

TEORIAS FISICAS SOBRE EL ORIGEN DEL UNIVERSO

por Fausto T. L. GRATTON (Bs. As.)

Señor Rector, distinguidos colegas profesores e investigadores, señoras y señores, les agradezco la oportunidad de exponer algunas ideas sobre un tema que pondría en apuros a hombres mucho más calificados para ello que yo. Mi autoridad en esto es casi nula, puesto que no soy un cosmólogo profesional y no soy un astrónomo. Tan sólo puedo invocar en mi ayuda mi carrera científica en una disciplina, la física del plasma, que es básica para la comprensión de muchos fenómenos astrofísicos. Al preguntarme por qué razón iba a hablarles, casi la única respuesta que encontré fue que la gentileza de Monseñor Aguer así lo había determinado. Finalmente pensé que aún con todas las limitaciones señaladas podrían tener algún interés testimonial las impresiones personales de un físico frente a estos problemas insondables, pudiendo el oyente aceptar o rechazar en todo o en parte mis opiniones.

Para Aristóteles el mundo era eterno pero limitado por la esfera de las estrellas. La revelación cristiana introduce en la filosofía el concepto de la Creación. El mundo medieval es finito y tiene un origen temporal. Al entrar en la modernidad el hombre es destronado de su condición central en la concepción aristotélico-medieval. Copérnico lo envía a pasear por el cosmos a fin de ahorrarle los epiciclos de Ptolomeo. Se pierde luego como mota de polvo en la inmensidad del "infinito universo et mundi" de Giordano Bruno y sucesores. El hombre comienza a tener la sensación de que Dios lo abandona en brazos de la gravitación universal de Newton, después de poner en movimiento, con un gran empujón inicial, el sistema planetario. Así el sistema solar comienza a ser explorado y explicado mediante una nueva ciencia: la mecánica y un nuevo instrumento, el anteojo astronómico. Este par, progreso conjunto de la teoría y de la técnica, signará el desarrollo de todas las ideas cosmológicas de allí en adelante.

Newton no se pronunció acerca de la infinitud del universo material, y aún hay razones para pensar que lo creía finito. La combinación de infinitud material y geometría euclidiana conlleva a paradojas gravitacionales y luminosas que fueron puestas de manifiesto por Lambert (siglo XVIII) y Olbers (siglo XIX). Paradojas que fueron luego más o menos ignoradas hasta nuestro

siglo, y que arrojan dudas sobre la posibilidad lógica de un mundo infinito y eterno (1,2). Kant, un gigante del pensamiento puro, no conoció las paradojas mencionadas, y en sus incursiones por el campo de las ciencias se inclinó por un universo infinito. En compensación Kant tuvo la feliz premonición de los universos islas, o distribución de las estrellas por galaxias, aunque esta idea no cuajó en su tiempo y no fue recogida por la comunidad científica. Mientras tanto el hombre quedaba solo al ponerse en boga la célebre hipótesis de Kant-Laplace acerca de la formación del sistema solar a partir de la contracción de una nebulosa inicial, concepción en la cual Dios ya no tenía papel alguno: Ni Kant que fuera precursor, ni Laplace (famoso físico matemático y político amateur) después, quien trató en forma independiente (aunque diferente) la idea de la nebulosa, formularon la hipótesis cosmogónica sobre bases físicas sólidas. La idea quedó flotando, tan nebulosa como la nebulosa inicial, hasta mediados del siglo XX, cuando fue completamente reformada para explicar la formación del sistema planetario (3). A una pregunta de Napoleón, Laplace quien actuó como su Ministro del Interior por seis semanas, del por qué en su voluminoso tratado de mecánica celeste no se mencionaba una sola vez al Autor del universo, contestó Laplace: "Sire, es una 'hipótesis' que no he necesitado". La conjetura de Kant-Laplace tenía fatales defectos, entre otros el de no conservar el momento angular, sin embargo tuvo amplia difusión en los ambientes científicos y positivistas del siglo pasado.

Expresar la sensación de la infinita pequeñez e inutilidad daba a cargo de los poetas. Giacomo Leopardi, para algunos el más grande poeta italiano, decía de la Vía Láctea en su poema *La Ginestra* (4) (La retama) de 1836:

“... e quando miro
 Quegli ancor più senz'alcun fin remoti
 Nodi quasi di stelle,
 Ch'a noi paion qual nebbia, a cui non l'uomo
 E non la terra sol, ma tutte in uno,
 Del numero infinite e della mole,
 Con l'aureo Sol insiem, le nostre stelle
 O son ignote, o così paion come
 Essi alla terra un punto
 Di luce nebulosa; al pensier mio
 Che sembri allor, o prole del uomo?”

(... y cuando miro esos nudos de estrellas infinitamente más remotos, que nos parecen niebla, para las cuales no solamente el hombre y la tierra, sino todas juntas nuestras estrellas, infini-

tas en número y tamaño, incluyendo el áureo Sol, o son ignoradas, o se asemejan a como ellos se ven desde la Tierra, un punto de luz nebulosa, y entonces a qué te pareces en mi pensamiento oh prole humana?).

A principios del siglo XX las premoniciones de Lambert y Olbert, y los universos islas de Kant yacían en el olvido. Las nebulosas espirales se concebían como parte de la galaxia, entonces nuestro infinito sistema de estrellas (5).

A partir de ese momento los cambios de nuestra concepción del universo se desenvuelven de manera vertiginosa, semejando una gran inundación que todo lo arrolla, acompañando un trastocamiento de todas nuestras ideas sobre la física, la matemática, la astronomía. La nueva física nos obliga a organizar nuestros razonamientos de manera muy diferente de la física clásica. Es un nuevo lenguaje que resume y compacta un gran caudal de experiencia y teoría en nuevos conceptos o definiciones, de gran poder explicativo y también predictivo. La idea de la Gran Explosión nace con el reconocimiento observacional de la naturaleza de nuestra Vía Láctea, su ubicación como miembro de una gran familia de sistemas parecidos, y por el descubrimiento del corrimiento hacia el rojo del espectro de la luz de las galaxias lejanas. Por otro lado la teoría de la Gran Explosión se apoya en la concepción geométrica de la gravitación y del universo, que comienza con Einstein, en la segunda década del siglo (5).

