

Discurso Inaugural, Universidad de Valladolid

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

JOSE MARTINEZ SALAS

CATEDRATICO DE MECANICA TEORICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

SOLUCIONES RELATIVISTAS AL PROBLEMA COSMOLOGICO

LECCION INAUGURAL DEL CURSO 1965-66
DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

VALLADOLID
1965

SOLUCIONES RELATIVISTAS AL
PROBLEMA COSMOLOGICO

(Lección Inaugural del Curso 1965-66, de la Universidad de Valladolid)

Disc. Apert. UVA 65/66 ^{BiCe}



5>0 0 0 0 4 0 7 5 6 2



COPIA 407562

95.837

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

JOSE MARTINEZ SALAS
CATEDRATICO DE MECANICA TEORICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

SOLUCIONES RELATIVISTAS AL
PROBLEMA COSMOLOGICO

LECCION INAUGURAL DEL CURSO 1965-66
DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



VALLADOLID
1965

Depósito Legal: VA. 441 - 1965
N.º de Registro: VA. 96 - 1965

Talleres Tipográficos de la Editorial SEVER-CUESTA - Valladolid

*Magnífico y Excelentísimo Señor Rector,
Excelentísimos e Ilustrísimos Señores,
Compañeros de Claustro,
Estudiantes,
Señoras y Señores:*

El problema cosmológico.

Todos nosotros, contemplando en una noche serena la majestad de un cielo cuajado de estrellas, nos hemos hecho alguna vez preguntas como éstas: ¿Qué hay más allá? ¿Cómo es el Universo? ¿Cómo evoluciona, cómo fue en el pasado y cómo será en el futuro? ¿Cuáles son sus límites en el tiempo y en el espacio?

Estructura actual del Universo, su evolución, su principio, su fin... Gigantescos puntos de interrogación que sitúan al hombre frente a problemas sustanciales que conciernen a su origen, a su puesto en el Mundo y a su destino.

Las teorías con las que se ha intentado contestar son muy diversas, aunque pueden clasificarse en dos grupos: El de los filósofos, que avalan sus conjeturas con razones de orden metafísico, religioso o estético, y el de los astrónomos, físicos y matemáticos, cuyos argumentos vienen a descansar sobre esta premisa: “El Universo debe cumplir en su totalidad las mismas leyes que se han descubierto en la región del mismo a la que alcanza nuestra observación”. Las soluciones que yo voy a presentar, fundadas todas ellas en la Teoría de la Relatividad de EINSTEIN, pertenecen al segundo grupo. Esto no significa que las considere las más plausibles; son, simplemente, las que caen dentro de mi especialidad.

Cabe pensar que se incurre en una gran presunción al pretender una respuesta a tales interrogantes. En efecto, ¿qué sabemos, y con qué medios contamos para un intento de tal magnitud? Ciertamente nues-

tros conocimientos son imperfectos y nuestros medios muy limitados, pero ello no constituye una razón suficiente para renunciar. No conocía mejor su mundo CRISTÓBAL COLÓN, ni contaba con recursos superiores, y ¿acaso no tuvo razón al dejarse tentar por la gran aventura? De la misma forma, si nosotros creemos que existe alguna probabilidad de éxito, debemos realizar el intento. Es evidente que los resultados que obtengamos sólo tendrán carácter provisional, pero no dejarán de constituir un primer paso; la Ciencia progresa por el juego de las aproximaciones sucesivas, y renunciar a buscar una primera aproximación equivaldría a renunciar a todo progreso.

La observación astronómica.

La primera etapa de esta investigación consistirá en adquirir un conocimiento del Universo, en la manera que nos le muestra la observación, que sea lo más completo posible.

Hasta hace poco, toda la información que obteníamos del mundo exterior provenía exclusivamente de las ondas luminosas; en este aspecto, el telescopio de 5 metros de diámetro de Monte Palomar (San Diego, U. S. A.) con una frontera visual alrededor de los 1.000 millones de años-luz, marca el punto más avanzado. Pero las ondas luminosas no son más que una ínfima parte del espectro electromagnético conocido. La radiación electromagnética del espacio exterior tiene que atravesar la atmósfera terrestre antes de llegar a nuestro instrumento de observación, lo que hace que la mayor parte de ella se vea atenuada, e incluso detenida, por nuestra atmósfera, la cual actúa como una pantalla selectiva, ofreciendo solamente unas ventanas que permiten el paso de ciertas longitudes de onda. Mientras que la ventana de las ondas luminosas se extiende desde las longitudes de onda 3×10^{-5} a 3×10^{-4} cm., la de las ondas radioeléctricas va desde 10^{-1} a 6×10^3 cm.; es decir, medida en longitudes de onda, esta última tiene una amplitud 6.000 veces mayor que la primera.

La captación y el estudio de las radiaciones hertzianas de origen

extraterrestre —y actualmente se está de acuerdo en que no hay ningún punto del cielo que no emita tales radiaciones— constituye el objeto de la Radioastronomía, ciencia que comienza a desarrollarse después de la segunda Guerra Mundial, cuando se divulgan informes que hasta entonces pertenecieron al secreto militar, como el publicado por Hey en 1946 sobre los ruidos de fondo detectados por los equipos de radar encargados de la localización de aviones enemigos, y que hoy día se encuentra en plena y rápida evolución.

El instrumento típico empleado en la detección de estas radiaciones es el radiotelescopio. Consiste, en esencia, de una antena de gran directividad, constituida frecuentemente por un paraboloide metálico con un dipolo en el foco, y un sistema que transmite, amplifica y registra la señal recogida. Un radiotelescopio no forma imágenes como los telescopios, pero proporciona una información que complementa la que se obtiene con los instrumentos ópticos, y constituye una aportación de inestimable valor.

La Galaxia.

Ciertamente, la región accesible a los actuales instrumentos astronómicos sólo representa una fracción (quizás ínfima, quizás apreciable) de todo el Universo; pero, como quiera que sea, ella debe constituir nuestro punto de partida. Aunque a grandes rasgos, pintemos, pues, el cuadro que ha venido ofreciendo el Universo.

El hombre se ha visto destronar repetidas veces de la posición central que creía ocupar. Primeramente situó el centro del mundo en la Tierra, haciendo girar en torno de ella al Sol y a los demás planetas. A la concepción geocéntrica sucedió la concepción heliocéntrica, la cual, a su vez, se ve relegada a un plano más modesto: el Sol es, sin duda, un centro, pero solamente del sistema solar, que, a su vez, no representa más que una parte pequeñísima de la Galaxia.

La Galaxia está constituida por un enorme cúmulo de estrellas que, según los resultados obtenidos por SHAPLEY, los cuales concuerdan con

otros obtenidos con métodos estadísticos, pasan de los 1.000 millones; este conjunto de astros forma una especie de lenteja cuyo diámetro es del orden de los 100.000 años-luz, y cuyo espesor, por el centro, anda cerca de los 10.000 años-luz. Nosotros, situados en su interior, aproximadamente en el plano de simetría y a unos 27.000 años-luz del centro, le apreciamos a simple vista como una franja débilmente luminosa que se extiende formando un círculo máximo del firmamento: la Vía Láctea, sobre la que ya se dice en *La Divina Comedia*: “Salpicada de luminarias más o menos brillantes, entre los polos del universo, la Vía Láctea muestra su aspecto blanquecino y suscita cuestiones muy sabias”.

