

UNIVERSIDAD DE GRANADA

23

DISCURSO

PARA LA

SOLEMNE APERTURA DEL CURSO ACADEMICO DE 1934 A 1935

POR EL

Dr. D. J. Domingo y Quflez

Catedrático de la Facultad de Ciencias



GRANADA

TIP. LIT. PAULINO V. TRAVESET
Mesones número 52
1934

102305452

BIBLIOTECA HOSPITAL REAL GRANADA	
Sala:	C
Estantería:	001
Volumen:	105 (23)

Estructura, expansión
y evolución del Universo

102305452

BIBLIOTECA HOSPITAL REAL GRANADA	
Sala:	C
Estante:	001
Numero:	105 (23)

Estructura, expansión
y evolución del Universo

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
- GRANADA -

C

Sala 41

Estante 5 (28)

Número

521

R.32452

UNIVERSIDAD DE GRANADA

DISCURSO

PARA LA

SOLEMNE APERTURA DEL CURSO ACADÉMICO DE 1934 A 1935

POR EL

Dr. D. J. Domingo y Quilez

Catedrático de la Facultad de Ciencias



GRANADA

TIP. LIT. PAULINO V. TRAVESET
Mesones número 52
1934

UNIVERSIDAD DE OTTAWA

DISCOURS

PART

POUR LA PRÉSENTATION DE LA THÈSE DE DOCTORAT

LE D. J. BOUTIN

CHANCELIER DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

1952

UNIVERSITY OF OTTAWA

1952

Estructura, expansión y evolución del Universo

POR

J. Domingo y Quílez

PALABRAS INICIALES

El pensamiento humano ha recorrido tres etapas en cuanto a su concepción de la Naturaleza. Los pueblos primitivos animábanla con dioses y demonios que regían los procesos naturales cuya producción, desarrollo y fin eran exclusivamente debidos a la voluntad de tales seres antropomorfos; esa etapa puede así caracterizarse correctamente como la de la idea politeísta del Universo. Las reflexiones primitivas, con su carácter de elevada dignidad divina, han ido transmitiéndose de generación en generación y hoy no se puede decir que han sido ya desarraigadas del pensamiento de la porción ingénuo de la humanidad: el elemento básico de todo sistema religioso lo constituye ese concepto mitológico de la causa final de los fenómenos naturales.

El deseo de conocer más exactamente el mundo en épocas en que no estaba plenamente abierta la vía de la observación e investigación científica, tal como éstas fueron más tarde concebidas, hizo que las inteligencias más sobresalientes fuesen dejando a un lado las vulgares y fantásticas especulaciones imperantes sustituyéndolas por otras más racionales aunque quizá, para un moderno espíritu científico, no muy diferentes de aquéllas en esencia. Los filósofos reemplazan con conceptos metafísicos los mitológicos vulgares, pero también esos conceptos de origen metafísico, con que se llenan las ciencias naturales, no



dejan de tener un indudable origen antropomórfico en general, como sucede por ejemplo a sus nociones de espacio, tiempo, materia, fuerza, etc.

Al alborear el siglo XVII comienza una nueva etapa para las ciencias naturales con la poderosa inteligencia de Galileo, quien inicia a la Física por los derroteros de que ya no ha de salir en las siguientes centurias. El conocimiento científico se apoya, desde entonces, solamente en hechos de observación y experiencia y estos hechos y las relaciones conceptuales entre los mismos constituyen el escueto contenido de la ciencia de la naturaleza.

En la lucha titánica del gran Galileo con los filósofos peripatéticos, lucha que pudo costarle la vida de mantener inequívocamente alguna de sus ideas ante el Tribunal inquisitorial al que hubo de ser sometido, vencieron para siempre el criterio y los nuevos caminos abiertos por el sabio en la teoría del conocimiento y acaso no haya existido en la historia de la humanidad una revolución que, en la importancia de sus consecuencias, supere a esa transformación del pensamiento científico llevado desde las ideas mitológicas de los tiempos primitivos y las ideas metafísicas de los filósofos, hasta las ideas científicas de los tiempos modernos para las que solo existen hechos y nexos causales entre ellos.

