

DANIEL ALTSCHULER

Director de la Oficina para la Divulgación de las Ciencias del
Observatorio de Arecibo, Puerto Rico. Profesor de la Cátedra UNESCO de
la Universitat de València

HIJOS DE LAS ESTRELLAS: NUESTRO ORIGEN, EVOLUCIÓN Y FUTURO

29 de noviembre de 2006



230 ANIVERSARIO



EL DIRECTOR

DE LA REAL SOCIEDAD ECONOMICA DE AMIGOS DEL PAIS

Se complace en invitarle a la Conferencia que se celebrará el día 29 de Noviembre, a las 19:30 horas en el Aula Magna de la Universitat de València, Estudi General, c/ Universitat, 2, y en la que intervendrá:

D. Daniel Altschuler

Director de la oficina para la divulgación de las ciencias del Observatorio de Arecibo, Puerto Rico
Profesor de la Cátedra UNESCO de la Universitat de València, 2006

Sobre el Tema: **“Hijos de las estrellas: nuestro origen, evolución y futuro”**

Moderador: *D. Juan Fabregat*

Colabora:  **Bancaja**

<http://www.rseapv.org>

Valencia, Noviembre de 2006

PRESENTACIÓN

Jaime Busquet y Juan Fabregat

Miembro de la junta de Gobierno de la RSEAPV

Buenas tardes a todos, y bienvenidos. Mi nombre es Jaime Busquets, y pertenezco a la Real Sociedad Económica de Amigos del País de Valencia. Paco Oltra, que es quien suele hacer estas presentaciones, tenía hoy un compromiso y se incorporará probablemente al final de la sesión, pidiéndome que sea yo quien haga un poco de “entremés” en la charla de hoy.

Bien, hoy iniciamos lo que sería una nueva serie de charlas que hemos programado para tratar temáticas similares a las que en cursos anteriores hicimos, coincidiendo con el Año Internacional de la Física, o con la celebración en Valencia del 57 Congreso Internacional de Astronáutica. En esas ocasiones organizamos charlas sobre Física, Astronomía, Astronáutica o temas afines; bien, pues hemos tenido la suerte de que eso nos creara una cierta inercia, y nos hemos atrevido a programar cuatro o cinco charlas más para este curso 2006-2007. Además, hemos querido hacer con ellas un ciclo, para que los alumnos de las universidades interesados en asistir a todas ellas, puedan tener la certificación del ciclo completo; tienen de todo ello información en la mesa de la entrada, por si alguien está interesado en matricularse.

Para presentar a nuestro conferenciante de hoy nos acompaña nuestro amigo, colega, y conferenciante en otras ocasiones en este mismo foro, el Dr. Juan Fabregat, que nos va a hacer una breve semblanza de nuestro invitado de hoy, y que tiene ya la palabra.

Muchas gracias, es un verdadero placer presentar aquí a Daniel Altschuler, nuestro conferenciante de hoy. Daniel es el director de la oficina para divulgación de las ciencias del observatorio de Arecibo y ha sido con anterioridad director de ese mismo observatorio durante muchos años. El observatorio de Arecibo contiene el radiotelescopio más grande del mundo, que es una antena de más de 200 metros, y como uno de los instrumentos punteros de la astronomía, es bien conocido por todos los astrónomos y científicos; pero hoy en día también es muy conocido por el público en general, puesto que es esa antena gigantesca que sale en películas famosas recientemente, como “Contact” o el “Golden Eye” de James Bond.

Daniel nació en Montevideo, en Uruguay. Se doctoró en física en 1975 en la universidad de Brandeis (Massachusetts, Estados Unidos), y después pasó dos años como investigador postdoctoral en la universidad de Maryland hasta que aceptó un puesto en el Departamento de Física ante la universidad de Puerto Rico, en el que todavía continúa como Catedrático. Después, en 1991, fue nombrado director del observatorio, y ostentó ese puesto durante doce años.

Al finalizar su trayectoria, y según nos ha comentado en su estancia aquí en Valencia, tuvo la oportunidad de retomar su carrera científica; lo que le sucedió a él, y le sucede a muchos científicos, es que cuando uno tiene ya una larga trayectoria en la investigación, cuando ya ha producido muchas aportaciones a la ciencia, que han sido publicadas en las revistas especializadas, siempre le llega el turno a uno de plantearse el interés real de seguir con esa actividad; cuando uno tiene ya muchas publicaciones, hacer la siguiente siempre aporta cosas nuevas, pero también se plantea si no habrían otras actividades que puedan tener quizá más interés, tanto personal como para los demás. Daniel se hizo esta pregunta, y concluyó que le resultaba mucho más interesante dedicarse, en lugar de a la creación de la ciencia como ya lo había hecho durante mucho tiempo, a la divulgación de esa ciencia a la sociedad; a compartir y a transmitir los conocimientos científicos a la sociedad, mediante la divulgación científica. Encontró con esto una labor mucho más satisfactoria para él, y yo creo que también mucho más útil para la sociedad general que quizá el seguir aportando conocimientos que sólo pueden ser entendidos por los profesionales del ramo.

Entonces, desde que dejó la dirección del observatorio, se dedica a esta tarea de la divulgación científica, y ha publicado varios libros. El primero de ellos fue "Hijos de las estrellas", publicado por la editorial Akal, trata la temática de la relación del universo y la vida, que es lo que va a desarrollar en esta charla de hoy. Ha escrito también otros libros; es coautor de la obra "Ciencia, pseudociencia y educación" y también ha presentado recientemente su último libro "Mokita en blanco y negro, una reflexión sobre la ciencia y la sociedad".