La materia de la Galaxia no está constituida exclusivamente por estrellas, sino que también se presenta en forma difusa: las *nebulosas gaseosas*, mezcla de gases y partículas sólidas, que la fotografía revela como bandas luminosas tendidas frente a un fondo estrellado o como opacas cortinas que interceptan toda luz. Dichas masas se hacen visibles cuando son iluminadas por alguna estrella brillante próxima a ellas.

La densidad media de la materia interestelar que aparece dispersa por la Galaxia tiene un valor extraordinariamente pequeño, del orden de 2×10^{-24} g/cc. A pesar de que esta densidad es extremadamente débil, aproximadamente un millón de veces más pequeña que la del mejor “vacío” que se puede realizar en un laboratorio, como las distancias que separan a las estrellas son muy grandes, la masa total de la materia interestelar dispersa en la Galaxia representa, poco más o menos, la mitad de la masa de todas las estrellas.

Las nebulosas extragalácticas.

La Galaxia es nuestro universo, pero ¿es todo el Universo? No hace más de 50 años pocos astrónomos hubieran vacilado en contestar afirmativamente. Para ellos las dos nubes señaladas por MAGALLANES en el cielo austral, y la bruma salpicante de Andrómeda observada por MESSIER, no eran más que sueños de visionarios, ideas extravagantes que no merecían ser tomadas en consideración. Sin duda, las posturas

conservadoras siempre han constituído un lastre, particularmente en la Ciencia.

Pero volvamos a nuestra pregunta y, para responderla, imaginemos un viajero capaz de desplazarse a través de los espacios interestelares, describiendo el espectáculo que vería desarrollarse ante sus ojos.

Primeramente atraviesa la Galaxia, con sus campos de estrellas y sus nebulosas. En seguida, y progresivamente, estrellas y nebulosas se rarifican; cuando, al fin, alcanza los límites de nuestro universo, ellas faltan por completo. ¿Está en presencia de la nada absoluta? No. En el cielo que creía vacío y negro brillan muy lejos algunas pálidas luces, hacia las cuales se dirige. Lentamente, muy lentamente, esas luces aumentan y se precisan, hasta que, al fin, nuestro viajero se encuentra sumergido en un nuevo campo de estrellas: Atravesando un verdadero desierto celeste ha descubierto una nueva galaxia semejante a la nuestra, un auténtico “universo isla”, como en un principio las denominara **HERSCHEL**.

Aunque la forma de estas nebulosas extragalácticas es variadísima, cabe clasificarlas en tres tipos principales: espirales, irregulares y elípticas.

Las *galaxias espirales* presentan un núcleo globular mucho más brillante que las partes periféricas, y de dos puntos diametralmente opuestos del mismo nacen dos brazos que se arrollan en torno de él, en un mismo plano y en el mismo sentido, lo que sugiere inmediatamente la idea de una rotación rápida. Otro carácter de este tipo de galaxias que merece señalarse es la presencia muy corriente de una banda negra en el sentido longitudinal, que denuncia la existencia de nubes de polvo cósmico, las cuales son particularmente abundantes en el plano ecuatorial.

En las *nebulosas irregulares* caben todas las formas. Algunas fotografías muestran aspectos algodonosos, en otras aparecen aureoladas de llamas, etc., pero todas presentan el carácter común de carecer de núcleo aparente, así como de simetría de rotación.

Por último, las *galaxias elípticas* se muestran como objetos ovalados o, a veces, esféricos, en los cuales no se descubre ninguna señal de

estructura espiral. Un carácter común de estas galaxias es la ausencia de nubes de polvo cósmico.

Se cree que estas tres formas de nebulosas extragalácticas constituyen tres estados de su evolución, la cual se realiza en este orden: irregulares, espirales y elípticas.

El número de las nebulosas extragalácticas es inmenso. El super-telescopio de Monte Palomar, con el que ya dijimos que se exploran distancias hasta los 1.000 millones de años-luz, y aún superiores, permite fotografiar miles de millones, y como un gran número de ellas se encuentran en el límite de la visibilidad, puede preverse que un instrumento más potente aún revelaría más.

La medida de las distancias a que se encuentran estas nebulosas constituye un problema fundamental para el conocimiento del Universo, problema que cuenta con diversas soluciones satisfactorias, que van desde el método espectroscópico utilizado por ADAMS en 1916 hasta otros más recientes, como, por ejemplo, el basado en las propiedades de las Cefeidas. Estas estrellas experimentan cambios periódicos en su luminosidad, existiendo una relación muy simple, establecida por SHAPLEY, que vincula el período de las pulsaciones de la estrella con su luminosidad absoluta; en virtud de esta relación, midiendo directamente el período de pulsación de una de estas estrellas (cuando están demasiado alejadas para presentar un paralaje) se puede deducir su brillo absoluto, y comparando el valor así obtenido con el brillo observado resulta la distancia a que se encuentra. Así han podido determinarse, en primer lugar, las dimensiones de nuestra Galaxia y, en seguida, las distancias que nos separan de las nebulosas extragalácticas.

Sin entrar en detalles puede decirse que, por término medio, las nebulosas extragalácticas se asemejan: sus dimensiones son del mismo orden de magnitud, y cada una de ellas cuenta, aproximadamente, con el mismo número de estrellas. Esto no excluye la posibilidad de diferencias individuales, así como la circunstancia de que todos los hombres tengan, por término medio, la misma estatura, no impide que a veces se encuentre un gigante o un enano. Nuestra Galaxia, que muy proba-

blemente tiene el carácter espiral, parece exceder al término medio y sería, por tanto, un universo “gigante”.

En resumen, podemos decir que las galaxias se presentan en primera aproximación como objetos *standards*, y este hecho constituye uno de los caracteres esenciales de la forma del Universo.

El «efecto Hubble».

La observación de las nebulosas extragalácticas ha llevado a descubrir un hecho inesperado, sorprendente, un hecho que al cabo de cerca de cuarenta años de haber sido anunciado, ante las drásticas consecuencias que acarrea, todavía hay astrónomos que se resisten a admitirle como real, e intentan encontrar otra manera de interpretarle: Las nebulosas extragalácticas se alejan de nosotros y entre sí tanto más rápidamente cuanto más distantes están.

Dada la importancia cosmológica de este resultado, debido a HUBBLE, indicaremos sucintamente cómo se ha llegado a él.

Es sabido que cada elemento químico da un espectro característico; así se ha determinado la composición y naturaleza de las estrellas, con la curiosa coincidencia de observarse casi idénticas. En los espectros de las nebulosas extragalácticas, las rayas correspondientes a los distintos elementos químicos ocupan siempre la misma posición, que puede ser referida con una gran precisión, pero el conjunto de estas rayas aparece notablemente desplazado hacia el rojo. ¿A qué puede obedecer este desplazamiento? Es un fenómeno físico, conocido desde hace tiempo con el nombre de “efecto DOPPLER-FIZEAU”, que la causa principal capaz de producir desplazamientos en las rayas del espectro es el movimiento relativo de la fuente luminosa con respecto al observador, de forma que si la fuente se aleja, los rayos se desplazan hacia el rojo, mientras que si se acerca, el desplazamiento es de sentido contrario. Si las nebulosas extragalácticas estuvieran en reposo, al tener una composición aproximadamente como la del Sol, su espectro coincidiría con el de éste,

pero como no ocurre así, sino que hay un corrimiento de las rayas espectrales hacia el rojo, deducimos que se alejan de nosotros.