Esta que pudiéramos llamar desdivinización y deshumanización de la Ciencia no quiere decir negación del valor posible del mundo mitológico y filosófico, sino oposición a llevar los conceptos de esos mundos a una esfera extraña a la que pertenecen, pues con ellos no se puede llegar al objetivo que el conocimiento científico pretende alcanzar: la predicción de los acontecimientos futuros.

En los problemas cosmogónicos, de los que seguidamente vamos a ocuparnos, se han destacado netamente a lo largo del tiempo las tres etapas aludidas del pensamiento humano, en grado tal vez superior a lo sucedido en las restantes partes del estudio de la Naturaleza. En tales problemas existen dos cuestiones distintas que no separaban las antiguas cosmogonías: la del *origen* y la de la *evolución* del Universo. Puesto que el problema del origen del mundo concierne a la existencia y el de la evolución se refiere solamente a los cambios en las formas de manifestarse la materia, únicamente el segundo puede actualmente ser objeto

de consideración científica a menos de trascender de los dominios de investigación de la Ciencia para penetrar en los propios de la filosofía tradicional a los que pertenece el primero de los problemas. Excluido, pues, de nuestros propósitos el de ni siquiera aludir a las explicaciones últimas a que se consagra siempre una parte de las antiguas cosmogonías, nos esforzaremos por exponer un cuadro, lo más claro y elemental que podamos, de los conocimientos reales y posibles formas que acerca de la estructura y evolución del Universo —hacia atrás y futura— son considerados hoy día por los observadores y pensadores científicos.

En la exposición huiremos cuanto podamos de los detalles, intentando tan solo la percepción de la perspectiva de conjunto, pues dirigiéndonos a personas en general profanas en la materia sobre que ha de versar nuestra disertación, creemos que no son las particularidades de la Ciencia, tan alejadas de las preocupaciones diarias de su vida, las que han de despertar su interés y satisfacer su deseo de participación en el conocimiento científico, deseo que tal vez se sienta hoy con mayor vehemencia que en otras épocas ante la sensación experimentada, aún por los alejados de la investigación científica, de que se están experimentando actualmente cambios esenciales, de que se está realizando una revolución rápida del pensamiento científico y de que por tanto se incuba una nueva imagen del Universo.

I

LAS GRANDES LÍNEAS DE LA ESTRUCTURA DEL UNIVERSO

Podemos esquematizar el criterio actual sobre la organización del Universo en la siguiente forma:

- 1.° La Tierra no es más que un miembro constituyente del sistema solar.
- 2.° El sistema solar no es más que un miembro del sistema galáctico, vasta aglomeración de estrellas cuyo borde es la Vía Láctea.
- 3.° El sistema galáctico no es más que un miembro de un sistema de individualidades, nebulosas espirales, integradas por aglomeraciones de estrellas.

Cabe preguntarse si queda completado con esta tercera proposición el esquema del Universo o si por el contrario el sistema de nebulosas no será a su vez una unidad de un conjunto más vasto y hasta si este nuevo conjunto no sería más que otro simple elemento de un sistema más vasto todavía.

El sistema de nebulosas es el estadio más lejano que ha franqueado hasta el presente la Astronomía y además las modernas conclusiones de esa Ciencia no confirman la posibilidad de que ese sistema sea una individualidad de sistemas más amplios, sino que él constituye la totalidad del Universo. Todo lo más que podemos permitirnos es la hipótesis de la existencia de otros sistemas de nebulosas que constituyen universos completos sin relación alguna con el nuestro. (1).

Para adquirir una idea completa de las grandes líneas que forman el esqueleto de la estructura del Universo nos bastaría considerar cada una de las tres proposiciones que acabamos de enunciar, pero no nos detendremos en la primera de ellas ya que el sistema formado por el Sol con su cortejo de planetas, satélites, etc., nos es conocido desde la escuela primaria y podemos así no considerarlo. Sin embargo, antes de internarnos en consideraciones sobre los otros dos sistemas, vamos a tratar de una cuestión que indudablemente despierta un vivo interés: la de la posibilidad de existencia de vida en otro u otros de los planetas que con el nuestro forman parte de la que pudieramos llamar familia solar. Adelantemos nuestra opinión de que al menos tal como conocemos la vida, ésta solamente puede existir en la Tierra.