Yo quiero agradecer muy especialmente a Daniel que esté aquí con nosotros. Él está invitado por la Universidad de Valencia, como profesor de la Cátedra Unesco. Ha realizado una estancia de dos meses que acaba precisamente esta semana, y está a punto de irse. Me consta que se le han acumulado los compromisos esta semana, y por eso yo creo que es muy de agradecer que haya encontrado tiempo para compartir con nosotros y presentarnos este tema apasionante entre la relación entre cosmos y vida. Y le doy ya la palabra para que nos lo pueda desarrollar.

“HIJOS DE LAS ESTRELLAS: NUESTRO ORIGEN, EVOLUCIÓN Y FUTURO”

Daniel Altschuler

Director de la Oficina para la Divulgación de las Ciencias del Observatorio de Arecibo, Puerto Rico. Profesor de la Cátedra UNESCO de la Universitat de València.

Gracias, la gratitud es mía ante ustedes, por haberme recibido aquí en Valencia, una ciudad que nos resultó hermosa, acogedora, agradable, y no sólo por la ciudad y su entorno sino también por la gente, que es lo que hace la diferencia cuando alguien está visitando un lugar; y me da un gran placer culminar esta estancia aquí, en este hermoso entorno, con ustedes, y espero que aquello que quiero presentarles, quizá nada nuevo, a lo mejor todo junto aquí se lo haga como una experiencia agradable y les pueda hacer reflexionar.

Tengo mucho que de recorrer, naturalmente, pues en un tema que pretende hablar de nuestro origen, evolución y futuro, no dejamos nada fuera, y entonces esto tendrá que ser a vuelo de pájaro, simplemente tocar algunos puntos que me parecen bonitos, interesantes o importantes.

Empecemos con el menú: les quiero hablar de algunas cosas fundamentales, entre las cuales se encuentran las estrellas, hablaremos de planetas, el sinuoso camino, la amenaza de muerte, extraterrestres, y algunos comentarios finales.

Déjenme ponerles el asunto en una cierta perspectiva, que es la que a mí me importa en parte: tenemos todos que darnos cuenta de algo que en términos de un proverbio indígena americano se expresa como que “no heredamos la tierra de nuestros padres, sino que la tomamos prestada de nuestros hijos”.

Una pregunta que todos nos hacemos, seamos científicos o no, es que de dónde habrá salido todo esto; es una pregunta eterna, que imagino se hacían en su día ya los neandertales aquí en España, hace decenas de miles de años, y todavía nos la hacemos hoy. Karl Popper, un famoso y reconocido filósofo de la ciencia, decía que “toda la ciencia es Cosmología”, porque aquella es la pregunta que queremos en realidad contestar. Yo cambié un poco la palabra, porque me gusta decir que “toda la ciencia es Ecología”, en el sentido de que la definición de ecología, según el diccionario de la Real Academia Española, es la ciencia que estudia las relaciones de los seres vivos entre sí, y con su entorno; y sobre esto queremos conocer cada vez más, y la ciencia busca las respuestas, tanto en el universo, con telescopios cada vez más sofisti-

cados y poderosos, como en el microcosmos, observando hacia adentro y descubriendo los ínfimos detalles de la estructura de la materia, y de los humanos.

En una perspectiva global, todo esto es muy reciente, y quizás por eso el conocimiento científico causa todavía una gran cantidad de reacciones y malinterpretaciones. Después de Galileo, hemos desarrollado una nueva visión de nuestro universo, y de nuestro lugar en él; y conforme aumenta nuestro conocimiento debe aumentar nuestro grado de humildad, o debería hacerlo; así, de un lugar egocéntrico en el que nosotros éramos el centro de un universo perfecto, constituido de quintaesencia (un material especial y distinto de las cosas de la tierra), impulsado por ángeles (como el que vemos aquí con sus esferas celestes y la tierra el centro), pasamos a ser parte de un vasto universo de extensión inimaginable no sólo en el espacio, sino también en el tiempo; de hecho, nuestra existencia es un efímero instante en la historia de la tierra, la que según Darwin ni tan siquiera fue construida para nosotros.

Este conocimiento científico es producto del esfuerzo de figuras como Galileo, Newton, Maxwell, Einstein, Planck, Darwin quizá, por poner algunos nombres que todos conocemos. Galileo, por ejemplo, lo entendemos como el padre de la ciencia moderna. Newton, con su mecánica, unificando cielo y tierra. Maxwell hablándonos de unificar aspectos como luz, magnetismo y electricidad, con su teoría electromagnética. Einstein naturalmente, lo tenemos hasta en las camisetas; Planck como padre de la mecánica cuántica; o el precursor de ideas modernas en biología; y el para muchos controvertido Darwin, que nos ha enseñado tanto acerca de nuestro origen. Y tantos otros, porque la ciencia es una empresa comunitaria y universal.

Y así descubrimos ciertos hechos fundamentales. Brevemente les traigo estos tres: hace 15.000 millones de años ocurrió un evento que dio inicio a nuestro universo, que se conoce como el big bang: la gran explosión donde, de una zona muy densa y concentrada del espacio, en el inicio del tiempo, nació esto que nosotros llamamos el universo. Podemos discutir los detalles, pero sólo el hecho de poder decir algo así me parece a mí extraordinario.