HUBLE, célebre astrónomo de Monte Palomar, publicó en 1928 sus conclusiones sobre el alejamiento de las nebulosas extragalácticas, dando una relación de cuarenta y seis, que fue ampliada más tarde, en 1936, por su colaborador HUMASON. La velocidad con que se alejan las galaxias es proporcional a las distancias que nos separan de ellas. Esta sencilla ley ha sido verificada de una manera muy precisa, calculándose que la velocidad de alejamiento crece 55 Km/seg. por una distancia equivalente a un millón de años-luz. De esta forma, las nebulosas más alejadas cuyo espectro ha sido recogido, que están situadas a más de 1.000 millones de años-luz, se alejan a la enorme velocidad ¡incluso para los astrónomos! de 61.000 Km/seg., o sea, una quinta parte de la velocidad de la luz.

Antes de admitir la realidad de estos movimientos se ha considerado la posible existencia de otra causa, todavía desconocida, capaz de producir el enrojecimiento de la luz procedente de las nebulosas extragalácticas, pero en el estado actual de nuestros conocimientos no hay nada que sugiera la existencia de este hipotético efecto. A este respecto, un autor tan cualificado como EDDINGTON dice lo siguiente: “Creo que no hay razón para dudar de la realidad de las velocidades de alejamiento observadas, salvo en la parte que les pueda corresponder en la incertidumbre general que rodea todos nuestros intentos para penetrar en los secretos de la Naturaleza. La luz es una cosa extraña, más extraña de lo que suponíamos hace veintitantos años, pero me sorprendería que fuese tan rara que nos engañase en estas imágenes”.

Insistamos en que, aunque tengamos la impresión de que las nebulosas se separan de nuestra Galaxia, en realidad, nuestra Galaxia no juega ningún papel privilegiado; un observador situado en cualquier otra galaxia vería cómo las nebulosas se alejaban de él exactamente lo mismo que las vemos alejarse de nosotros. En otros términos: no son únicamente las distancias Galaxia-nebulosas extragalácticas las que aumentan, sino también las distancias mutuas entre todas las nebulosas,

lo cual confiere a la ley de HUBLE un carácter más general y fundamental del que pudo atribuírsele a primera vista.

La teoría relativista.

Las más antiguas escuelas del pensamiento aseguraron que el mundo ha existido siempre, y que evoluciona en equilibrio estadístico. Es el pensamiento búdico, nacido en las Indias y en la China durante el siglo VI antes de nuestra era, y manifestado por BUDA, CONFUCIO y LAOTSÉ. La misma concepción fue enseñada, durante los siglos siguientes, por los filósofos griegos de la antigüedad: DEMÓCRITO y EPICURO intuyeron la Vía Láctea como formada por una polvareda de estrellas, en las que sus átomos, eternos, indestructibles, reformaban sin cesar nuevos mundos a través de la metamorfosis de un Cosmos en perpetua transformación.

El Post-renacimiento, con el surgir de la Nuova Scienza, alumbró la génesis de una nueva concepción del mundo, que cristaliza más tarde en NEWTON, cuya genial intuición de la atracción universal de las masas logra explicar formalmente las leyes del movimiento de los astros, con una adecuación que nadie hubiera puesto en duda hasta los albores del siglo XX. La imagen del Universo que ofrece NEWTON consiste en un núcleo concentrado de astros tal que, a medida que nos alejamos de él, va disminuyendo la densidad de los grupos de estrellas, hasta que, al fin, a una distancia muy lejana, se alcanza una región infinita de vacío: El Universo estelar viene a ser una isla finita en medio del océano infinito del espacio.

Supuesto que las únicas fuerzas que actúan sobre las galaxias sean las fuerzas de gravedad, se comprende que los problemas de la Cosmología estén íntimamente ligados a la moderna versión de la gravitación, que forma parte de la Teoría de la Relatividad general de EINSTEIN. Y, efectivamente, así sucede. Las propiedades del espacio, del tiempo y de la gravitación, ofrecen dentro del marco de esta teoría un cuadro proporcionado y armonioso.

La concepción cosmológica relativista tiene su base en los trabajos de dos matemáticos del siglo XIX, LOBACHEVSKI y BOLYAI, los cuales descubrieron que la geometría clásica de EUCLIDES no era la única posible, sino que se podían construir otras tan lógicas y coherentes como aquélla.

Para ello comenzaron por eliminar el axioma euclídeo de que “por un punto fuera de una recta sólo pasa otra recta paralela a la primera”, imaginando un sistema geométrico en el cual puede haber más de una paralela. Se comprende fácilmente la diferencia que existe entre la geometría euclídea y el sistema imaginado por LOBACHEVSKI y BOLYAI, considerando la cuestión en dos dimensiones, es decir, reduciéndonos a la geometría de las superficies.

Consideremos, pues, una superficie euclídea, esto es, un plano, y una superficie curva, que en el sistema de LOBACHEVSKI y BOLYAI debe ser de curvatura negativa, lo que viene a significar que dicha superficie es como la de una silla de montar y no como la de una esfera, cuya curvatura es positiva. En el plano se define la línea recta como aquella que representa el camino más corto para unir dos puntos cualesquiera de la misma; adoptando esta definición, sobre una superficie curva las rectas se convierten en líneas curvas, a las que se denomina *geodésicas*. Dada una línea “recta” o geodésica sobre una superficie de curvatura negativa, por un punto de dicha superficie y que no pertenezca a tal recta se pueden trazar varias geodésicas que, por mucho que se prolonguen, no cortarían nunca a la primera y, por consiguiente, serán paralelas a ella.

Después de LOBACHEVSKI y BOLYAI, un matemático alemán, RIEMANN, construye otra geometría no euclídea, cuyo modelo bidimensional es una superficie de curvatura positiva, es decir, una superficie como la esfera. En este caso, una línea geodésica está constituida por un círculo máximo, y como dos círculos máximos se cortan siempre en dos puntos, resulta que en esta geometría no existen rectas paralelas.

Todo esto no queda reducido a puras especulaciones teóricas, sino que puede aplicarse a la geometría del universo en que vivimos.

A principios de siglo EINSTEIN concibió nuestro universo como un

sistema curvo de cuatro dimensiones, demostrando que el tiempo puede ser considerado como una cuarta coordenada que complementa las tres coordenadas del espacio. Conectando el espacio con el tiempo crea “un continuo espacio-temporal”, en el que las dimensiones del tiempo y las del espacio quedan relacionadas mediante la velocidad de la luz, y a pesar de que el espacio y el tiempo son entidades físicamente diferentes, sirviéndose del número imaginario i , logra expresar matemáticamente la unidad de tiempo, de suerte que la forma de la coordenada temporal sea equivalente a la de las tres coordenadas espaciales.

En su teoría restringida de la relatividad EINSTEIN construye una geometría del continuo espacio-temporal de tipo euclídeo, es decir, plana, pero en seguida, en su teoría de la relatividad general, tiene la brillante idea de introducir la gravitación, cuyos efectos no habían sido considerados en la teoría restringida, y ello le conduce a una geometría curva al establecer que los efectos gravitacionales de las masas distribuidas en el espacio y que se mueven en el tiempo se traducen por la curvatura del continuo espacio-temporal de cuatro dimensiones. Vino a sustituir la clásica afirmación newtoniana de que “el Sol produce un campo de fuerzas que obliga a la Tierra a desviarse de una trayectoria rectilínea y moverse en torno de él”, por esta otra: “La presencia del Sol provoca en el espacio que le rodea una curvatura del continuo espacio-temporal, y el movimiento de un objeto en este continuo puede representarse por una curva llamada *línea de universo* de dicho objeto”.