Entre 1920 y 1930 quedó demostrada por la paciente labor de los astrónomos y la construcción de los grandes telescopios en EE. UU. que nuestra galaxia es una isla de estrellas, y que las nebulosas espirales están fuera de nuestra galaxia y son otras tantas galaxias de estrellas lejanas. El Universo está formado por incontables sistemas de estrellas, separados entre sí por espacio vacío, los que parecen huir unos de otros (flujo de Hubble) (6).

En cuanto al desarrollo de la física recordaré que la teoría restringida de la relatividad (1905) introduce un cambio en el concepto de tiempo. Dos acontecimientos simultáneos para un observador, no son simultáneos para otro. Para cada observador hay un conjunto de hechos del Universo que no pueden tener relación causal con él. Tiene significado invariante una extensión matemática de la noción de distancia en un espacio-tiempo de cuatro dimensiones concebido como un ente matemático abstracto (7). Esta concepción produce una modificación profunda de la mecánica: se deriva una relación entre masa y energía, fundamental para la física de partículas atómicas y subatómicas.

La teoría general de la relatividad y la gravitación es en el fondo la menos “relativista” de las teorías de Einstein, puesto

que la presencia de materia establece referencias absolutas en el espacio-tiempo. La mecánica de Newton desaparece y es sustituida por la geometría, la curvatura reemplaza a la gravedad, la más común y sentida de las fuerzas. El hombre y los cuerpos que lo rodean sienten esa curvatura del espacio-tiempo, pero también la curvatura siente la presencia de las masas (o de la energía) distribuidas en el universo. De esta influencia dual se derivan las célebres ecuaciones de la relatividad general (5, 7).

Cuando Einstein quiso construir un modelo de universo cerrado y estático tuvo que introducir en sus ecuaciones un efecto de repulsión, para vencer la gravitación y establecer el equilibrio. Aquí comenzó la "vexata quaestio" del término cosmológico, que le hizo perder la ocasión de descubrir la expansión del universo, hecho que Einstein lamentó amargamente. El joven canónigo belga Lemaitre (estudiante del gran físico teórico Eddington) en 1927 eliminó el término cosmológico, y encontró la solución de las ecuaciones de Einstein que describían la expansión (5). Otros pudieron haber hallado antes la misma solución, pero no supieron darle valor. La prioridad indiscutible de Lemaitre fue que asoció su solución con el corrimiento hacia el rojo de las galaxias, y su interpretación como velocidad de recesión. Es decir, conectó la teoría con las investigaciones de Hubble, Shapley y otros astrónomos de la época en materia de galaxias, y dio origen a la teoría del "universo en expansión" (6, 8). Desde entonces esta teoría ha tenido un éxito considerable, y una difusión y popularidad pocas veces alcanzada por otras doctrinas en la historia de la física y la astronomía. En cuanto a la historia curiosa del término cosmológico, diremos que ha vuelto a ser una cuestión importante en la cosmología de nuestros días debido a que en la teoría cuántica de campos el estado "vacuo" a través de su energía contribuye con un término de este tipo (9, 10).

Cuando se reconstruye la trayectoria temporal de las galaxias, mediante la velocidad de recesión, el universo parece arrancar a un tiempo $t = 0$, ocurrido hace alrededor de 10×10^9 (9) años, con una escala espacial nula. El universo entonces no es eterno, y ha surgido a partir de una bola de fuego primordial, correspondiente a estados de gran compresión y energía. Con la explicación de la síntesis nuclear de los elementos livianos a partir del hidrógeno, 3He , 4He , D , 7Li , en proporciones similares a la observadas en el universo actual, por un lado, y el descubrimiento de la radiación cósmica de fondo en microondas, energía residual de la gran explosión, por otro lado, se obtuvo un apuntalamiento observacional suplementario. La suerte de la teoría estaba hecha y se convirtió en la cosmología dominante

de nuestra época. A esta etapa de la teoría cumplida en la década del sesenta la llamaremos Gran Explosión clásica (8, 11).

Para comprender el desarrollo posterior de la teoría de la Gran Explosión debemos recapitular también la evolución de la física del microcosmos.

La mecánica cuántica consolidada entre 1920 y 1930 es la llave para comprender el mundo de lo inconcebiblemente pequeño. El comportamiento de los entes atómicos escapa completamente a la mecánica de Newton. Es una nueva forma de concebir las relaciones entre los fenómenos. El principio de incerteza de Heisenberg signa el ocaso de nociones clásicas como la de una trayectoria precisamente determinada. Principios fundamentales como el de conservación de la energía, pueden ser violados durante tiempos breves que cumplan una relación de incerteza con la energía (12, 13).

El casamiento de la mecánica cuántica con la relatividad restringida produjo resultados inesperados. Nuevos cambios de los conceptos tradicionales de fuerzas, y de espacio vacío entre los cuerpos. Estos cambios comienzan con la teoría de Dirac, alrededor de 1930 y el descubrimiento del positrón pocos años después. Culminan en una de las teorías más precisas de la historia de la física, la electrodinámica cuántica, que alcanza su apogeo en los años sesenta. Por cada partícula existe una antipartícula, con la misma masa, la misma vida media y propiedades eléctricas opuestas, tal que las dos pueden aniquilarse mutuamente y transformarse en energía. Viceversa, una cantidad de energía electromagnética puede dar nacimiento en el vacío a un par partícula y antipartícula. Las partículas tienen una propiedad fundamental llamada "spin", que se asemeja a una rotación intrínseca. La naturaleza física se divide en dos grandes familias fundamentales de partículas. Los fermiones, que constituyen las partículas de materia, como el electrón y el protón, tienen spin impar y están sujetos a un principio de exclusión. No pueden amontonarse y estar juntos en el mismo estado. Y los bosones, que tienen spin par, como por ejemplo el fotón, son los mediadores de todas las fuerzas conocidas. Estos son gregarios, y pueden juntarse en el mismo estado (12, 13).