El hecho fundamental número dos, diría yo que es que en el planeta Tierra surgió la vida hace unos 3.800 millones de años; casi 4.000 millones de años atrás, y evolucionó (a pesar de que hay algún sector, en algunos lugares que se sienten ofendidos por estas ideas, pero yo creo que esto es fruto de la ignorancia más que nada). Y de hecho, en el fondo, la propia ciencia es el descubrimiento más importante de la ciencia. La ciencia es el resultado de nuestra curiosidad, y la curiosidad es el resultado de la ventaja de ser curiosos; así, podemos ver como el

resultado de un proceso evolutivo y adaptativo el hecho de ser científicos. Y, hoy en día, nuestra supervivencia depende y dependerá de la ciencia y la tecnología al servicio del ser humano.

Y el hecho fundamental número tres creo yo que lo vemos después de 2.000 años, cuando Demócrito y Leucipo primero especularon con que si alguien divide, y divide, y divide la materia, tenía que llegar finalmente a algo que llamaron átomos. Toda la variedad de cosas que observamos, de todo lo que vemos, incluyéndonos, somos producto de tan sólo combinaciones de elementos, de elementos químicos que a su vez son nada más que combinaciones de tres cosas fundamentales: electrones, protones y neutrones. Toda la maravillosa variedad de cosas que observamos, exceptuando alguna como quizás una explosión atómica, todo lo que cotidianamente hacemos y vemos es resultado de eso. Es un ejemplo magistral de reduccionismo, porque reducimos toda la experiencia a tres partículas que interactúan.

Y también hay una lección fundamental que nos da la ciencia, justo lo que trasciende a la ciencia, una lección de humildad, lo que llamamos el “principio de mediocridad”: cuando consideramos que no somos nada más que algo promedio. Y empezamos con esto justo cuando Copérnico y sus seguidores comenzaron a darse cuenta de que no éramos el centro del sistema solar, ni estamos el centro de la galaxia, y nuestra galaxia es una de millones y ni siquiera es nuestra. Nos dimos cuenta con el avance de la geología, cuando pudimos medir la edad de las rocas, mediante estudios de radiactividad, que ocupamos una infinitesimal porción del tiempo desde que se formó la Tierra; es decir, que durante la mayor parte de la historia de la Tierra, ella no tenía nada que ver con nosotros. En este sentido, no somos nada más que un accidente.

Y aparentemente, ni siquiera estamos hechos de lo que más abunda en el universo, pues recientemente somos muy conscientes de que existe una gran cantidad de masa oscura, que parece no estar hecha de lo que estamos hechos nosotros. Y si a pesar de todo esto creemos que somos especiales, creados con alguna intención divina, eso nos quita esa humildad y nos lleva a una serie de problemas en los cuáles naturalmente no voy a entrar.

Los átomos, que vemos en esta tabla periódica ordenados simplemente por el número de protones que tienen en el núcleo, ¿de dónde vienen?; pues lo hemos aprendido. Les menciono el hidrógeno, que es simplemente un protón, el átomo más sencillo y el más común de lejos en el universo, y les menciono estos tres, carbono, nitrógeno y oxígeno, porque de estos átomos, quizá con pequeñas tasas de algunos otros, estamos hechos nosotros; y les menciono el iridio, porque más adelante les hablaré de este átomo, que no es nada común en la superficie la

tierra, pero que tiene una cierta relevancia en la historia que hoy les cuento. Y les menciono también el helio, que es el átomo que sigue al hidrógeno en complejidad, y que fue descubierto en el sol (y por eso se llama así); francamente no sirve para mucho, no se mezcla con nadie y por eso se llama gas noble, porque no participa en reacciones químicas con otros elementos.

Cuando uno hace un estudio del entorno del sistema solar, y de otras estrellas, e intenta ver la abundancia relativa de los diferentes elementos, descubre que no todos los elementos de esta tabla periódica tienen la misma abundancia. En una escala logarítmica como ésta, vemos que hay muchísimo más hidrógeno que todos los demás elementos juntos y que carbono, nitrógeno y oxígeno son los que le siguen en abundancia cósmica típica en el universo. El hierro es muy común, y también vemos que hay como una dicotomía, ya que después del hierro y el níquel hay una gran cantidad de elementos que están muy por debajo de los anteriores, en factores de millones, de promedio en el universo. Cuando alguien ve algo así, se pregunta por qué estos elementos son comunes y esos otros no; pues esto tiene que ver con la historia que les quiero contar.

Por de pronto, ya vemos que ahí hay ya una cierta conexión, porque es curioso que nosotros, que vivimos en un planeta mayormente hecho de silicio, hierro, aluminio y magnesio, en realidad no estamos hechos de esos elementos, sino que nosotros, la vida, los organismos, estamos hechos de los elementos más abundantes en el universo. Esto nos conecta con las estrellas, de las cuales ustedes saben que hay miles de millones, en configuraciones que se llaman galaxias.

Esto es una fotografía del cielo en el hemisferio sur. El cielo del sur es más rico en estrellas que el del norte, porque apunta hacia el centro galáctico, y se encuentran allí además las hermosas nubes de Magallanes; y aquí ustedes ven una banda, que es la Vía Láctea, el camino de Santiago, una banda de estrellas cuya apariencia es la que observamos de nuestra galaxia, que es un disco, cuando estamos dentro.