Esta idea einsteiniana de la curvatura gravitacional del espacio-tiempo ha sido refrendada al permitir explicar fenómenos como el desplazamiento secular del perihelio de Mercurio, y la desviación de los rayos luminosos en la proximidad de masas importantes como el Sol, que resultaban inexplicables con la ley de NEWTON, la cual aparece como una ley aproximada.

Un retorno a la teoría restringida de la relatividad puede ayudar a comprender la naturaleza de la correlación entre la materia y las propiedades del Universo. Se sabe que la adopción de la transformación de LORENTZ lleva consigo un profundo cambio en los conceptos fundamentales de la Mecánica, pero que, a causa de la pequeñez de las velo-

ciudades de los fenómenos habituales, los nuevos resultados numéricos difieren poquísimos de los resultados clásicos. Pues bien, algo análogo sucede con respecto al efecto de la materia sobre las propiedades del Universo. Las masas corrientes (aún la de la Tierra) son demasiado pequeñas para provocar modificaciones sensibles del espacio-tiempo de la teoría restringida, de modo que los resultados numéricos de la Relatividad general se confunden con los de la Relatividad restringida y, por lo tanto, finalmente, con los de la Mecánica clásica. Así, el paso de la teoría restringida a la generalizada, paso que produce un profundo cambio en los conceptos fundamentales, no implica para todos los fenómenos corrientes más que modificaciones numéricas despreciables. Es únicamente en la proximidad de masas más importantes, como el Sol, o estrellas muy densas, cuando las modificaciones numéricas llegan a ser apreciables, y cuando las nociones de espacio y de tiempo pierden su habitual significado.

La constante cósmica.

La distribución de materia más simple posible consiste en un “universo” formado por un solo punto material. La simplicidad de este caso no rebaja su importancia, pues este punto material único puede equipararse al Sol, ya que las masas de los planetas, comparadas con la del Sol, resultan despreciables, y las estrellas están demasiado alejadas para ejercer una influencia apreciable.

Con esta distribución de materia, la ley de gravitación de EINSTEIN, generalmente expresada en la forma

$$G_{\mu\nu} = 0, \quad [1]$$

representa un conjunto de diez ecuaciones que permiten calcular los coeficientes del célebre invariante ds^2 de SCHWARZSCHILD, el cual determina todas las propiedades de este “universo” simplificado; gracias a esto, la Relatividad da cuenta de todos los fenómenos que anteriormente

se explicaban con la ley de NEWTON, y, en particular, el movimiento de los planetas. Desde este punto de vista la ley de NEWTON aparece como una ley aproximada.

Para aplicar a todo el Universo las ideas desarrolladas en el campo gravitacional del Sol, será preciso sustituir el único centro de atracción allí considerado por los que constituyen el conjunto de las masas reveladas por la observación astronómica. Entonces las mismas ecuaciones [1] deben permitir el cálculo de un nuevo invariante más general, aplicable a todo el Universo. El estudio de este invariante nos proporcionará, como lo hizo el invariante de SCHWARZSCHILD en el campo gravitacional del Sol, los caracteres generales del Universo.

Ahora bien, en el desarrollo del plan que acabamos de esbozar surge inmediatamente un inconveniente: de las ecuaciones [1] se deduce que el Universo debe ser infinito, y la hipótesis de un Universo infinito conduce a diversas dificultades. El medio más simple de hacer desaparecer estas dificultades es suprimir su causa, o sea, suponer que el Universo es finito. Fue lo que EINSTEIN no titubeó en hacer: Puesto que son las ecuaciones [1] las que nos llevan a un Universo infinito, habrá que modificar dichas ecuaciones, pero procurando que los resultados que se desprenden de ellas no experimenten ningún cambio apreciable en vista del servicio que han rendido.

Teniendo en cuenta estas dos condiciones, EINSTEIN sustituye las ecuaciones [1] por las

$$G_{\mu\nu} = \lambda g_{\mu\nu} \quad [2]$$

en las cuales λ representa una constante, a la que se conoce por *constante cósmica*.

Al corregir de esta forma su ley de gravitación [1], EINSTEIN introduce una fuerza repulsiva cuya intensidad es proporcional a la distancia entre los objetos sobre los que actúa, fuerza que se conoce por *repulsión cósmica*. La teoría no permite determinar el valor de la constante λ , pero este valor debe ser muy pequeño, como lo demuestra el razonamiento siguiente: Los movimientos de los planetas alrededor del Sol

resultan de la acción conjugada de la repulsión cósmica con la atracción newtoniana, y como esta última basta para preveer dichos movimientos con una gran aproximación, se concluye que, para las pequeñas distancias consideradas en el sistema solar, la repulsión cósmica es despreciable frente a la atracción newtoniana; luego, efectivamente, la constante λ , que fija la magnitud de la repulsión cósmica, debe tener un valor extremadamente pequeño.

Ahora bien, al salirnos del sistema solar y considerar distancias cada vez mayores, ocurre que la atracción newtoniana disminuye (y muy rápidamente) mientras que la repulsión aumenta, de modo que bastará con alejarnos suficientemente para hallarla, primero apreciable, y después decididamente preponderante. Puesto que nos proponemos obtener los caracteres generales del Universo íntegro a partir de las ecuaciones [2], es de presumir que estos caracteres dependerán esencialmente de la repulsión cósmica, mientras que la atracción newtoniana carecerá de influencia sobre ellos.

Se ha discutido mucho si la modificación introducida por EINSTEIN en su ley de la gravitación no fue realizada por meras razones de oportunidad; el propio EINSTEIN ha sido un crítico de la misma tan severo como el que más. Sin embargo, la posición que hoy día ocupa la constante cósmica parece más segura que nunca; autores de tanta autoridad como WEYL, EDDINGTON y LEMAÎTRE, por sólo citar algunos, ven en ella uno de los caracteres fundamentales del Universo; según EDDINGTON, “la misma razón existiría para volver a la teoría newtoniana que para abandonar la constante cósmica”.

Los Universos de Einstein y de W. De Sitter.

La consecuencia inmediata de la introducción del término cósmico en la ley de la gravitación fue la aparición, en teoría, de dos Universos: el Universo de EINSTEIN y el Universo de DE SITTER. Ambos eran universos cerrados, de modo que un viajero, caminando siempre en la misma dirección, acabaría por volver al punto de partida. Ambos pre-

tendían ser universos estáticos, invariables en el transcurso del tiempo; con ello ofrecían un armazón permanente dentro del cual los sistemas en pequeña escala —galaxias y estrellas— podían cambiar y evolucionar. De hecho, la cuestión de saber cuál de estos dos modelos representa mejor al Universo depende de cuánta materia exista en el mismo, cosa que no cabe establecer teóricamente, ni tampoco es fácil por la observación.