II

LA VIDA SOLO EXISTE EN LA TIERRA

Los medios que la Física ha proporcionado a la Astronomía permiten a los cultivadores de ésta la medida sin dificultad de la cantidad de calor que nos envían los planetas vecinos, calor que no es propio, sino debido al calentamiento del astro ante la acción de los rayos solares, por lo que aquéllos son tanto más

(1) Sir James Jeans.—“*Les étoiles dans leurs courses*”, Trad. fran. de A. Sallin, Paris, 1932, pág. 147.

fríos cuanto más alejados se encuentran del Sol. Con ayuda de la medida de la cantidad de calor que recibimos de esos planetas vecinos se puede deducir la temperatura aproximada que poseen. Esta temperatura es extremadamente elevada en el planeta más cercano al Sol, que además es mucho más pequeño que la Tierra, tanto que con 16 Mercurios se formaría escasamente un astro del tamaño del nuestro. En virtud de su masa poco mayor que la de la Luna, le sucede lo que a ésta: su fuerza gravitatoria es insuficiente para retener una atmósfera y careciendo de élla carece por tanto, en estado de libertad, del elemento químico, el oxígeno, indispensable para la vida.

También el planeta siguiente, Venus, recibe por su mayor proximidad, una cantidad de calor del Sol superior a la recibida por la Tierra, así que la temperatura en él es grandemente más elevada que la nuestra.

Sin embargo, Venus, cuyo tamaño es aproximadamente igual al de la Tierra, tiene como ésta una atmósfera que retiene por la ya suficiente acción gravitatoria de su masa y esa atmósfera, como nos revela la observación, presenta una singularidad, la de ser sostenedora de una espesa y permanente capa de nubes que impide veamos en ningún momento la superficie del planeta. La existencia de tal capa mitiga indudablemente el excesivo ardor de la radiación calorífica solar que tiene que atravesarla antes de llegar a dicha superficie y cabía suponer que dulcificadas así en ésta las, en otro caso inconvenientemente extremadas, condiciones climáticas, pudiesen existir circunstancias que, no muy alejadas a las de la Tierra, permitiesen el desarrollo de la vida en Venus, hipótesis que con frecuencia ha sido emitida. Pero desgraciadamente para los que no se deciden a resignarse con el carácter excepcional que nosotros en este aspecto admitimos para nuestro planeta, existe una diferencia esencial entre las atmósferas de Venus y de la Tierra que induce a desechar tal hipótesis: mientras que en la terrestre existe una fuerte proporción de oxígeno, en la atmósfera de Venus no ha podido la observación revelar trazas de ese gas. El oxígeno se combina tan fácilmente a otras substancias de las existentes en nuestro suelo que nosotros no poseeríamos ya ese gas, en el aire que nos rodea, a no ser porque los vegetales, volviendo a descomponer alguno de los compuestos oxigenados del suelo, lo dejan de nuevo en libertad, constituyendo de esta forma especies de fábricas na-

turales del, para nuestra vida, indispensable gas. Si Venus no contiene oxígeno en su atmósfera hay un índice indudable de que la vegetación no existe en el planeta y, hasta mejor, de que no existe vida de ninguna clase.

Considerados ya los dos planetas más calientes que la Tierra, pasemos a los que por estar del Sol más alejados que élla poseen también una temperatura inferior. El más inmediato a nosotros de éstos es Marte, el cual tiene un valor para su masa cercano al de la décima parte del de la Tierra. Este planeta, de tamaño muy inferior al nuestro, es el que ha despertado mayores esperanzas de que esté habitado. La base principal de ellas estribaba en que un gran número de sus astrónomos, estudiando visualmente a través de sus anteojos la superficie de Marte, han encontrado líneas oscuras que por su distribución y forma se podrían interpretar como canales de riegos de enorme longitud. No fué precisa más prueba para que la fantasía imaginase poblado al vecino astro, actualmente o en pasadas épocas, por seres en un estado de avanzada civilización y poseedores de una técnica ingenieril superior a la nuestra. Puede estar en lo cierto quien así piense, pero permitanos mostrarle cómo la base de sustentación de su creencia no presenta por ahora apariencias científicas de firmeza. Experiencias numerosas han demostrado, en efecto, que cuando el ojo se esfuerza por estudiar los detalles de un objeto que está iluminado débilmente tiende a delimitar la luz y las sombras por medio de líneas imaginarias. ¿Nó sería a estas líneas imaginarias a las que atribuían realidad los primeros observadores de Marte? La cámara fotográfica, que está exenta de ese inconveniente del ojo, no ha podido hasta hoy confirmar, la existencia de las líneas ni aún adaptada a instrumentos de un aumento muy superior al de los empleados en su estudio visual por aquéllos observadores.