Se pueden ver miles de estrellas; de hecho a simple vista todos esos puntos luminosos son en su mayoría estrellas de nuestra galaxia; la mayoría no las vemos, pero vemos unos cuantos miles a simple vista. La estrella más cercana al sol es Próxima Centauri, en el sistema triple de estrellas Alfa de Centauri, que está a una distancia de cuatro años luz (la luz, a su enorme velocidad de 300.000 kilómetros por segundo, tarda cuatro años en llegar de esa estrella hasta nosotros); nuestra galaxia tiene más o menos, de un lado al otro, 100.000 años luz. Es decir, en términos físicos nuestro lugar en el universo es muy pequeño; están verdaderamente muy lejos unas estrellas de otras; cada año luz corresponde a esta cantidad impronunciable de kilómetros y por eso se utiliza por

los astrónomos; como comparación, digamos que la luz del sol tarda aproximadamente ocho minutos en llegar hasta la tierra. Así pues, la estrella más cercana está a cuatro años luz y cualquier estrella típica va a estar a cien o a mil años luz de nosotros.

Verdaderamente, nuestra estrella más cercana es el sol; y aunque ustedes no lo crean, me he encontrado con bastantes personas que no sabían que el sol era una estrella; una estrella bastante común, pues más o menos el tres o cinco por ciento de las estrellas de nuestra galaxia son como el sol. Es la estrella más cercana, y es la fuente de vida en nuestro planeta; y por muchos años, una de las incógnitas en astronomía y en astrofísica era entender el origen de la enorme energía que proviene del sol, especialmente una vez que se había entendido que esta energía tiene que haber estado allí por muchos años. Mucho tiempo después de saberse que una estrella dura miles (o al menos cientos) de millones de años, el problema de la energía que produce una estrella no pudo ser resuelto hasta entender que había una fuente que no era química, ni gravitacional, sino una fuente nueva de energía, descubierta el siglo pasado por aquellos científicos como Rutherford, que empezaron a estudiar y a entender las interacciones nucleares y la física nuclear, comprendiendo que había una forma de producir energía si habían reacciones nucleares. En el caso del sol, su energía proviene del hecho de que las altas temperaturas que ocurren en sus partes centrales, unos 15 millones de grados, permiten que ocurran reacciones que no suceden normalmente, y que llevan a que átomos de hidrógeno, que es de lo que está constituido mayormente el sol, puedan fusionarse (como lo ven aquí con dos protones) y producir, por una cadena de reacciones, un núcleo de helio. Así que lo que ocurre en el centro de una estrella como el sol, es que hay reacciones en las cuales por ejemplo cuatro hidrógenos se convierten en un núcleo de helio. Claro que para eso debe haber también conversiones de protones a neutrones, y el hecho es que cuando uno conoce la masa de los cuatro protones que forman la parte inicial de la reacción, y lo compara con el resultado que es el átomo de helio, observa que éste tiene menos masa que los cuatro protones originales, y por lo tanto se perdió masa; y en estos casos se genera energía, según nos indica la famosa ecuación de Einstein de $E=mc^2$, donde c es la velocidad de la luz, que es un número grande, y al cuadrado es más grande aún, y por lo tanto la cantidad de energía que produce una pequeña conversión de una pequeña fracción de masa es enorme, y por eso se comprende hoy la fuente de energía de las estrellas: conversión de átomos livianos a átomos más pesados por fusión, pero con una diferencia de masa que se convierte en energía y radiación, que es el calor del sol.

Además, como hecho colateral sabemos que en el sol se ha convertido un elemento en otro, en este caso hidrógeno a helio, y esta cadena no tiene por qué terminar ahí. Si se dan las condiciones apropiadas, el helio podría también chocar con otros núcleos, y convertirse entonces en elementos más pesados aún. Podemos ver así reacciones de tres núcleos de helio que producen carbono, un carbono podría chocar con otro carbono y producir neón, el oxígeno puede producir silicio, el silicio convierte a níquel, etc. Es decir, hoy en día se conocen una gran cantidad de cadenas de reacciones nucleares que se pueden dar en el interior de las estrellas a muy alta temperatura, en las que los productos, siendo más livianos que los reactivos, producen energía. Y lo más importante es que además de energía, producen carbono, oxígeno, nitrógeno y todos los otros elementos de la tabla periódica.

El secreto de las estrellas es no sólo que pueden producir copiosamente energía durante miles de millones de años y brillar como las vemos el cielo, sino que nos explican de dónde vienen los elementos químicos con gran detalle, cuáles son las reacciones que producen más o menos energía, y esos detalles son los que explican estas diferencias que hay entre proporción de unos elementos y otros; hay muchas reacciones diferentes que se puede estudiar, y hoy en día se conoce bastante bien el origen de los elementos en ese sentido.

Y cuando la estrella llega a un punto en que ya ha producido todos los elementos que puede llegar a producir dada su masa y su temperatura, pues muere; las estrellas nacen y mueren, y muchas veces hay un proceso por el cual la estrella lanza sus capas atmosféricas superficiales hacia el espacio, conteniendo los elementos que antes no había en él. Es decir, la estrella produce carbono, nitrógeno, oxígeno, calcio, magnesio y al morir los manda hacia el espacio en lo que podríamos decir que es una fertilización del mismo.