En una visión de conjunto, las galaxias que quedan dentro del campo de nuestros mayores telescopios aparecen diseminadas con bastante uniformidad, de modo que sin demasiado riesgo se las puede imaginar como moléculas de un “gas” que llenaría el Universo. EINSTEIN supone que la densidad de este gas es constante, lo cual permite resolver las ecuaciones [2], es decir, obtener el invariante relativo a tal Universo, y con él, las propiedades generales del mismo.

Resulta así el Universo esférico de EINSTEIN, cuyas coordenadas espaciales son curvas, mientras que el eje temporal es una recta, como en la antigua física clásica; esto significa que mientras el espacio es finito, el tiempo es infinito. La analogía bidimensional del continuo espacio-tiempo de EINSTEIN corresponde a la superficie de un cilindro, en el cual el eje del tiempo discurre paralelamente al eje del cilindro, mientras que el único eje espacial es perpendicular a él.

En resumen, el Universo de EINSTEIN es finito, ilimitado y lleno de una materia que tiene densidad constante. Pero este Universo presenta un grave defecto: no registra el retroceso aparente de los objetos remotos descubierto posteriormente, que ya dijimos constituye uno de los caracteres esenciales del Universo, por lo que debemos abandonarle.

Abandonar el Universo de EINSTEIN no significa abandonar el principio de relatividad sobre el cual está asentado, pues este principio no es el único responsable del defecto que acabamos de señalar. A dicho principio se añadió la hipótesis de que la densidad de la materia era constante, y es a esta hipótesis a la que hay que renunciar, como lo hizo W. DE SITTER, suponiendo nula la densidad media. De esta forma se obtiene un nuevo invariante, el ds^2 del Universo de DE SITTER, cuya

interpretación, según el método usual, dará las propiedades de dicho Universo.

Resulta entonces que el espacio del Universo de DE SITTER es, como el de EINSTEIN, un espacio esférico, pero mientras que el radio del espacio de EINSTEIN tiende hacia infinito cuando la densidad tiende a cero, el del Universo de DE SITTER permanece finito, aunque la densidad de este Universo sea nula.

La consideración del tiempo hace aparecer una nueva diferencia entre el Universo de EINSTEIN y el de W. DE SITTER, ya que en éste el tiempo vuelve a ser relativo, de acuerdo con las ideas generales de la teoría; ya no hay tiempo cósmico absoluto, sino tiempos locales, relativos a cualquier posible observador. Para cada uno de estos observadores, el ritmo del tiempo parece disminuir a medida que consideran fenómenos cada vez más alejados de él. Si camináramos hipotéticamente siguiendo el radio de esferas cada vez más amplias, llegaríamos a una de tamaño máximo, en la que el tiempo observado desde la Tierra aparecería estancado. Pero si nos hubiéramos trasladado efectivamente a tales regiones de reposo eterno, no notaríamos nada extraordinario, ya que todos los fenómenos seguirían su curso normal; al contrario, sería en la región de que partimos donde aparecería esa curiosa detención de todas las cosas. Al menos tales son las apariencias bajo las cuales se manifiesta la relatividad del tiempo a cada observador.

Este debilitamiento del tiempo a gran distancia del observador es susceptible de ser registrado desde la Tierra mediante un desplazamiento hacia el rojo de las rayas espectrales de los objetos luminosos alejados, desplazamiento que será más acusado cuanto más alejado se encuentre el objeto estudiado. Así, según la interpretación de W. DE SITTER, el enrojecimiento de la luz que proviene de galaxias muy distantes no es debido a la huida de esas galaxias, sino al debilitamiento del tiempo en las mismas.

Esto constituye una indudable ventaja del modelo de DE SITTER sobre el de EINSTEIN, el cual no explica ese hecho, pero tal progreso no puede considerarse como definitivo, puesto que el corrimiento previsto teóricamente no coincide con el observado. Además, este progreso se

obtiene al precio de una consecuencia bien desconcertante: el Universo de DE SITTER está vacío, sus fórmulas tomadas al pie de la letra describen un Universo completamente vacío. Se ha querido interpretar generosamente esta circunstancia diciendo que la densidad media de la materia contenida en él, sin ser cero, era lo bastante pequeña para ser despreciable en el cálculo de las fuerzas que rigen el sistema; resulta, sin embargo, que la inmutabilidad depende de no contener materia en modo alguno.

De hecho, el “Universo invariable” había sido encontrado por el sencillo expediente de no colocar en él nada que pudiera experimentar cambios. Por eso no se clasifica por más tiempo al Universo de DE SITTER como estático, y queda el de EINSTEIN como la única forma material que resulta genuinamente estática o sin movimiento. La situación ha sido resumida diciendo que el Universo de EINSTEIN contiene materia, pero no movimiento, y el de DE SITTER contiene movimiento, pero no materia.

Es claro que como el Universo real contiene materia y movimiento hay que desechar estos dos modelos abstractos, pero todavía cabe preguntar cuál de los dos podría representar mejor una primera aproximación. La elección no es cuestión urgente, porque en la actualidad no estamos constreñidos a ninguno de estos dos modelos extremos; entre la gama de soluciones intermedias podemos escoger la que mejor corresponda con la observación. Si estas soluciones no se buscaron antes fue porque se tenía el prejuicio de que era necesaria una solución estática, con el fin de que todo pudiese estar referido a un fondo invariable de espacio.

El Universo en expansión.

En 1922 surge un nuevo e importante problema cosmológico. FRIEDMAN, un matemático ruso, descubrió un error en el cálculo desarrollado por EINSTEIN para establecer su Universo estático, el cual consistía en haber dividido los dos miembros de una ecuación por una expresión

que, en determinadas circunstancias, podía anularse. Por consiguiente, en tales circunstancias no se puede excluir la posibilidad de un universo que no sea estático.

Esto, y el terreno que había preparado la crítica del Universo de DE SITTER, hace que se inicie la investigación deliberada de soluciones no estáticas de la ecuación [2]. FRIEDMAN muestra que el desarrollo correcto de dicha ecuación conduce a dos posibles tipos de Universo, uno que representa un universo en expansión con el tiempo, mientras que el otro constituye un universo en contracción; asimismo hace ver que el Universo de EINSTEIN es dinámicamente inestable, y presto a dilatarse o contraerse a la menor provocación.

Podemos hacernos cargo de estas dos posibilidades imaginando que si, por cualquier circunstancia, se rompiera un hipotético (pero posible) equilibrio entre la atracción newtoniana y la repulsión cósmica, y, por ejemplo, quedara en situación predominante la repulsión, ello desataría una expansión, primero lenta, pero que, al aumentar las distancias entre los cuerpos materiales, produce el doble efecto de disminuir la atracción newtoniana e incrementar la repulsión cósmica, ya que la primera de estas fuerzas es inversamente proporcional al cuadrado de las distancias, mientras que la segunda es directamente proporcional a esas mismas distancias. Por lo tanto, el desequilibrio inicial se acentuaría y la expansión proseguiría a ritmo cada vez más rápido, con lo cual el Universo resulta irrevocablemente lanzado por el camino de la expansión. Con un razonamiento análogo se ve que si inicialmente se rompiera el equilibrio dejando en situación preponderante a la atracción newtoniana, la acción de ésta se vería reforzada de forma ininterrumpida, y el Universo entraría en una contracción cada vez mayor.

La teoría matemática es incapaz, por sí sola, de decidir cuál de estas dos posibilidades se realiza en el Universo material, ya que no se puede fijar el signo de la constante cósmica. Hay que acudir a otras consideraciones de orden físico o experimental para salvar esta ambigüedad, y, en este sentido, la observación de las nebulosas extragalácticas hace inclinar la balanza hacia la expansión.