Si la fotografía no ha logrado confirmar esa parte de las descripciones de algunos astrónomos, ha conseguido en cambio poner de manifiesto la exactitud de las variaciones de aspecto que con las distintas estaciones del año marciano, habían visto aquéllos que se presentaban en la superficie del planeta. Durante su invierno se forma sin duda alguna un casquete de nieve alrededor de su polo Norte y este casquete, puesto que entonces se ha fundido, no es revelado en las fotografías realizadas en la época correspondiente al verano de Marte. A la vez que estas variacio-

nes en la coloración de las regiones polares, sufren otras las porciones restantes de la superficie del planeta que, por analogía a lo que en la Tierra sería observado a gran distancia, debido a los cambios de color, con la estación del año, en sus partes pobladas de vegetación, han sido atribuídas a la existencia de esa vegetación sobre el suelo del planeta en cuestión, pero tales diferencias de coloración pueden igualmente ser debidas a la caída estacional de lluvias y a la fusión de las aguas en un desierto, totalmente inhabitado, de cenizas volcánicas, pues el estudio de la luz reflejada por Marte nos hace pensar que su superficie, como la lunar, está principalmente formada por esas cenizas.

A esta cualidad de su suelo, tan desfavorable para el desarrollo de la vida, se suma la extremidad del clima allí imperante que se hace insoportable para todos los seres organizados que se desarrollan aquí. La atmósfera de Marte es mucho más tenue que la de la Tierra y por ende tiene disminuída grandemente la propiedad reguladora de la variación diurna de la temperatura que posee la nuestra. Los rayos solares escasamente debilitados en su poder calorífico, por el paso a través de la atmósfera, calientan durante el día los cuerpos de la superficie de Marte hasta temperaturas superiores a las que alcanzarían en nuestras regiones ecuatoriales, mientras que esos cuerpos llegarían a estar en la noche inmediata tan fríos como si se encontrasen en los Polos terrestres. Tenemos pues que concluir que al menos, en la forma conocida, no existe vida alguna en nuestro vecino planeta Marte.

En cuanto a los restantes planetas, más alejados del Sol que el anterior, nadie ha pensado en la posibilidad de esa existencia. Todos ellos están extraordinariamente fríos; Júpiter, el más cercano, nos envía una cantidad de calor de la que se deduce debe reinar allí una temperatura de 168° C. bajo cero.

Vemos pues que, como habíamos adelantado, únicamente la Tierra tiene, en el sistema solar, condiciones climáticas convenientes para el desarrollo de la vida organizada tal como nosotros la conocemos. Quizá, dicen algunos, élla exista en algún planeta de los innumerables e invisibles que deben formar el cortejo de las estrellas del Universo: nadie puede negar en absoluto la posibilidad de tal suposición. Sin embargo, hasta en este punto seguimos nosotros creyendo que es mayor la probabilidad de que la Tierra siga extendiendo hasta el total del espa-



cio universal el carácter excepcional que hemos visto posee dentro del sistema a que pertenece. La duración del tiempo de su evolución durante el cual un planeta goza de las propiedades físicas indispensables para que en él surja y se desarrolle la vida, es un instante comparada con la inmensidad del tiempo de evolución del Universo entero, y se comprende la probabilidad tan exigua, por no decir nula, que resulta para que dos planetas se hallen precisamente en el mismo instante del estadio de sus vidas respectivas.

En resumen: según nuestra manera de opinar, si la Tierra no posee aquél carácter preeminente que la asignaban los astrónomos de la antigüedad y que culminó en el célebre tratado de Ptolomeo titulado "Almagesto" donde se la consideraba como el astro central del Universo, posee en cambio una propiedad excepcional: la de ser en la actualidad el único soporte en el Mundo entero de la materia viva, privilegio de que en tiempos remotos habrán podido gozar o gozarán otros planetas pertenecientes a sistemas astronómicos semejantes al de nuestro Sol.