Así pues, si empezamos con un universo de hidrógeno nada más, necesitamos a las estrellas para que se vaya acumulando el material necesario para, eventualmente, poder formar finalmente estrellas con sistemas planetarios capaces de llegar a generar el proceso de la biología.

Todo lo que cuento va muy bien, pero hay un detalle que les voy a relatar brevemente, y es que hay un cambio en los procesos energéticos, cuando la estrella llega a generar un elemento clave, que es el hierro; cuando la estrella empieza producir hierro, las reacciones cambian, y pasan de producir energía, a requerirla. Así, si una estrella se encuentra en ese punto de querer producir hierro y no poder hacerlo por no tener suficiente energía, pasa a una muerte catastrófica, a un colapso que lleva a una explosión que llamamos supernova.

Vemos aquí una imagen del telescopio espacial Hubble: restos de una supernova que ocurrió en el año 1054 y observada por astrónomos chinos. Hoy entendemos que estos procesos de la supernova, que no son muy comunes, se producen por colisiones con protones y neutrones, los elementos de la tabla periódica más pesados que el hierro. Y entendemos que esa diferencia es la que explica esa dicotomía que había, según la cual los elementos más livianos que el hierro eran más abundantes que los más pesados. Eso refleja el diferente proceso en que se forman los elementos. En la muerte de una estrella por una explosión violenta (aquí en el centro queda lo que se llama un púlsar, que es una estrella de neutrones) se producen los elementos más pesados que el hierro, como el oro o el platino, los materiales que son escasos justo por eso, y lo que tienen de bonito es saber que este oro que tiene usted por ejemplo en su anillo fue en algún momento producto de una explosión supernova en algún rincón de nuestra galaxia. A mí me parece que esto es realmente fascinante, y eso es lo que nos enseña la ciencia, que los metales más pesados que el hierro: oro, platino, uranio, se forman en explosiones supernova; es la única forma en que sabemos que es posible producir estos elementos.

Y así, una vez que el universo ha progresado, y las estrellas han producido los elementos pesados, se pueden formar entonces, y sólo entonces, planetas; porque mientras el universo tenga solamente hidrógeno, no hay planetas que podamos formar. Así que es un proceso evolutivo que va mucho más allá del que comienza con la Tierra. Y así, nosotros observamos con telescopios a veces cosas que podrían parecernos un agujero en el cielo, pero en realidad se trata de una nube oscura de material denso, que tapan el fondo de estrellas, y por lo tanto no se ve la luz a través de ella; es una región más densa que el espacio normal, y es ahí, en esas regiones, donde empiezan a formarse por contracción (gracias a la fuerza de la gravedad) nuevas estrellas. Y se forman en estas partes oscuras (esto es la nebulosa de Orión), y ahí nacen nuevas estrellas, y si hay elementos pesados nacen planetas como la Tierra. Y así entendemos nosotros que el planeta Tierra se formó en el pasado, hace 4.000 millones de años, en un proceso de acumulación de material, mediado por la fuerza de gravitación causada por las masas, y un proceso de acreción que genera entonces crecimiento de planetas. Y en el centro de la nube se forma el sol, y así comienza la historia de nuestro sistema solar, que contiene como ustedes saben ocho planetas, porque al pobre Plutón hace poco lo sacaron del club de planetas y ahora es un planeta enano; aunque a él no le importa, sigue siendo Plutón.

Vale la pena mostrar otra vez la gran diferencia entre los planetas telúricos, terrestres, pequeños y rocosos, y los grandes planetas exteriores, que

son gaseosos, y entendemos que fundamentalmente esa diferencia tiene que ver con el hecho de que se formaron a diferente distancia del sol, y por lo tanto a diferentes temperaturas; y eso permitió en algunos lados condensar esos gases y formar los planetas gigantes, en los lugares muy lejanos, mientras que en el caso de los planetas terrestres, los gases, por estar cerca del sol, no formaron parte del planeta en formación. Y así, con mucho más detalle, entendemos cómo se forma un planeta, cómo se forma un sistema solar, y cómo se forma la Tierra.

Recientemente, desde hace unos diez años, hemos podido contestar a una pregunta milenaria, que es si habrá planetas alrededor de otras estrellas. Si entendemos que el proceso de formación de estrellas y de planetas es un proceso universal, el principio de mediocridad nos obliga a pensar que no tiene sentido que haya sólo un sol con un planeta Tierra y nada más. Y esa pregunta, muy difícil de contestar, fue sin embargo respondida hace diez años, más o menos, cuando se descubrió el primer sistema planetario (hoy se han descubierto ya más de 200) alrededor de otras estrellas en nuestra galaxia. La forma en que se descubren estos sistemas planetarios se basa en los efectos que tienen los planetas sobre su propia estrella. Por la fuerza gravitacional, los planetas siempre los imaginamos dando vueltas alrededor del sol, pero esto es porque nuestro sol es muy masivo; en realidad, se mueve muy ligeramente, afectado por los planetas masivos, como en nuestro sistema solar Júpiter y Saturno. Por lo tanto, si alguien observara de lejos el sol, vería que muy levemente se está moviendo; la detección de este movimiento se hace observando la curva que representan los cambios periódicos de velocidad de la estrella que, en caso de tener planetas, muestra una senoide debido al efecto Doppler.