En la teoría cuántica de campos, toda fuerza se transmite de una partícula a otra mediante otra clase de partículas llamadas mediadoras. Se elimina la noción de acción a distancia, debatida por filósofos y científicos desde la antigüedad a nuestros días. Dos electrones se repelen (interaccionan) mediante la emisión por uno y la absorción por el otro, de una partícula intermedia, el fotón, un cuanto del campo electromagnético. Los estados sin partículas de un campo cuántico llamados estados de vacío,

tienen la capacidad de producir continuamente pares de partículas materia-antimateria, violando transitoriamente la conservación de la energía, por breves instantes. Se trata de las partículas “virtuales”, que aparecen y desaparecen con las fluctuaciones cuánticas del campo. Ese vacío tan peculiar no es una ficción matemática de la teoría. Sus consecuencias pueden revelarse en refinados experimentos de laboratorio, son parte de la observación cotidiana de la física de los gigantescos aceleradores de partículas. Si se introduce un fotón en ese vacío, el par partícula-antipartícula puede adquirir existencia “real” o permanente. A tan especial espacio vacío conviene distinguirlo con otro nombre, lo llamaremos “vacuo” o “vacuum”, y es un estado de la teoría cuántica de las fuerzas (12, 13).

Lo que se ha dicho para el electrón y la fuerza electromagnética, se puede extender a todas las partículas elementales y todas las fuerzas. Esta gran síntesis de teoría y experimentación fue desarrollada entre 1960 y 1980 aproximadamente. Toda la materia se construye con fermiones: seis quarks y seis leptones, que son partículas elementales, son puntos de fuerza ideales, puesto que no tienen estructura. Hay pues doce partículas básicas y doce antipartículas. Los quarks forman por ejemplo los neutrones y los protones, en general los hadrones (mesones y bariones: centenares de partículas exóticas de los experimentos con grandes aceleradores). Los leptones incluyen el electrón y su neutrino, y luego los muones y tauones con sus respectivos neutrinos. Se conocen sólo cuatro fuerzas fundamentales, con sus mediadores respectivos. El fotón, agente del campo electromagnético, acopla las cargas eléctricas de todas las partículas. Los gluones ejercen la fuerza fuerte en el mundo subnuclear y acoplan de variadas maneras los quarks. Son los mediadores del campo cromodinámico cuántico. Luego tenemos tres bosones vectoriales (W^+ , W^- , Z_0) que median la fuerza débil (la cual interviene en ciertos procesos de desintegración radioactiva) y que acoplan quarks con electrones y neutrinos (12-15).

Finalmente está la fuerza de gravedad que debería transmitirse mediante el gravitón, cuanto del campo gravitatorio, todavía no detectado. En verdad la teoría cuántica entra aquí en colisión con la teoría general de la relatividad donde, como hemos visto, la gravedad desaparece como fuerza para convertirse en curvatura del espacio-tiempo. El matrimonio de estas dos grandes doctrinas, del macrocosmos y del microcosmos, afanosamente promovido durante los últimos cuarenta años, no ha podido aún sustanciarse.

Un concepto importante y reciente de las teorías de los campos de fuerzas, el cual juega un papel esencial en la nueva

versión de la Gran Explosión, es el de la unificación de estas fuerzas, como expresión de una simetría físico-matemática subyacente. Es decir, las distintas fuerzas son manifestaciones separadas, a bajas energías, de una fuerza única en estados de alta energía. La simetría lleva al reconocimiento de que las distintas partículas elementales pueden ser expresiones de campos más fundamentales, y pueden transformarse unas en otras. Se piensa que las cuatro fuerzas estuvieron una vez unidas en las tremendas energías del universo recién nacido. A poco de $t = 0$, en el tiempo de Planck 10^{-44} segundos, la temperatura era 10^{32} grados Kelvin (que equivalen a 10^{25} eV). Allí tendríamos una teoría de todas las cosas todavía en precario estado de elaboración, donde podría desaparecer la diferencia entre vacuo y partículas reales. Una teoría que unifica la fuerza electromagnética con la fuerza débil, la teoría del campo cuántico electrodébil, ya ha sido verificada experimentalmente a energías de 10^{11} eV = 10^{15} grados Kelvin. Una teoría de gran unificación (GUT: grand unified theory) ha sido propuesta (aunque no es tan completa como la electrodébil) y unifica la fuerza electrodébil con la fuerza fuerte a una energía de 10^{24} eV = 10^{28} grados Kelvin, inalcanzable para las posibilidades técnicas del hombre. La GUT recibe el nombre de modelo standard de la materia. Aquí la simetría entre materia y antimateria es completa y la naturaleza ya no distingue entre partículas y antipartículas. Estas ideas actuales de unificación, tienen lejanos precursores en la búsqueda de la sustancia única, madre de todas las cosas, de los antiguos filósofos de la Jonia (13-15).

Durante la década del 70 se reconoció que el modelo clásico del “big bang” tenía varias dificultades serias, quizás la más grave el llamado problema de “horizonte”. En la primera versión no hay forma de explicar la isotropía de regiones no conectadas por vías causales. Estos problemas, y los progresos de las llamadas teorías unificadas de partículas impulsaron a los físicos a ir más allá e iniciar el “descensus Averno” hacia el tiempo inicial, $t = 0$, a la búsqueda de la solución. Eso ocurrió en la década del '80 y se denomina teoría inflacionaria de la Gran Explosión que paso ahora a describir (16). Las propiedades de ese universo sólo son para nosotros abstracciones de carácter matemático. Para el cosmólogo la única justificación de remontar tan atrás en el tiempo, es la esperanza de encontrar hoy en el universo algún resto fósil de esa época misteriosa e inaccesible. De poder explicar algún hecho del presente en base a fantasmagóricos e hipotéticos procesos de los tempúsculos iniciales.