Por otra parte, LEMAÎTRE, un canónigo belga, logra resolver en 1927

las ecuaciones [2] suponiendo un universo esférico de radio variable con el tiempo, universo lleno de una materia cuya densidad es arbitraria. La solución de LEMAÎTRE es un Universo en expansión: tanto el sistema material, como el espacio cerrado que lo contiene, se expanden. Por efecto de esta expansión, como la cantidad de materia permanece constante, la densidad media disminuye con el tiempo y se aproxima a cero. Ahora bien, si en las fórmulas de LEMAÎTRE se supone la densidad nula, se recae en las fórmulas de W. DE SITTER, lo cual significa que, por efecto de la expansión, el Universo de LEMAÎTRE evoluciona de manera que cada vez se parece más al Universo de DE SITTER. Pero hay más. Siendo variable el radio del Universo de LEMAÎTRE, cabe preguntarse bajo qué condiciones un Universo de LEMAÎTRE podría estar en equilibrio. El cálculo muestra que tales condiciones son, justamente, las que caracterizan un Universo de EINSTEIN.

No está de más prevenir contra la posible idea de concebir la expansión del Universo a la manera cómo una bocanada de humo se expande poco a poco hasta acabar por llenar una habitación. No es así. Es la habitación misma la que se dilata, cual si fuera un globo, con el humo que la llenaba íntegramente desde el principio; es una dispersión que cada cual piensa que actúa a partir de él, una repulsión que carece de centro, o, mejor dicho, en la que cada punto es un centro de repulsión.

Veamos en la habitación nuestro espacio, y en las partículas de humo las nebulosas extragalácticas; este espacio y las nebulosas que le ocupan por completo en todo instante constituyen el Universo material, fuera del cual no existe nada. Al crecer el radio del Universo por efecto de la expansión, aumentan también las distancias que separan a las nebulosas, pero las dimensiones de cada nebulosa, así como las de todos los sistemas menores (constelaciones, estrellas, observadores humanos y sus aparatos, moléculas) no se modifican perceptiblemente; esto se debe a que la repulsión cósmica, aunque presente, está compensada por fuerzas más intensas, por lo cual la expansión no tiene lugar.

En resumen, entre las soluciones de las ecuaciones [2] expuestas hasta ahora, la de LEMAÎTRE es la solución general; la de DE SITTER indica el estado límite de un Universo de LEMAÎTRE en el que la expan-

sión prosiguiera indefinidamente, mientras que el Universo de EINSTEIN es un universo donde la atracción newtoniana y la repulsión cósmica están en equilibrio. Podíamos así deducir que el mundo comenzó como un Universo de EINSTEIN, pasa luego por una serie de tipos de Universos de LEMAÎTRE en expansión cada vez más rápida, y terminará como un Universo de DE SITTER.

La hipótesis del «átomo primitivo».

Las ideas expuestas hasta aquí constituyen una cosmología, es decir, una teoría del estado actual del Universo. Pero LEMAÎTRE llega a más: pretende explicar la evolución del Universo, con lo cual su teoría alcanza el rango de una cosmogonía.

Conviene señalar una diferencia esencial entre la cosmología y la cosmogonía de LEMAÎTRE. En la primera, partiendo de las ecuaciones relativistas fundamentales se deducen, por vía estrictamente matemática, las propiedades geométricas del Universo; la cosmogonía de LEMAÎTRE aparece en el momento en que a este esquema geométrico se agregan hipótesis de carácter físico que permiten describir la evolución del Universo. La elección de estas hipótesis no se sigue de ningún principio matemático, sino de la perspicacia e intuición del investigador, guiadas por su conocimiento de las leyes físicas fundamentales; una vez realizada la elección es cuando el análisis matemático vuelve a escena, y permite obtener, por vía deductiva, las propiedades físicas del Universo.

Casi todos los predecesores de LEMAÎTRE han elegido como estado inicial del Universo una nebulosa extraordinariamente difusa, cuya materia existía originariamente: es la nebulosa inaugural de LAPLACE, o la materia primitiva de KANT, formada por partículas que se condensaban en núcleos progresivamente crecientes bajo el signo de la ley de NEWTON de la atracción universal, hasta recaer, con mayor o menor fortuna, en la estructura actual del Universo. El sentido de la evolución implicado en la mayor parte de esas cosmogonías es, pues, el que va de lo difuso a lo concentrado.

LEMAÎTRE rompe con esas ideas y piensa que dicho sentido debe ser invertido, justificando su punto de vista con argumentos basados en diferentes capítulos de la física. Cabe destacar esta variedad de argumentos, pues es plausible que una teoría general del Universo se apoye sobre un conjunto de conocimientos físicos, y no solamente sobre algunos de ellos como, por ejemplo, la ley de NEWTON.

Entre estos argumentos figura el hecho actual de la expansión del Universo. Al retroceder en el pasado veremos contraerse al Universo, de forma que las nebulosas se irían aproximando cada vez más, hasta alcanzar un instante en el cual toda la materia se encontraría condensada en una masa única en estado superdenso: el “átomo primitivo” o, como podría decirse mejor, el “núcleo primordial”, ya que no podría estar rodeado de electrones periféricos.

Así, pues, la hipótesis cosmogónica de LEMAÎTRE consiste en suponer que el Universo entero ha existido en la forma de un núcleo de radio muy pequeño, astronómicamente hablando.

Tal instante de la vida del Universo ha debido corresponder al de su Creación, pues a causa de su abrumador contenido energético, este núcleo primordial sólo podría subsistir una fracción muy pequeña de tiempo, y explotaría en virtud de un proceso que la bomba de hidrógeno ha puesto a la orden del día, deshaciéndose en multitud de fragmentos. Como dicen las Escrituras, “fue el primer día...”.

Según la teoría de LEMAÎTRE, después de la corrección del término proporcional de la ley de HUBLE efectuada en 1954 por BAADE, tal hecho debió producirse hace unos 5.000 millones de años. Si el Universo se hubiera formado en un solo instante, todos los astros deberían tener la misma edad y presentar una composición uniforme. Y, efectivamente, esto es lo que ocurre; los resultados obtenidos al determinar la edad de la Tierra y de nuestra Galaxia por métodos completamente independientes como, por ejemplo, la comparación de los porcentajes actuales de isótopos en los cuerpos radiactivos, la pérdida de energía de las estrellas por irradiación, etc., coinciden todos en este dato: 5.000 millones de años. Por otra parte, todos los elementos químicos observados en las estrellas, cualesquiera que sean, próximas o muy alejadas, se en-

cuentran también en nuestra Tierra. Según el célebre astrónomo alemán HAAR, este resultado constituye “uno de los argumentos más potentes en favor de la hipótesis de la Creación instantánea”.

Claro que los científicos se guardan de decir que en ese momento ha tenido lugar la Creación del Mundo; sin embargo, no hay absolutamente nada que permita formular la menor hipótesis sobre lo que podía existir *antes*, mientras que se han presentado varias teorías para describir la historia del Universo a partir de ese momento. Naturalmente, todas constituyen especulaciones que bordean los límites extremos de la Ciencia, y por ahora no pueden ser miradas más que como simples hipótesis de trabajo.