Aquí ven otro tipo de medida, de una estrella que se encuentra a 42 años luz de nosotros, y tiene tres planetas; esto es solamente un dibujo; los planetas de otros sistemas no se pueden ver directamente, pues la luz de las estrellas es millones de veces más intensa que la de los planetas; los detectamos indirectamente, y por lo tanto no sabemos mucho sobre sus características físicas, si son como la Tierra o no. Lo que sí sabemos es su masa, puesto que cuanto más masivo es el planeta, mayor es el cambio observado en la velocidad de la estrella. Y ciertamente, la mayoría de los planetas que se han detectado tienen masa mayor que la masa del planeta Júpiter. Pero eso es un efecto de selección; ya encontraremos planetas de masa como la Tierra, cuando tengamos los instrumentos necesarios, posiblemente en el espacio, para detectarlos.

Es decir, a la pregunta de ¿habrá otros planetas?, la contestación es sí. A la pregunta de ¿habrá otros como la Tierra?, no dudamos de que los haya, pero no podemos decir todavía que los hayamos detectado,

aunque es cuestión de tiempo. Es cuestión de cinco o diez años que mandemos al espacio telescopios capaces de hacerlo; ya hay planetas descubiertos con masa del orden de diez veces la de la Tierra y no dudo de que dentro de poco podamos leer que hemos encontrado un planeta de la masa de la Tierra. Pero eso tampoco quiere decir nada: lo importante es encontrar planetas que tengan agua, que tengan atmósfera, y que estén de su estrella a una distancia tal que tenga agua líquida (pedir que tenga agua no es mucho, puesto que está formada por dos de los elementos más comunes del universo: H₂O).

Con todo ello, ya hemos aprendido bastante de lo que yo llamo “el largo y sinuoso camino” (inspirado por una canción de los Beatles), donde una Tierra primitiva y muy distinta de la que conocemos hoy en día se forma en un ambiente lleno de colisiones (porque todavía está activo ese proceso de formación por acumulación de material), choques con cometas y asteroides, una superficie muy distinta y una atmósfera que no tiene oxígeno sino mayormente dióxido de carbono. Y así nace un planeta que, con el tiempo, va a contener, de una forma que no conocemos muy bien, una biología.

Cuando miramos la biología hoy, vemos que un 98% de la materia viva se compone de los mismos materiales que son los más abundantes del universo. Además, cuando miramos y comparamos los organismos, vemos que tienen una similar bioquímica, usan los mismos materiales, los mismos 20 aminoácidos, el mismo código genético se utiliza en casi todos los organismos, las mismas cinco bases para el DNA y el RNA. Es decir, vemos que también en el sistema biológico hay una unicidad en la gran diversidad que observamos; es el mismo proceso que observamos en el mundo material reducido a átomos; el mundo biológico se reduce a una cantidad de reacciones del mismo tipo, los mismos procesos, y las mismas estructuras. Todo lo cual sugiere un único origen para la vida, tal como la conocemos nosotros en la Tierra.

Es una larga historia de casi 4.000 millones de años: las tenues pruebas de los procesos biológicos más antiguos datan de 3.800 millones de años; ya para 3.500 millones de años se encuentran estructuras que se pueden interpretar como cianobacterias y como estromatolitos, como estructuras que vemos hoy en día y que indican que la vida surge en nuestro planeta bastante pronto, después de la formación del mismo (es decir, podría haber sido que la vida en el planeta surgiera a los 3.000 millones de años de la existencia del planeta, pero eso no fue así).

Si concentraran la historia de la Tierra en una película de tres horas, entonces nuestra especie aparecería en el último segundo: si usted parpadea, puede que no nos vea. Así, como decía antes, somos insignificantes en el tiempo, e insignificantes en el espacio.

El registro fósil es la ventana principal de la historia de la vida en el planeta, y nos ha enseñado muchas cosas. Entre ellas, que la vida ha evolucionado: había formas de vida en el pasado que no hay en el presente, y hay formas de vida del presente que no existían en el pasado. Particularmente, lo más normal sobre la tierra es que en las especies se extingan; viven por un tiempo y después desaparecen del registro, y no deberíamos preocuparnos mucho si lo mismo va ocurrir con nosotros. Y también sabemos que ha habido episodios de extinciones masivas, la última es la famosa en que desaparecen los dinosaurios, y de hecho da lugar al surgimiento de los mamíferos.

El proceso de vida lo conocemos ahora bastante bien. Ya entendemos bastante bien cómo está organizada, aunque exactamente no sabemos cómo surge; el proceso que lleva de algo primitivo a otros seres, no necesariamente a algo como nosotros, es un proceso muy sencillo, y es por eso que la teoría de Darwin tiene una potencia explicativa tan alta. Póngase a reproducir estructuras, pero no perfectamente, acepte que pueda haber una variabilidad en el proceso de reproducción, y que los diferentes organismos tengan distinta probabilidad de sobrevivir en un cierto ambiente. Y eso lleva por naturaleza a un proceso algorítmico automático, acumulativo, que favorece la supervivencia de ciertos organismos sobre otros. Y eso es toda la historia de la evolución. Se puede explicar una gran cantidad de lo que observamos en el registro fósil y en los laboratorios. Y por supuesto, con el descubrimiento de la estructura del ADN, se sabe bastante más.