Pasemos ya a estudiar el sistema estelar de la Vía Láctea.

III

NÚMERO DE LAS ESTRELLAS DEL SISTEMA GALÁCTICO

El gran astrónomo inglés William Herschel, considerado justamente como el fundador de la astronomía estelar, fué el primero en emitir, en 1785, la idea de que las estrellas forman un sistema y al estudio de la estructura de ese sistema se consagró con ardiente pasión, guiada por su sentido genial para las cosas del cielo. Para Herschel, el sistema estaba integrado por "muchos millones de estrellas". ¿Cuántas?

Si a cualquiera se le plantease la pregunta de cuál es el número de las que a simple vista divisa en el cielo perfectamente despejado de una noche sin luna, contestaría quizá con las mismas palabras del astrónomo inglés: diría muchos millones, o muchos millares si era hombre cauto. Pero si se le pidiese concretar la cifra que deja incierta en el adverbio "muchos", le asustaría la idea de la fatiga necesaria para contar tantos puntos bri-

llantes como él cree puede apereibir en la bóveda celeste. Y sin embargo, si a pesar de ello realizase el fatigoso esfuerzo de dirigir su mirada por una sola vez a cada una de las estrellas que puede divisar, le sorprendería seguramente el resultado obtenido: aquéllos *muchos* millares o *muchos* millones de estrellas se reducirían a un número próximo a 3.000.

Herschel, sin embargo, no había cometido el error tan grande que este resultado numérico podría impremeditadamente hacer suponer. Disponía de un suplemento eficaz de su ojo para observar el cielo estrellado, pues a través del telescopio le era permitido contemplar los millones a que se refirió. Con el más potente de esos aparatos que existe actualmente, a un astrónomo que dedicase todos los instantes de su vida, útiles para contemplar a su través el firmamento, aún siendo ésta larga, no le sería posible terminar el cómputo de las estrellas que podría distinguir. El número es ya colosal, pues ha saltado de las 3.000 a cerca de mil millones: ¿Significa este valor el total redondeado de las estrellas del sistema?

Cuanto mayor es la potencia del instrumento empleado en la observación, tanto mayor es también el número de las estrellas que podemos percibir mediante él, de modo que resulta inútil conjeturar así el total de las que pueblan nuestro universo, pues el valor obtenido sería sobre-pasado cuando los medios técnicos suministrasen un nuevo telescopio más potente, con el que no obstante dejaríamos de ver también muchas de ellas. No nos desanimemos sin embargo; tenemos un medio para determinar el número aproximado de todas las estrellas, visibles e invisibles, que en conjunto forman el sistema particular de estos astros al cual pertenece nuestro Sol. Nos bastará saber cuál es la masa total que posee ese conjunto y la masa media correspondiente a una estrella de él para mediante una simple división de esas dos cantidades llegar al número ansiado. Se ha llegado (1) para este número a un valor que sobrepasa ciertamente a los 100.000 millones, es decir que sólo en el sistema galáctico hay más de 100 estrellas por cada persona que habite la Tierra. Tienen, pues, donde elegir los que crean aún en la influencia sobre su vida de una estrella determinada. Habrá que precisar en lo sucesivo a cual de ese largo centenar, que a cada uno nos toca en el reparto,

(1) J. Jeans: "Les étoiles dans leurs courses", p. 126.

nos queremos referir cuando maldecimos la estrella del prójimo y hasta me permito aconsejar a los estudiantes que me escuchan que no dejen sin trabajo, durante el curso, a las “malas” estrellas del lote que les pertenezca, sino que, por el contrario, intenten fatigarlas para que al final de él sea, en los momentos de los exámenes, una “buena” estrella de las de ese lote la que le toque de guardia en la permanente y turnante misión, que parece ser, les está confiada, de dirigir nuestras vidas.

Pero dejando estas cuestiones, volvamos sobre las dos magnitudes —masa total del conjunto de las estrellas y masa media que corresponde a una de éstas— que se necesitan conocer para determinar ese número tan grande como el de letras que contendrían un medio millón de novelas de tamaño corriente y de unas 200 páginas cada una.