La nueva teoría del universo inflacionario, en cierto modo, es una super gran explosión en la cual se genera espacio verti-

ginosamente durante una etapa de duración mínima, seguida luego por la Gran Explosión clásica, pero partiendo entonces de un universo enormemente más grande (16-24). Se pretende que la física exótica, las teorías cuasi-metafísicas de gravitación cuántica, ocurran durante el tempúsculo de 10^{-44} segundos, época de Planck. Al comienzo de la inflación tenemos $t = 10^{-36}$ segundos y $T = 10^{28}$ grados Kelvin. En este intervalo los tres campos fundamentales están unificados (GUT: teoría de la gran unificación) la expansión sigue una ley normal $R \propto \sqrt{t}$, $T \propto 1/\sqrt{t}$, y una parte del universo mayor de la que se encuentra en el interior del "horizonte" actual se homogeneiza. Luego ocurre la inflación. El "vacío" o "vacuo" de la teoría cuántica de campos tiene distintos estados con diferentes energías en GUT. Entre mínimo y máximo estos "vacuos" o estados sin partículas tienen diferencias casi inconmensurables de energía. La "presión" ejercida por el estado "vacuo" es negativa. El "vacuo" cuántico se comporta como un medio continuo artificial que produce repulsión cósmica. A $t = 10^{-36}$ segundos se forma un falso "vacuo" inestable de GUT. Arranca la inflación duplicando cada región del universo cada 10^{-34} segundos, en progresión exponencial. Durante la superexpansión T decrece a 0 grados Kelvin. El falso "vacuo" entonces decae al "vacuo" verdadero, que es origen de nuestro espacio actual, o por mejor decir del "vacuo" de las teorías de campo actuales. El universo se llena instantáneamente de inmenso calor, la energía del falso "vacuo" se descarga en forma de radiación, que lleva al universo a cerca de 10^{27} - 10^{28} grados Kelvin. De allí empiezan los procesos GUT a ocurrir y la materia única comienza a distinguirse y diferenciarse. A partir de $t = 10^{-31}$ segundos el universo se desarrolla de acuerdo a la gran explosión clásica. La energía térmica genera materia y antimateria, el universo se expande y enfría, y paso a paso todas las estructuras que observamos hoy en día se establecen (¡la materia adquiere formas!). Recapitulando, el espacio cuántico o "vacuo" "explota" y se pone en marcha el motor universal. En $t = 10^{-31}$ segundos los campos cromodinámicos y electrodébil (CCD y CWD) están completamente diferenciados; además se ha formado la desigualdad entre partículas y antipartículas, que permite a las primeras de sobrevivir (debido a su exceso por sobre las otras) cuando desaparecen de a pares. La expansión sigue ahora con ritmo normal $R \propto \sqrt{t}$, $T \propto 1/\sqrt{t}$, salvo en los cambios de fase debidos a la desaparición de partículas inestables, a medida que la energía térmica (kT) supera su energía propia. Antes de la inflación, entre 10^{-44} y 10^{-36} segundos teníamos solamente leptones (las partículas livianas elementales) y quarks (los constituyentes básicos de los nu-

cleones) e igualdad de partículas y antipartículas, el todo mediado por los bosones X de la GUT. Esta es la materia unitaria, existente en el comienzo junto con un germen de espacio-tiempo. Podríamos decir que aparece en el momento creacional del universo. Antes de esto no hay tiempo ni espacio, por lo menos en el sentido que puede darle la ciencia actual. Durante la inflación se rompe la simetría GUT, ahora se diferencian leptones de mesones y bosones. Es decir los quarks quedan confinados para siempre, "nota bene", en las partículas pesadas. Sigue la simetría electrodébil y los mediadores de la interacciones son los bosones W, Z. La materia se ha diferenciado dominando completamente la antimateria. La materia queda pues como residuo de la gran ruptura GUT. La expansión continúa, y a menores energías se rompe la simetría electrodébil. Las cuatro fuerzas están diferenciadas y el esquema se reconecta con el "big bang" clásico (13, 15, 16).

La física nos ha acercado a $t = 0$, y en ese momento al universo tiene escala espacial nula. El inicio trasciende la física y merece entonces ser evocado por la intuición poética. Personalmente me inclino por la descripción del momento de la Creación en la Divina Comedia. Esta obra refleja las cumbres de la ciencia teológica medieval, heredera de la filosofía griega antigua y formadora de una nueva gran síntesis con la Revelación cristiana.

.....
 Forma e materia, congiunte e purette,
 uscuro ad esser che non avía fallo,
 come d'arco tricordo tre saette.
 E come in vetro, in ambra o in cristallo
 raggio, risplende sí, che dal venire
 a l'esser tutto non è intervallo,
 cosí 'l triforme effetto del suo sire
 ne l'esser suo raggìo insieme tutto
 senza distinzione in esordire.

Paradiso XXIX.

.....
 Materia y forma, juntas y depuradas
 procedieron de acciones integrales,
 flechas de arco tricorde disparadas.
 Como en el vidrio, en ámbar o en cristales,
 venir, mostrarse, rayo reflejado,
 son acciones y efectos iniciales,
 así el triforme efecto fue irradiado,
 en su completo ser, de Dios nacido,
 sin principio ni fin en lo acabado.

(Trad. B. Mitre)