Al inicio, la atmósfera terrestre era anóxida. Pero, con el tiempo, la acumulación de oxígeno producto de la fotosíntesis, al ser muy reactivo, forma inicialmente todos los óxidos que puede formar; y pasa bastante tiempo hasta que el oxígeno llega a los niveles de hoy en día, para permitir procesos de vida aeróbica. Así evolucionó la atmósfera terrestre, y surgió la vida en algún momento. No sabemos cómo surgió la vida, pero no por eso es de carácter sobrenatural.

Y hoy entendemos tantas cosas que no les puedo explicar todas, pero sí que vemos un proceso en el cual se comienza con organismos unicelulares, células primitivas, células más complejas, y luego organismos multicelulares; y en algún momento aparecen los humanos. Estas transiciones, cada una de ellas muy importante, merece la pena entenderlas. Y al final, uno encuentra a un individuo como éste, junto al radiotelescopio más grande del planeta; pero francamente puedo verme como nada más que $7 \cdot 10^{27}$ átomos, cuidadosamente organizados; así me veo yo, y nada más: un epifenómeno del mundo atómico.

Y lo único que nos diferencia del resto de compañeros de vida de este planeta es que somos conscientes de que existimos, y naturalmen-

te pensamos y hacemos cosas que no debiéramos hacer. Alguien se pregunta cómo es que el hombre se comporta como un perfecto idiota: tiene la inteligencia de diseñar cosas como artefactos de destrucción masiva, y tiene la estupidez de construirlos; somos inteligentes, pero se podría decir que no lo suficiente; quizá lo que necesitamos estos días no es sólo inteligencia, sino también sabiduría, que parece que nos falta. Pero hay que ponerlo en perspectiva: *homo sapiens* tiene unos 200.000 años sobre la tierra, y por otro lado la ciencia moderna que nos enseña estas cosas corresponde quizá al 1% de nuestra existencia. Es decir, quizá no somos tan avanzados como pretendemos: estamos muy cerca de lo primitivo, y nos cuesta desprendernos de esa herencia de 200.000 años de proceder de cierta forma; cambiar ahora no parece ser tan fácil.

Basta mirar a la luna para ver que esto fue un vecindario peligroso; los cráteres lunares son producto de choques con objetos de alta velocidad; en el pasado más que en el presente, pero ciertamente en la Tierra encontramos cientos de restos de lo que fueron cráteres de impactos en el pasado. En la Tierra, por la geología y la erosión, estos cráteres poco a poco se borran, mientras que en la luna han quedado ahí para siempre.

Aquí ven un cráter sobre Yucatán, y esto me lleva al iridio, porque hay una transición entre rocas del Cretácico al Terciario, que es la que coincide con la desaparición de los dinosaurios, con gran abundancia de este elemento, que no es común en la Tierra, pero sí en objetos como asteroides y cometas. Y esto nos lleva entonces a toda una historia que concluye, basándose en esto y en otras evidencias, que lo que ha pasado hace 65 millones de años es que un objeto de unos diez kilómetros de tamaño chocó con la tierra causando un grave daño, y provocando entonces la muerte de una gran cantidad de especies de esa época, dando lugar al surgimiento de nuevos organismos. El cráter subterráneo que se ha encontrado en el norte de Yucatán data de hace 65 millones de años, y coincide con nuestra idea de lo que ocurrió.

Y entonces nos preocupa el posible impacto futuro de algún objeto, que a veces leemos que pasa demasiado cerca para nuestro gusto. Pero yo no me preocupo de un impacto con un asteroide, me preocupo de cosas como ésta: la explosión que ocurre en la Tierra es una explosión lenta, pero que tiene que ver más con nosotros que con el cosmos: es una explosión demográfica en la cual estamos participando, y que nos lleva de unos 6.000 millones de humanos en el año 2000 a un potencial de 8 ó 9.000 millones en el año 2050. Es lo que creo que nos tiene que preocupar a todos, viendo el planeta como lo puede ver un astrónomo desde afuera; y lo que yo veo es como si tuviéramos un cáncer en la superficie; sería muy distinto si solamente fuéramos 1.000 millones.

El producto de toda nuestra actividad es que hemos observado un incremento, bastante bien documentado, del contenido atmosférico de gases de invernadero, en particular el dióxido de carbono, lo que ha llevado a un alza de la temperatura media del planeta, que como ustedes saben es un problema muy grave, y todos deberíamos ver si podemos convencer a nuestros gobiernos de tomar medidas en serio para aliviar un futuro que no se ve nada bueno.

Ya saben ustedes que pasamos a ser una fuerza global; la primera vez que nos dimos cuenta fue cuando descubrimos que ciertos productos nuestros estaban causando un grave deterioro de la capa de ozono, que es la que defiende la vida de la radiación ultravioleta solar.

Hay vida en la tierra, y lo que acabo de decir es que yo no estoy muy seguro de si esa vida va durar mucho o poco; yo tiendo a pensar que no duraremos mucho en un futuro, si seguimos como estamos. Y ya uno se empieza preguntar si no habrá vida en otros planetas; ya hace un par de miles de años Tito Lucrecio Carus, en "De rerum natura", en el primer siglo dice "Se lo digo una y otra vez: más allá de nuestro mundo existen otros lugares, otras combinaciones de la materia conformando otros mundos; ah, el nuestro no es el único". Hace 2000 años ya había gente que especulaba con la vida en otros planetas. Más recientemente, en 1580, nuestro querido Giordano Bruno escribe: "existen innumerables soles, innumerables tierras giran alrededor de estos soles al igual que los siete planetas giran alrededor del sol"; lamentablemente, eso no estaba de acuerdo con algunas formas del momento y Bruno fue quemado vivo en el año 1600. Hoy por suerte eso ya es cosa del pasado, por lo menos en algunas naciones.