IV

MASA DE LAS ESTRELLAS

Eddington ha tratado teóricamente el problema de la constitución de las estrellas (1) y en el caso de suponer la materia que las forma dotada de las propiedades de un gas perfecto llega a fórmulas mediante las cuales, dada la masa de la estrella, se puede calcular la cantidad de energía calorífica y luminosa que ha de emitir, y por tanto cuál ha de ser su brillo absoluto, distinto del que aparentemente nos muestra y en el cual influye la distancia a que se encuentra de nosotros. El brillo absoluto se ha determinado para millares de estrellas y si la teoría de Eddington fuese correcta podríamos conocer la masa de las mismas, que desde luego no es posible determinar para muchas, mediante datos de observación. De la aplicación de la fórmula de Eddington se llega a una consecuencia notabilísima: Las estrellas que presentan tan grandes variaciones de brillo se diferencian en cambio muy poco por su masa. Salvo para muy pocas, todas las masas estelares calculadas están comprendidas entre la sexta parte de la masa del Sol y 30 veces este valor. Hay sin embargo al-

(1) A. S. Eddington “The Internal Constitution of the Stars” Cambridge, 1926.

gunas estrellas extraordinarias en este aspecto y así una colonia de cuatros de éstas en la constelación de Canis majoris se supone, aunque sin certidumbre, que tiene un peso total de 1.000 veces el del Sol, lo que supone una masa media igual a 250 veces la solar para cada una de las estrellas de la colonia. Este resultado ya decimos que es muy incierto, pero en cambio para otra colonia, esta vez de dos estrellas, la de Plaskett, se supone que con gran probabilidad la masa de las dos es superior a 140 veces la del Sol. Sin embargo, estrellas tan macizas son excepcionalísimas y la mayor parte de ellas tienen masas inferiores a 10 veces la solar y ninguna ha sido descubierta hasta el presente que la tenga menor que la décima parte de la del Sol, cuyo último resultado había sido previsto por la teoría de Eddington, pues una consecuencia de ésta era la de que las estrellas cuya masa fuese inferior a la décima parte de la solar, no podrían en su superficie alcanzar la temperatura necesaria para emitir radiaciones visibles, por lo que los cuerpos de masa inferior a tal límite deben permanecer oscuros.

La teoría parece además estar sólidamente confirmada por los datos de observación en los casos, ciertamente no muy numerosos, en que ha sido posible determinar con ellos la masa de ciertas estrellas. Estas son las llamadas "estrellas dobles" formadas cada una por un grupo de solamente dos estrellas que se encuentran lo suficientemente próximas para constituir un sistema particular en el que cada una de él describe una órbita alrededor de la otra, manteniéndose ligadas por la mútua fuerza de atracción equilibrada por la centrífuga de la rotación a que están sometidas, lo mismo que le sucede a la Tierra atraída por el Sol, sobre el que no cae por el equilibrio que para esa fuerza supone la centrífuga procedente de la rotación de nuestro planeta. Estudiados los movimientos propios de cada una de las componentes de una estrella doble se puede deducir el valor de la mútua fuerza atractiva y ya en posesión de ese valor calcular el de las masas de una y otra estrella. Así han podido determinarse las de algunos centenares de estos astros y los resultados obtenidos concuerdan con los que para esas masas se deduciría, dados los brillos respectivos, mediante la teoría de Eddington.

Como consecuencia de los datos obtenidos se llega a que el valor medio para la masa de una estrella es precisamente próximo —tal vez un poco inferior— al bien conocido de la del Sol.

Poseemos pues uno de los elementos que precisábamos para adquirir el conocimiento del orden de magnitud del número de estrellas de que se compone el sistema galáctico a que pertenecemos. Veámos cómo puede también adquirirse el conocimiento del otro elemento —masa total de todas esas estrellas— que es necesario obtener.