El comentario (17) de la Divina Comedia nos explica que ya ha hablado Dante de la universalidad de la sabiduría divina "a cui tutti li tempi son presenti" Par. XVII, 18 y que se halla "In sua eternità..." antes de que existiera el tiempo. El cual principio desde la Creación y desde el movimiento del Primer Móvil (Par. XXVII, 118). Está fuera de lo que contiene toda otra cosa, es decir fuera del espacio, así como fuera del tiempo, porque el espacio comprende en sí toda cosa material y es con-creado (creado junto) con ella. No se piense que antes Dios permaneció sin obrar (en descanso) porque el acto de la creación no fue ni antes, ni después, fue fuera del *tiempo* según la definición aristotélica de que el tiempo es movimiento. "Forma e materia...": forma pura y materia pura, y la forma adjunta con la materia, creadas en el mismo acto por Dios, obtuvieron ser o existencia incorruptible, que no puede fallar o perder intensidad. "Forma e materia... usciro ad esser que non avía fallo, come d'arco tricordo tre saete": sin defectos, sin falta alguna de lo que constituye su *ser* (en su *ser entero*). "Come d'arco tricordo": aparecen instantáneamente los tres elementos forma, materia y forma adjunta a la materia. "E come in vetro, in ambrà o in cristallo raggio risplende sì...": la triple naturaleza creada salió de la mente divina en un instante sin distinción de tiempo (es la doctrina de San Agustín de la instantaneidad de la creación. De Civit. Dei XII, Qu. LXXIV, 2). Desde la llegada del rayo al cristal a su difusión en el vidrio todo en un mismo instante. "Così 'l triforme effetto del suo sire...". Así la forma pura, la materia pura y la forma adjunta a la materia, salieron del LUMEN DE LUMINE, como un rayo luminoso en plena e instantánea existencia, sin que en el acto creativo hubiera distinción de tiempo (el tiempo no había comenzado) (17).

Considerando esta poesía y su doctrina, ¡cuán sugestiva es la descripción de la creación, y cuán ajustada a la concepción moderna de que espacio, tiempo y materia se originan juntos en el comienzo del universo! ¡Y qué decir de la potencialidad (sin forma) de la materia primigenia, que se separa y adjunta luego a distintas formas con distintas propiedades!

Veamos ahora los aspectos críticos de la teoría de la Gran Explosión.

Si bien la mayoría de los astrónomos y físicos que investigan la estructura del universo aceptan el corrimiento al rojo como efecto de la fuga de las galaxias, y su explicación cosmológica en función de un espacio-tiempo en expansión, no faltan disidentes que tienen otras propuestas. La disidencia existió desde el comienzo de la hipótesis de la gran explosión, y con avances o retrocesos, una activa minoría continúa hasta nuestros días. Con-

vendrá indicar algunas de estas posiciones porque no sería correcto dejar la impresión de que la gran explosión ya no se cuestiona. Por otro lado, no son pocos los ejemplos en la historia de una teoría dominante súbitamente desplazada por nuevos descubrimientos. Justamente por ello quisiera también mencionar algunas recientes observaciones astronómicas que presagian dificultades para el modelo de gran explosión. Un conjunto de críticos, liderados entre otros por Hannes Alfvén (premio Nobel 1970), y por Anthony Peratt (del Laboratorio Nacional de Los Alamos, EE. UU.) sostiene que las fuerzas electromagnéticas generadas por el plasma son y han sido tan importantes o más que la gravedad en la conformación de las estructuras del universo (18). Según esta escuela el espacio (interestelar, e incluso grandes halos que rodean las galaxias, o en chorros que se desprenden de ellas) está lleno de una red de corrientes eléctricas que transfieren energía y cantidad de movimiento a muy grandes distancias. En cosmología, como en astrofísica, el estado de la materia es con un predominio avasallador estado de plasma (es decir, materia ionizada, electrones separados de los núcleos positivos). Por lo tanto, esta tendencia sostiene que es necesario considerar el complejo comportamiento y las propiedades del plasma en el desarrollo de la cosmología. Esto no ha sido tomado en debida cuenta por la escuela del "big bang" ortodoxo, pero en cambio es una temática que cultiva la escuela de astrofísica del plasma. El plasma astrofísico tiene una estructura celular, como se desprende del ejemplo de la magnetosfera terrestre. Existen muchas regiones de transición que separan plasmas con diferentes propiedades y composición química. La exploración espacial ha puesto de manifiesto estas transiciones con observaciones "in situ". Se cree que la estructura celular del espacio interplanetario, se extiende a otras escalas, por ejemplo viento solar, viento interestelar, y aún galáctico, formando una jerarquía de celdas de plasmas. Peratt ha conseguido un notable éxito en la explicación de la morfología y la emisión de radiación de cuasares (objetos casi-estelares) y radio galaxias dobles, mediante una teoría y la simulación numérica de la interacción dinámica de grandes filamentos de corriente en plasmas, y la correspondiente radiación de sincrotrón (emisión de electrones en campos magnéticos). Estos resultados sugieren que radiogalaxias o cuasares, aparentemente no relacionados, pueden ser todos parte de una misma especie, sólo que en diferentes fases de su evolución, mientras se convierten en galaxias espirales. Campos magnéticos del orden de miligauss predichos por la teoría son confirmados por observaciones recientes (F. Yusef-Zadeh, Morris y Chance, 1984) de alta resolución en el continuo de radio (longitud de onda: 1 cm - 10 cm)

en el centro de nuestra galaxia. Asimismo hay evidencias (R. Beck, 1990) de filamentos en galaxias espirales externas, y aún de emisión de plasmas (viento galáctico). Tully y Fisher (1987), han encontrado que las galaxias cercanas tienden a encontrarse en una vasta red interconectada de filamentos, y que fuera de estos hay vastas regiones donde no hay materia visible (18).

Esta concepción de un universo de plasma puede modificar considerablemente el cuadro actualmente vigente de la formación y evolución de galaxias y estrellas. En particular no precisa invocar la presencia de masa oscura o faltante (no observable e hipotética) cuyos efectos gravitacionales juegan un rol esencial en el modelo cosmológico dominante.