Más recientemente, Percival Lowell, un acaudalado comerciante de Boston que se dedicó a elucubrar sobre la posibilidad de vida en Marte, avista desde un telescopio (antes de la utilización de la fotografía), la existencia de unas estructuras que le parecían canales. Y Lowell describió en 1908 en un libro a Marte como un lugar para la vida, y de ahí surgen todas esas historias de los marcianos, y todas estas fantasías muy interesantes sobre el mundo marciano.

Y ciertamente nos interesa saber si Marte tiene o ha tenido vida; probablemente en su pasado fue más similar a la tierra, y podría tener aún ahora algún vestigio de una vida pasada, y nos interesa ciertamente saber si eso fue así o no. Al visitar su superficie hemos visto que es un lugar inhóspito, que no tiene absolutamente nada para poder sobrevivir en esa superficie.

Otros lugares del sistema solar podrían ser las lunas de Júpiter; hay una en particular, Europa, que tiene una superficie de hielo; es decir, agua, aunque congelada por la distancia al sol. Pero hace no tanto se des-

cubrió que Io, la luna de Júpiter más cercana al planeta, tenía vulcanismo; y si lo hay, es que hay calor interno, que hoy se entiende que es debido a la gravitación de Júpiter. Y si ese mecanismo se diera también en Europa, que es la siguiente luna de Júpiter (cosa que es probable porque se ven desplazamientos en su superficie que indican que hay una geología), podríamos preguntarnos si debajo de la superficie congelada podría haber, por calentamiento interno, una zona donde hubiera agua líquida. Y nuestra experiencia nos dice que donde hay agua líquida, hay vida. Y así, nos preguntamos si en las profundidades Europa, debajo de unos kilómetros de hielo, no podría encontrarse un océano con agua, y quizás fuentes hidrotermales como encontramos en los océanos terrestres; y si en ese ambiente pudiera haber alguna forma de vida.

Quisiéramos encontrar vida en algún lugar de nuestro sistema solar; y analizar esa vida, y saber si es idéntica a la nuestra o no; sería una de las preguntas que quisiéramos contestar, porque nos diría entonces algo acerca de si la vida es común o no en el universo.

La otra forma de encontrar vida sería detectar lo que llamamos vida tecnológica, recibiendo mensajes. De hecho, nosotros hemos mandado un famoso mensaje desde el observatorio de Arecibo a este cúmulo de estrellas que se encuentra a unos 15.000 años luz; lo cual quiere decir que llegará allá dentro de 15.000 años, y si alguien detecta ese mensaje y responde, dentro de 30.000 años recibiremos la contestación. Lógicamente, esa idea de comunicarnos con extraterrestres es una idea absurda debido a las enormes distancias que median incluso entre las estrellas más cercanas. Pero no se trata de comunicación, sino de detección de algún tipo de onda electromagnética (comunicarnos, no nos podemos comunicar muchas veces aquí en la tierra con un mismo idioma, imagínense lo que sería intentar hacerlo con un extraterrestre).

Sin embargo, hay mucha gente que cree que aquí y ahora, nosotros en Arecibo comunicamos cotidianamente con los extraterrestres, que curiosamente siempre se parecen a la última película de Hollywood. Uno se pregunta por qué hay tanta gente siempre dispuesta a creer que hay extraterrestres entre nosotros, y que en el observatorio de Arecibo conversamos con ellos a toda hora. O que después de una odisea increíble, sus naves del futuro se estrellan miserablemente en cualquier desierto. Yo creo que esto se relaciona quizás con la necesidad de creer en algo: los sabios extraterrestres son en realidad la reencarnación en cierto sentido de los antiguos dioses, aquellos que ya no necesitamos para empujar a los planetas, puestos al día.

Para finalizar, me da mucha pena que nosotros no nos demos cuenta de que somos todos parte de un mismo entorno, de una misma ecología; de una misma familia de la cual éste es mi primo, el mío, que usa

herramientas para comer termitas, que tiene un genoma que sólo se diferencia del mío en un 2 ó 3%; quiero decir que un pequeño cambio genético produce un cambio en el fenotipo extraordinario. Lo triste es que se están extinguiendo, y lo hacen gracias a nosotros.

Yo escribí en algún lado esto: “si, como creen algunos, una corte universal se encargará de juzgar a los humanos al final de los tiempos, ahí estribará la razón para encontrarnos culpables: la extinción de todos ellos. Aunque nosotros, por supuesto, nos declararemos inocentes por no haber estado en nuestro sano juicio, y entonces nos condenarán al manicomio, y nos sentiremos como en casa. Es que hemos puesto en peligro el delicado equilibrio de la biosfera, producto de una maravillosa historia, revelada por la ciencia”. Por otro lado, si en un futuro no muy lejano realmente detectamos una señal extraterrestre que podamos constatar que proviene de algo que es vida en otro planeta, entonces yo por lo menos diré que sonreirá el espíritu de Giordano Bruno, si me permiten esta forma poética de decirlo.

Y con esto les agradezco la atención que me han prestado.



Un momento de la exposición de D. Daniel Altschuler