Volvamos al estado inicial del Universo. En este momento la densidad de la masa de la energía radiante era enormemente mayor que la densidad de la materia. Gracias a la conocida ecuación $E = m c^2$, que expresa que la energía es equivalente a la masa de la materia multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz, podemos medir con el mismo metro la energía y la materia. Así podemos calcular que al cabo de una hora la temperatura del Universo sería de unos 250 millones de grados, que se reducirían a unos 6.000 (la temperatura actual de la superficie del Sol) a los 200.000 años, y bajando paulatinamente, al cabo de 250 millones de años se alcanzarían temperaturas hasta de 100 grados bajo cero.

Este momento constituye una época crítica en la vida del Universo. Como en un sistema en expansión la densidad de la energía radiante disminuye mucho más rápidamente que la densidad de la materia, esta última llega a ser mayor que la primera, lo que lleva consigo profundas modificaciones en su comportamiento. En la época en que la energía de la materia era superada por la energía radiante, la materia debía extenderse uniformemente por el espacio bajo la forma de gas, pero apenas cobraron mayor importancia las propiedades gravitacionales que las de la energía radiante, según ha demostrado JAMES JEAN, ese gas uniformemente repartido tendería a fraccionarse en “esferas gaseosas” aisladas y de distinto volumen.

Así, pues, hacia el año 250 millones de iniciarse la expansión,

cuando la materia se liberó del dominio de la energía radiante, ese gas uniformemente repartido que constituía el Universo se escindió en gigantescas nubes gaseosas, que poco a poco se fueron separando unas de otras por efecto de la expansión. Entonces estas nubes sólo constituirían “protogalaxias” frías, oscuras y caóticas, pero al condensarse el gas que las formaba, resultarían las galaxias tal como las observamos hoy.

Un punto importante en este cuadro de la evolución del Universo consiste en explicar la formación de los diversos tipos de materia, es decir, de los elementos químicos.

Durante los primeros cinco minutos de la vida del Universo, la temperatura de éste era demasiado elevada para permitir la formación de núcleos complejos, de modo que en este tiempo sólo se produciría la desintegración espontánea de neutrones, con formación de protones y electrones. A partir de entonces, y a causa de la expansión, la temperatura ya habría descendido lo bastante para permitir la reunión de protones y neutrones constituyendo unidades de orden superior. Este proceso debió completarse al cabo de 30 minutos, pues en este período de tiempo la temperatura debió quedar por bajo del nivel que exigen las reacciones termonucleares entre los elementos ligeros.

Quizás parezca que carece de sentido afirmar que la actual composición química de nuestro Universo haya quedado determinada por lo que pasó durante media hora hace 5.000 millones de años. Pero repararemos en lo siguiente: En 1953 se hizo explotar una bomba atómica en la zona experimental de Nevada; en el transcurso de una millonésima de segundo, las reacciones nucleares provocadas por la explosión originaron una serie de productos de fisión tal que, en 1956, cuando ya habían transcurrido 100 billones de millonésimas de segundo, todavía se encontraban productos de fisión residuales. Como la razón “una millonésima de segundo a tres años” es aproximadamente igual a la de “media hora - cinco mil millones de años”, si aceptamos una razón de tiempo de este orden en un caso ¿por qué no aceptarla también en el otro?

Señalemos, por otra parte, que FERMI y TURCKEVICH han realizado en el Instituto de Estudios Nucleares de la Universidad de Chicago un

estudio detallado de las reacciones nucleares tal como debieron tener lugar durante la primera media hora del Universo, llegando a la conclusión que dichas reacciones debieron producir una cantidad aproximadamente igual de hidrógeno y de helio, que compondría el 99 por 100 de la materia total, y un 1 por 100 de deutones, cálculo que se ha visto confirmado, ya que hoy día se sabe que el hidrógeno y el helio constituyen cerca del 99 por 100 de la materia del Universo.

Hemos dicho que la desintegración del átomo primitivo es la causa inicial de la expansión del espacio. Como consecuencia de la explosión se origina un aumento de volumen, pero la circunstancia de ser todavía pequeñas las dimensiones del sistema favorece la atracción newtoniana a expensas de la repulsión cósmica, la cual, sin embargo, predomina sobre aquélla; así la expansión se ve retardada, pero no detenida. A medida que transcurre el tiempo se va acentuando la repulsión cósmica y, como consecuencia, la expansión toma un ritmo cada vez más acelerado. Según los cálculos de LEMAÎTRE, actualmente nos encontramos ya en una fase de rápida expansión. Si desde ahora miramos al futuro, cada vez serán mayores las velocidades aparentes con que se separan las nebulosas extragalácticas, con lo cual también cada vez será mayor la fuerza de repulsión cósmica, lo que hará aumentar las distancias, y así sucesivamente, una cosa refuerza la otra. Al final algo tiene que ceder. Estamos ante la situación de un hombre que, por vez primera, ve pasar un avión por encima de su cabeza: sin duda se sorprenderá al contemplar cómo avanza, pero ¿no se preguntará también cómo se para?

Tal es, reducida a sus rasgos esenciales, la grandiosa teoría de LEMAÎTRE; grandiosa por la diversidad de los medios movilizados para establecerla, y también por la visión general del Universo que ella ofrece. LEMAÎTRE mismo ha escrito: “Creo que sería una gran desgracia para un astrónomo el carecer de imaginación”. Lo que hemos expuesto prueba bien que al autor de la teoría del átomo primitivo no le ha faltado. Y no se identifique “imaginación” con irresponsabilidad; un investigador celoso de su reputación procura guardar la cautela debida, pero, naturalmente, nunca puede aspirar a la dosis de cautela demostrada por el hombre que se atrinchera en su casa.

La hipótesis de la «creación continua».

Los modelos expuestos hasta aquí no constituyen las únicas teorías fundadas en las ideas relativistas. En 1951, un grupo radicado en Cambridge y capitaneado por HOYLE ha propuesto un Universo estático, en el que no existen diferencias esenciales entre las características generales del pasado y del futuro, y que lleva a conclusiones verdaderamente impresionantes; para citar algunas, que el Universo no ha tenido principio ni tendrá fin, que el espacio y el tiempo son infinitos, y que la materia es continuamente creada formando nuevas estrellas y galaxias para compensar a aquellas que se alejan por efecto de la expansión. Para llevar a cabo esta compensación, basta un nuevo átomo de hidrógeno por cada litro de espacio en expansión y por cada 1.000 millones de años.

Según esta teoría, las galaxias más antiguas se alejan cada vez más, pero, al mismo tiempo, se van formando nuevas galaxias por condensación de la materia que ha sido creada en los espacios, cada vez mayores, que separan a las antiguas. Y esto viene sucediendo sin principio ni fin. Si pasáramos una película en sentido retrógrado, veríamos que las galaxias iban amontonándose unas sobre otras, y las más próximas a nosotros amenazarían con precipitarse sobre nuestra Vía Láctea; pero, en el momento del pasado correspondiente a su creación, se desvanecerían sin dejar rastro, y, antes que viniese una segunda ola, nuestra propia Vía Láctea también habría desaparecido.

Conviene señalar que el Universo estático es alcanzado por HOYLE de distinta manera que BONDI y GOLD; éstos arrancan de un principio físico de simetría, mientras que HOYLE prefiere partir de una definición matemática de la creación continua de la materia que encaje en el cuadro de la teoría de la Relatividad, para deducir después, como consecuencia de las ecuaciones del campo, la solución del Universo estático.