En cuanto al corrimiento al rojo, Alfvén acepta la fuga de las galaxias pero sostiene que no es debida a corrimiento al rojo cosmológico, sino el resultado de la presión de radiación producida en el lejano pasado por la aniquilación de radiación producida en el lejano pasado por la aniquilación de materia y antimateria (19). Alfvén sostiene que la hipótesis de Oscar Klein (1966) es una alternativa lógicamente posible. Hace $1-2 \times 10^{10}$ años existía una mezcla diluida de materia y antimateria. Su densidad era pequeña y la aniquilación despreciable. Al contraerse por acción de gravitación a un tamaño del orden de 10 RH (RH: radio de Hubble) la aniquilación comienza a ser importante y produce una acción contraria a la gravitación. Esto frena la contracción. A un tamaño del orden de 0.1 RH el frenado se completa, y se produce como rebote la expansión que continúa por inercia hasta nuestros días. Después del rebote la expansión es idéntica al flujo de Hubble. Un 10 % de materia-antimateria se aniquila en el proceso, y se convierte en radiación, parte de la cual forma la radiación de fondo en microondas. En otras palabras: a) el universo es simétrico en materia-antimateria, b) el flujo de Hubble es debido a aniquilación ocurrida en un rebote sobre una esfera de 10^9 años luz de diámetro (y no a partir de una singularidad), y c) no contiene grandes cantidades de masa oscura (o faltante) como sostiene la cosmología ortodoxa. La estructura celular permite la existencia de enclaves de antimateria separados de materia ordinaria. Los estratos de "Leidenfrost" son estructuras teóricas hipotéticas que permitirían explicar cómo se mantiene esta separación. Ante la crítica de que en la radiación cósmica se deberían detectar abundantes flujos de antipartículas, que no se observan, Alfvén sostiene que el signo de la carga de los rayos cósmicos primarios se conoce sólo hasta la energía 10^{11} eV y no más, y estas partículas podrían haberse generado localmente en una heliosfera extendida.

No son muchos los que al momento actual acompañan a

Alfvén en su hipótesis de la existencia de grandes cantidades de antimateria en el universo. Mas bien hay alguna evidencia, basada en la detección de la rotación Faraday en microondas en galaxias espirales, que se opondría a la presencia de antimateria en galaxias cercanas. De todas maneras el debate no ha terminado.

Además de los disidentes del universo de plasma hay otros disidentes con respecto a la interpretación del corrimiento al rojo (es decir la base observacional de la expansión del Universo) (18 y 20). Un líder de esta posición es Halton Arp del observatorio Mount Wilson, EE. U. Arp ha observado muchos objetos con corrimiento al rojo que no se atienen a la relación de Hubble, por ejemplo los cuasares (objetos con gran corrimiento al rojo, que los ubicaría como los objetos más lejanos del universo). Estos serían según Arp no más distantes que otras galaxias, y probablemente están físicamente relacionados con ellas (tal como en la teoría de Peratt). Las imágenes de muchos cuasares, según Arp, aparecen cerca de galaxias cercanas con mucho menos corrimiento al rojo, y hay material luminoso que parece conectar los cuasares con esas galaxias. De ello deduce Arp la necesidad de explicar el corrimiento al rojo no en función de una velocidad de recesión, sino a otros efectos físicos. Emil Wolf (de la Universidad de Rochester) ha propuesto recientemente que el espectro de ciertas formas de luz "coherente", puede sufrir corrimientos durante su trayecto por el espacio. Incluso se han realizado experimentos que comprueban el mecanismo de Wolf, pero es prematuro decidir si permitirá explicar acabadamente el "red shift" general de todas las galaxias. Varios otros mecanismos de corrimientos al rojo que no implican velocidad de recesión han sido propuestos (18). Kerein (de Ball Space Systems, EE. UU) invoca el efecto Compton para el corrimiento al rojo de los cuasares. Vigier (del Instituto Henri Poincaré de París) defiende una teoría basada sobre una masa propia no nula para el fotón. Arp también ha propuesto una hipótesis de "cansancio" de la luz durante se trayecto.

La corriente ortodoxa de la Gran Explosión generalmente critica todas las teorías de los disidentes como inciertas, y con pobre base observacional. Sin embargo los astrofísicos que rechazan las hipótesis alternativas (la mayoría, para ser francos) admiten que observaciones recientes han puesto en dificultad el modelo standard de Gran Explosión. Ostriker (de la Universidad de Princeton) nota que la evidencia creciente de no-uniformidad en gran escala de la estructura del universo está en conflicto con la uniformidad de la radiación cósmica de fondo en microondas (20). La situación observacional presente indica acumulación ("clustering") de galaxias sobre escalas de 1/10

de RH. El modelo más difundido de materia gravitacional oscura o faltante, falla al no permitir la predicción del "clustering" a gran escala. Shaver (Nature, 1987) estudiando radio galaxias y quasares informa sobre estructuras a escalas tan grandes como $1/3$ RH, lo que sitúa al modelo ortodoxo en aguas tormentosas (20, 21). Además hay muchas hipótesis básicas en las teorías de unificación que sustentan la nueva versión de la gran explosión que podrían resultar erradas. Uno de los problemas críticos es el de la constante cosmológica, ligada con la energía de los "vacuos" de la física de campos, que las teorías actuales predicen con un valor extraordinariamente equivocado. Es posible que todos los conceptos de "vacuo" deban ser revisados en un contexto cosmológico, de un modo que ignoramos completamente en el momento actual (9 y 10).

Cuál es mi reflexión personal sobre el presente de la cosmología? En resumen: la existencia de tendencias disidentes pone de relieve la endebles y el carácter provisional de todas las teorías cosmológicas. Grandes proyectos observacionales hoy en curso, podrían trastocar el modelo generalmente aceptado. Pienso que la labor más valiosa es la de los astrónomos, explorando la realidad observable de manera cada vez más precisa. Al describir el universo más alejado a nosotros, describen también el universo más antiguo. En cierto modo son como geólogos, pero trabajando en el ámbito del cielo. Van descubriendo las capas más profundas y antiguas del mundo. Pero nosotros, como los geólogos, sabemos que a medida que nos hundimos en el pasado, la reconstrucción del mundo sobre los datos observables es cada vez más difícil e incierta. El pasado remoto está cubierto por brumas primigenias. Brumas que en el modelo standard, literalmente no nos es dado develar pues hay una época en la cual el universo tiene tal densidad que la luz no puede propagarse libremente. Sin embargo escuchando a los teóricos de la Gran Explosión, parece que supiéramos más acerca de los eventos iniciales que acerca de tiempos más recientes.

