede llegar.

* * *

Cuando en su vuelo alrededor de la Luna contemplaban en el cielo la Tierra los cosmonautas del «Apolo VIII» y del «Apolo X», no se cansaban de admirar la múltiple coloración de nuestro globo ; en contraste con el grisáceo sucio y las fuertes negruras de la superficie lunar, el blanco de las nubes, el azul de los océanos, el ocre y el verde de la tierra firme les emocionaban y embelesaban. «Charlie, we just saw an earthrise and it's just got to be magnificent». La Luna les parecía decididamente un astro hostil y ¡ qué acogedora en cambio se les presentaba la Tierra ! Todo hace suponer que la misma será la reacción de los futuros exploradores de Marte y nada digamos de los que regresen de otros viajes interplanetarios... Lo que no podemos dudar es que habitamos un astro privilegiado, si no de todo el Universo, por lo menos de nuestro Sistema Solar.

Siete siglos antes, aquel santo poeta Francisco de Asís, al contemplar la hermosura de la creación, vibraba asimismo de entusiasmo y prorrumplía en aquel ingenuo y maravilloso «cántico del hermano Sol», que mejor debiera haber sido llamado «cántico de las criaturas». Fijando sus ojos estáticos en el Creador de todas ellas, una y otra vez le alababa, no sólo por el astro-rey, sino por cuanto nuestro planeta encierra :

«Loado seas, mi Señor, con todas tus criaturas,
especialmente el hermano Sol,
el cual hace el día y nos da luz.
Y es bello y radiante con grande esplendor :
de Ti, Altísimo, lleva significación...
Loado seas, mi Señor, por nuestra hermana Tierra,
la cual nos sustenta y gobierna,
y produce diversos frutos con coloridas flores y hierbas...
Loado seas, mi Señor, por la hermana agua,
la cual es muy útil y humilde y preciosa y casta...»

Poseídos de la misma emoción, los primeros astronautas que circundaron la Luna no encontraron mejor expresión de sus sentimientos que las palabras del primer capítulo del *Génesis*: "Al principio creó Dios el cielo y la Tierra. La Tierra era un caos informe ; sobre la faz del abismo, la tiniebla... Y dijo Dios : «Que

exista la luz». Y la luz existió. Y vio Dios que la luz era buena... Y dijo Dios : «Verdee la Tierra hierba verde que engendre semilla y árboles que den fruto...» Y así fue. Y vio Dios que era bueno. Y dijo Dios : «Produzca la Tierra animales según sus especies...» Y así fue. Y vio Dios que era bueno...» Sí: «vio Dios que era bueno», porque ¡ qué grande, qué maravillosa, qué dulce, qué *buena* es la vida ! Por esto no he dudado en afirmar que nos hallamos en un lugar privilegiado del Cosmos ; puede que haya otros, pero el nuestro ciertamente lo es... Y nos falta el pasaje más emotivo del capítulo leído por los cosmonautas: "Y dijo Dios: «Hagamos al hombre a nuestra imagen y semejanza, que domine los peces del mar, las aves del cielo, los animales y los reptiles de la tierra». Y creó Dios al hombre a su imagen: ...varón y mujer los creó. Y los bendijo Dios y les dijo: «Creced, multiplicaos, llenad la Tierra y sometedla...»"

Como nunca antes, ha adquirido hoy el hombre conciencia de su rango preeminente en el Universo, ciertamente en la parte que nos rodea, quizás incluso en la totalidad del Cosmos... Sea de ello lo que fuere, estemos en la Creación solos o acompañados, nuestra tarea no puede ser más fascinante. Alcanzada la primera meta extraterrestre, estamos ya planeando la exploración y aun la conquista de otros astros cada vez más alejados. ¿Encontraremos en ellos algún tipo de vida? En todo caso puede asegurarse que estamos prontos a llevarla allí desde nuestra Tierra.

No faltan quienes juzguen tales empresas inútil ostentación de la soberbia y la locura humana. Cuando tanta miseria nos rodea en nuestro Globo ¿a qué tales dispendios en tan ambiciosos programas? Igual pregunta habrían podido también formularse quienes pronto hará cinco siglos hubiesen juzgado a nuestros Reyes Católicos financiando la empresa de Colón. Y no obstante el 12 de Octubre de 1492 marcó un hito trascendental en la historia de toda la Humanidad. Los contemporáneos apenas podían vislumbrarlo ; nosotros lo vemos claramente al volver los ojos al medio milenio transcurrido desde entonces. Los primeros pasos de la conquista del espacio no son sólo triunfos científico-tecnológicos o victorias deportivas o de puro prestigio. Dentro de unos siglos se

los juzgará con pleno conocimiento de causa y se los apreciará en todo su valor, incluso para el desarrollo económico, social y espiritual de la Humanidad. Por esto a los que objetan las necesidades terrestres para contraponerlas como óbice a las empresas espaciales se les puede contestar con la frase evangélica: «Haec oportet facere et illa non omittere»: hay que hacer lo uno y no omitir lo otro. Tanto más que sólo los grandes ideales son los que impelen al hombre a grandes realizaciones. Lanzándose a la conquista del espacio, colabora el hombre con los designios divinos y empieza a cumplir más literalmente el mandato de someter a su imperio la Creación.