A primera vista puede parecer que la creación continua de materia en el espacio está en flagrante contradicción con el principio de conservación de la energía; pero no debe confundirse la situación de un

sistema cerrado con otra, muy distinta, como es la de un sistema abierto. La teoría de la Relatividad dice que en un universo abierto y en expansión infinita, las concentraciones locales de energía están ligadas a la expansión de todo el universo; entonces la energía de expansión puede tomar una forma que lleve a la creación continua de materia.

Dos aspectos de la teoría de HOYLE merecen destacarse: su base matemática y la posibilidad de ser contrastada con la experiencia. Se preguntará: ¿Cómo? Naturalmente, no con experiencias de laboratorio, a menos que se llegue a encontrar el medio de acelerar artificialmente la creación de la materia, porque la velocidad de creación, según la teoría, es despreciable desde el punto de vista terrestre; en un laboratorio de Física se necesitarían cerca de 1.000 años para poder observar la formación de un nuevo átomo de hidrógeno. Es en la escala cósmica donde se pueden obtener estas pruebas.

Observando los sistemas más alejados que alcancen nuestros telescopios, veremos como eran hace 1.000 millones de años, o aún más, y podremos comparar la situación del cosmos en tiempos pasados con la que se ofrece en ambientes más próximos a nosotros en el espacio y en el tiempo. Puesto que, según la teoría del Universo estático, no existe diferencia entre las características generales del pasado y del futuro, esta comparación puede desempeñar el papel de una prueba. Imaginando que la formación de una nueva galaxia sea equivalente a un nacimiento en el sentido biológico, y que su alejamiento a causa de la expansión equivalga a la muerte, una nueva generación de galaxias nace, no como en el caso de los hombres, cada treinta años, sino tras unos cuantos millares de millones de años, y del mismo modo que una población se extingue si no se reproduce de generación en generación, igualmente desaparecerían las características generales de los sistemas de galaxias si éstos no se repitiesen del mismo modo.

Finalmente, la Radioastronomía ofrece la excitante posibilidad de suministrar una prueba directa de la creación de la materia en el espacio intergaláctico. Según los cálculos de la teoría de HOYLE, la densidad media de la materia debe ser, por lo menos, diez veces mayor que el valor que la asigna la teoría de LEMAÎTRE; la diferencia se debe al hidró-

geno esparcido por el espacio intergaláctico, que hasta ahora no ha sido posible localizar, pero cabe esperar que nuevos radiotelescopios puedan probar si en dichos espacios existe o no tal cantidad de hidrógeno.

Consideración final.

En lo que llevamos expuesto hemos dado una noticia de cómo las teorías relativistas han contribuido a poner orden y simplicidad en la multitud de fenómenos que componen el Universo, viendo a qué síntesis conducen, y en qué medida ha sido alcanzado el objetivo perseguido. Dice MAURICE GEX en su *Initiation a la Philosophie*: “Sean bienvenidas las síntesis audaces; sin embargo, en su misma audacia reside a menudo su fragilidad”. En nuestro caso no intentamos ocultar esta fragilidad; muy al contrario, pues en ella se ve un hecho esencial: que una teoría científica de orden general, incluso cuando su establecimiento se apoya en el razonamiento matemático, jamás es definitiva y perfecta. Sólo debe ser considerada como provisionalmente satisfactoria ante los conocimientos de la época en que se formula.

Por eso siempre habrá enigmas del Universo que arrastrarán al hombre, y el trabajo de éste para desentrañarlos cobrará verdaderas formas de poesía por la grandiosidad de sus concepciones y el objeto mismo de sus afanes. Aquí la Matemática, toda la Ciencia, muestra palpablemente su amor a la belleza y a la libertad al percibir e interpretar este misterioso Universo en que vivimos, al llevarnos a los límites extremos del dominio que se puede pretender explorar, al hacernos, incluso, rebasar tales límites. La inspiración del matemático, la resolución lúcida del físico y el entusiasmo del astrónomo, tejen y desanudan un drama donde se nos ofrece, como Lanzadera, el fabuloso personaje de *El sueño de una noche de verano*, un relato maravilloso.

BIBLIOGRAFIA

- BERGMANN: *Introduction to the theory of Relativity* (New York, 1950).
- BOISCHOT: *La Radioastronomie et son apport nouveau à la connaissance de l'Univers* (París, 1963).
- BONDI: *Cosmology* (Cambridge, 1952).
- COUDERC: *The Expansion of the Universe* (Londres, 1952).
- DAUVILLER: *Les hypothèses cosmogoniques* (París, 1963).
- EDDINGTON: *Space, Time and Gravitation* (Cambridge, 1960).
- : *La expansión del Universo* (Buenos Aires, 1956).
- EINSTEIN: *Relativity: the Special and the General Theory* (Londres, 1955).
- FOCK: *The Theory of Space, Time and Gravitation* (New York, 1964).
- FOWLER, G. R. BURBIDGE and E. M. BURBIDGE: *Stellar Evolution and the Synthesis of the Elements* (The Astrophysical Journal, 1955).
- GAMOW: *The Creation of the Universe* (New York, 1960).
- GAUZIT: *Images du Ciel* (París, 1960).
- Gravitation and Relativity*. Trabajos presentados en 1961-1962 al Seminario de Gravitación y Relatividad del NASA Goddard Institute.
- HOYLE: *The Nature of the Universe* (New York, 1951).
- HUBLE and HUMASON: *The velocity-distance relation among extra-galactic nebulae* (The Astrophysical Journal, 1931).
- JAVET: *La figure de l'Univers* (Neuchatel, 1947).
- KROGDahl: *The Astronomical Universe* (New York, 1962).
- LEMAÎTRE: *L'Hypothèse de l'Atome primitif* (Neuchatel, 1946).
- LYTTETON: *The Modern Universe* (Londres, 1961).
- MARTELLO, Editor: *Le ultime scoperte astronomiche* (1956).
- Mc VITTIE: *General Relativity and Cosmology* (Londres, 1956).
- ROBERTSON: *Relativistic Cosmology* (Review of Modern Physics, 1933).
- SYNGE: *Relativity. The General Theory* (Amsterdam, 1960).
- TEMPLE: *Relativistic Cosmology* (Proceedings of Physical Society, 1939).
- TONNELAT: *Les vérifications expérimentales de la Relativité Générale* (París, 1964).
- WHITROW: *The Structure and Evolution of the Universe* (Londres, 1959).

INDICE

	<u>PÁGS.</u>
El problema cosmológico	5
La observación astronómica	6
La Galaxia	7
Las nebulosas extragalácticas	8
El "efecto HUBLE"	11
La teoría relativista	13
La constante cósmica	16
Los Universos de EINSTEIN y de W. DE SITTER	18
El Universo en expansión	21
La hipótesis del "átomo primitivo"	24
La hipótesis de la "creación continua"	29
Consideración final	31
BIBLIOGRAFÍA	32

ACABOSE DE IMPRIMIR ESTE DISCURSO DE APERTURA
DEL CURSO ACADÉMICO 1965-66, DE LA UNI-
VERSIDAD DE VALLADOLID, EL 24 DE
SEPTIEMBRE DE 1965, EN LOS TA-
LLERES DE LA EDITORIAL
"SEVER-CUESTA", DE
VALLADOLID