Comparto la idea de Alfvén que aboga por una metodología "actualística" (19), es decir tratar de reconstruir el pasado sobre la base de observaciones del presente, en lugar de tratar de acertar con un gran salto de pura especulación teórica las condiciones del momento inicial, para luego remontar y explicar el presente. Con esto nos ubicamos en la tradición del naturalismo científico. Lo que no significa necesariamente un naturalismo ateo, del cual hemos tenido muchos ejemplos entre los hombres de ciencia. Nada de lo que se ha observado hasta ahora en el universo, retrocediendo hacia el pasado lejano, excluye la posibilidad de la creación. Al contrario, las sugerencias por decirlo así, hoy resultan

favorables, como hemos tenido ocasión de comentar. Aunque también hemos señalado que la investigación no aporta, y quizás no pueda nunca dar, algo definido sobre esta cuestión. Es decir, con todo el progreso seguimos en la misma situación de Santo Tomás, cuando decía "Mundum non semper fuisse sola fide teneretur" (Que el mundo tenga origen es un acto de fe). El naturalismo que tengo "in mente", y con el cual simpatizo, es el que arranca con San Alberto Magno, maestro y compañero de Santo Tomás de Aquino. Un naturalismo que sea búsqueda de las leyes que gobiernan los fenómenos naturales, las bases del conocimiento de lo real, sustrato material de las manifestaciones superiores de la vida espiritual. Es decir un naturalismo orientado hacia un espiritualismo auténtico, que tiene en la razón el instrumento adecuado del conocimiento.

Las repercusiones de la teoría de la gran explosión en el mundo intelectual es también otro tema interesante, acerca del cual sólo puedo decir breves palabras finales. Para muchos la teoría de la gran explosión suscita antipatías y rechazo. Será porque C. Sagán, "astrofísico y astro de los medios de comunicación" (22), ha cansado al público culto con sus popularizaciones comerciales donde la gran explosión pretende explicar todo, sin dejar un lugar para las dudas? O será porque la teoría tiene más que obvias resonancias religiosas, para ambientes criados en las tradiciones materialistas y positivistas decimonónicas? K. Popper en una entrevista reciente (La Nación, 8-7-90) dice: "La teoría de la explosión original no puede explicar nada, o casi nada, y esto aún con las hipótesis auxiliares más complicadas. Se ha convertido en una ideología complicada". Prigogine (premio Nobel) propulsor de la nueva física del caos, afirma en una entrevista (23), que "la gran explosión es una teoría probablemente falsa". Agrega, "la gran explosión conforma a todo el mundo, a los creyentes y a los incrédulos, puesto que es una especie de milagro laico". Hawking, Linde y otros miembros de un círculo exclusivo de cosmólogos cuánticos, intentan escapar del instante creacional. Diluyen el instante $t=0$, con fantásticas hipótesis de fluctuaciones cuánticas, en las cuales el universo se autorreproduce constantemente, es eterno pero se divide en muchos mini-universos, que nacen y mueren continuamente, quizás con dimensiones diferentes unos de otros (24). Einstein escribió a su amigo Solovine en 1952, "Aquí está el punto débil de positivistas y ateos profesionales, quienes se sienten felices porque no solamente han vaciado al mundo de lo divino, sino también de lo milagroso. Curiosamente debemos resignarnos a reconocer el "milagro", sin tener ninguna forma legítima de poder ir más allá. Yo he agregado el último punto explícitamente, para que no creas que, debilitado

por la edad, he caído en manos de los sacerdotes (citado por Jaki) (2). También otros científicos, se sienten atraídos por la idea del inicio del tiempo. Paul C. Davies (profesor del King's College de Londres y autor de varios textos de divulgación científica de buen nivel) no disimulaba su posición antirreligiosa y su naturalismo ateo en "Space and time in the modern universe" (7) escrito en 1977. Pero en "Superforce" (13), publicado en 1986, ha cambiado considerablemente de posición, emplea la palabra "Creación" en varias ocasiones, y nos habla de un propósito del universo que no excluye al hombre. Steven Weinberg (premio Nobel; de la Universidad de Texas) en un artículo muy técnico en Review of Modern Physics (10) cita a San Agustín, en su famoso análisis sobre la subjetividad del tiempo. Y esto en el contexto de un problema crítico, aún no resuelto, de todas las teorías cosmológicas basadas en la teoría cuántica de campos (que hemos mencionado al hablar de la energía del "vacuo").

Algunos físicos atacan las versiones extremas de la teoría del "big bang", cuando se llega a especular acerca de tiempos 10^{-36} segundos y similares, porque creen que el propósito no declarado es justificar enormes presupuestos para la física de aceleradores de partículas. Algo de esto puede ser verdad. Es el problema actual de la "big science", también estigmatizado por K. Popper. Parece que no son posibles avances sino por concentración de esfuerzos y dinero en enormes proyectos. Algunos salen vencedores, y todos los demás perecen. Sin embargo a mí no me parece mal dejar que la imaginación vuele un poco. Es inevitable que el hombre quiera explorar por vía de hipótesis las consecuencias límites de sus teorías, siempre que no se exagere acerca de su significado e importancia. Esto no se contrapone con mi posición "actualista", la cual puede servir de oportuno freno a la imaginación desbocada. A título personal debo decir que a pesar de mi cautela escéptica, siento alguna atracción por las concepciones del tipo gran explosión, que ponen en juego las teorías unificadas de fuerzas y partículas en los momentos primordiales. Mi motivación en este punto, aunque racional, sale fuera del dominio de la ciencia, y por lo tanto el oyente está cordialmente invitado a tomarla como guste. Pienso que un universo con un comienzo y un desarrollo, a partir de una materia primordial, que se va diferenciando, y pone en acción en diferentes etapas todo lo que la física actual ha ido descubriendo, tiene armonía. Es decir, coincido con Jaki (2), en que como universo es un "cosmos", donde todas las cosas tienen un lugar y un propósito, en contraposición con el "caos", que es desorden y ausencia de significado. Me pregunto, ¿para qué están los "quarks", o los bosones W, Z? Sólo para que los físicos los evoquen fugaz-

mente mediante costosos y gigantescos aparatos? ¿Nada más? O tuvieron un rol, una función, aunque sea en algún momento de la evolución del universo. ¿Esperamos descubrir que en el Gran Reloj hay muchas piezas misteriosas, sin ninguna función ni objetivo? Para mí estamos dando la gran vuelta de la revolución Copernicana, y vamos retornando al punto de partida. El Universo es comprensible para nosotros, no nos es ajeno, quizás no estemos abandonados en él, quizás tenga un propósito, y nosotros formemos parte de ese objetivo.

Quisiera terminar con una cita:

"La ciencia es un continuo devenir, la verdad está siempre en camino y la fascinación del misterio nos pone en su ruta. Un día muchos secretos serán develados con los estudios acumulados por los siglos. Una sola edad no es suficiente para resolver tantos problemas de las cosas celestes, aún cuando toda ella fuera dedicada al cielo. Vendrá un tiempo en el cual nuestros descendientes se asombrarán de que nosotros hayamos ignorado hechos tan claros..."

SENECA "Quaestiones Naturales" I siglo D. C.

BIBLIOGRAFIA

1. F. R. Tangherlini, *An Introduction to the General Theory of Relativity*, Suplemento al Nuovo Cimento, Vol. XX, Serie X, 1961.
2. S. L. Jaki, "The Chaos of Scientific Cosmology", en *The Nature of the Physical Universe*, D. Huff y O. Premett editores, J. Wiley and Sons, New York, 1976.
3. H. P. Berlage, *The Origin of the Solar System*, Pergamon Press, Oxford, 1968.
4. G. Leopardi, *I Canti*. Edizioni Barion, Milano, 1934.
5. C. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler, *Gravitation*, Freeman and Co., San Francisco, 1973.
6. R. W. Smith, "E. P. Hubble and the Transformation of Cosmology", *Physics Today*, p. 52, abril 1990.
7. P. C. Davies, *Space and Time in the Modern Universe*, Cambridge University Press, 1977.
8. P. J. Peebles, *Physical Cosmology*, Princeton University Press, Princeton, 1971.
9. L. Abbot, "The Mystery of the Cosmological Constant", *Scientific American*, p. 82, mayo 1988.
10. S. Weinberg, *Review of Modern Physics*, Vol. 61, N° 1, p. 1, enero 1989.
11. R. A. Alpher, R. Herman, "Reflections on early work on 'big bang' cosmology", *Physics Today*, agosto 1988.
12. S. Gasiorowicz, *The Structure of Mater*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1979.
13. P. Davies, *Superforce*, Simon and Schuster Inc., New York, 1984.

14. P. Langacker, A. K. Mann, "The Unification of Electromagnetism with the Weak Force", *Physics Today*, p. 22, diciembre 1989.
15. D. N. Schramm, G. Steigman, "Particle Accelerators Test Cosmology Theory", *Scientific American*, p. 44, junio 1988.
16. A. H. Guth, P. J. Steinhardt, "The Inflationary Universe", *Scientific American*, p. 116, mayo 1984.
17. Dante Alighieri, *La Divina Commedia*, S. A. Barbi editor, Sansoni, Firenze, 1943.
18. *IEEE Transactions on Plasma Science*, Volumen Especial, "Plasma Cosmology", Vol. 18, N° 1, 1990.
19. H. O. G. Alfvén, "Cosmology in the Plasma Universe", *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. 18, N° 1, p. 5, 1990.
20. *Scientific American*, septiembre 1987, News, p. 18; enero 1988, News, p. 88; marzo 1988, News, p. 20; enero 1990, News, p. 12.
21. A. Dressler, "The Large Scale Streaming", *Scientific American*, p. 38, septiembre 1987.
22. J. F. Revel, *El conocimiento inútil*, Planeta, Barcelona, 1989, p. 169-171.
23. G. Sorman, *Los verdaderos pensadores del siglo XX*, Atlántida, 1989.
24. A. Linde, "Particle Physics and Inflationary Cosmology", *Physics Today*, p. 61, septiembre 1987.

LA TEOLOGIA DE LA CREACION Y EL PROBLEMA DE LOS ORIGENES

por Gustavo PODESTA (Bs. As.)



1. Unidad, ciencia y metafísica

1.1. El conocimiento científico comienza no sólo cuando el cerebro conscientemente concatena causas y efectos, sino, sobre todo, cuando es capaz de sintetizar la realidad mediante conceptos omniabarcantes, generalizadores, específicos. Ya el animal se maneja con la realidad mediante esquemas generales que identifica instintivamente: el esquema lobo, el esquema enemigo, el esquema comida, el esquema hembra. Pero difícilmente logre adquirir conciencia del género, de la especie e incluso, quizá, antes del individuo como tal. Diríamos, en filosofía tradicional, que no tiene noción del ser.

El animal humano, en cambio, empieza probablemente por medio de percepciones individuales: padre y madre no son ya, muy tempranamente, sólo esquemas, sino personalidades muy definidas. Personalidad individual, interpretada a través de la experiencia no necesariamente refleja del propio yo, que es prontamente trasladada algo indiscriminadamente a todos los objetos.

Del mismo modo, el hombre primitivo tiende a individualizar antropomórficamente, proyectar su internalidad, a todo su entorno y su utilería. Es típico de los vocabularios primitivos la cantidad de vocablos que se poseen para nombrar a los objetos individuales uno por uno, casi con nombre propio.

1.2. Pero cuando el hombre conscientemente empieza a generalizar mediante conceptos unificantes, cuando es capaz de comenzar a construir el árbol de Porfirio y clasificar tipo Linneo, recién allí su cerebro tiene pujos de ciencia. "Unum et verum convertuntur". El principio de la *economía del pensamiento*, del cual hablaba Poincaré.

La "coneología" comienza cuando el cerebro comienza a pensar no en éste o aquel conejo particular, sino en el universo conejil, en todos los conejos, el conejo en general. La zoología cuando, dejando de pensar sólo en la vaca, el conejo y la langosta, se intenta reflexionar sobre el universo animal, sobre todos los animales, sobre el animal en general. La biología, cuando la reflexión, ahora, versa sobre todo de los vivientes: lo más particular queda de lado; abstraigo, censuro los caracteres individuales y