Las estrellas que llamamos fijas no lo son tal, sino que por el contrario, todos estos astros, incluyendo nuestro Sol, están dotados de movimiento propio por los espacios interestelares. El desplazamiento del Sol fué primeramente determinado por W. Herschel y después por Bessel, Airy y otros muchos, resultando de esas determinaciones que en su carrera por el espacio posee una velocidad de unos 300 kilómetros por segundo, lo que supone un recorrido diario de unos 26 millones de kilómetros, es decir que el próximo año, en este día y a esta misma hora, el Sol y nosotros que nos lleva consigo estaremos en un punto del espacio distante en números redondos 10.000 millones de kilómetros de la posición que en el actual momento ocupamos.

Este movimiento lo realizamos describiendo una curva cerrada cuyo centro se halla muy distante, tan distante que para no citar un número enorme vamos a dar su valor tomando como unidad no el kilómetro, sino otra más adecuada a las fantásticas longitudes que hay que manejar en astronomía estelar. Esta unidad es la llamada *año-luz* y representa la distancia a que se propagaría un rayo de luz en el vacío durante un año; como en esas condiciones la Física ha podido determinar que la luz recorre 300.000 kilómetros en un segundo, resulta que la nueva unidad de distancia es equivalente a unos 10 billones de kilómetros. Enorme unidad el año-luz a nuestra escala terrestre y sin embargo el punto alrededor del cual describe el Sol su trayectoria en el espacio se halla a una distancia de aquél que es del orden de los 30.000 años-luz, con lo cual resulta una longitud tan grande para esta trayectoria que para recorrerla por completo y volver de nuevo al punto del universo en que ahora estamos será preciso que trascurren unos 200 millones de años.

Como al Sol, le sucede, según hemos dicho, a las restantes estrellas visibles con los telescopios. Oort ha mostrado (1) sin lugar a dudas, en 1927, que todas giran alrededor del mismo pun-

(1) H. Mineur: "Histoire de l'astronomie stellaire", Paris. 1934.

to que lo hace el Sol, cuyo punto constituye así un verdadero centro del sistema integrado por tales estrellas. Ese centro se encuentra en la dirección que va desde nuestra Tierra a una zona oscura que ocupa en la bóveda celeste un lugar entre las constelaciones Sagitario y Escorpión. En esa zona oscura existe una nube de materia, quizá de pequeñas partículas, es decir, lo que pudiéramos llamar una nube de polvo, que intercepta toda luz que detrás de ella tratase de llegarnos. Lo que hay tras esa nube nos es desconocido, se podría suponer que nos oculta una estrella gigantesca, un Sol enorme, que atrae hacia él a las masas estelares, las cuales, sinó se precipitan allí es por la fuerza opuesta que supone la aceleración centrífuga correspondiente al movimiento de las estrellas en las curvas de sus órbitas. Sin embargo, es altamente improbable la existencia de ese Sol descomunadamente grande y seguramente tras la nube oscura no hay más que una multitud muy densa de estrellas ordinarias.

Por otra parte no nos interesa ahora ese enigma, para nosotros exista condensada en un solo astro la materia de las cercanías del centro del sistema galáctico o hállese dispersada en numerosas estrellas, el caso es que tenemos un sistema de cuerpos celestes sometidos a la atracción de una gran masa central. Sobre una estrella cualquiera se ejercerá esa fuerza y la también atractiva del resto del sistema, y lo mismo que del conocimiento de los movimientos planetarios podemos deducir las masas de los elementos del sistema solar, se podrá obtener la masa central y la del conjunto de los cuerpos del sistema galáctico al sernos conocidos los movimientos de las estrellas. La masa total del sistema galáctico resulta ser del orden de 100 a 200.000 millones la del Sol.

Vemos, pues, cómo también ha podido ser determinado el segundo elemento que se precisaba para conocer el número aproximado de las estrellas que ligadas entre sí físicamente por la ley de la atracción universal integran una unidad del universo que hemos venido llamando sistema galáctico.

V

FORMA Y DIMENSIONES DEL SISTEMA GALÁCTICO

Conocido ya el orden de magnitud del número a que se refería Herschel en su frase de los “muchos millones de estrellas” que componen el sistema a que pertenece nuestro Sol, se plantea la cuestión de cómo se hallan distribuidas en el espacio ocupado por aquél. El supuesto más sencillo que podría hacerse sería el de que esa distribución es homogénea, es decir, que en toda unidad de volumen de ese espacio —esa unidad podría ser un cubo cuya arista tuviese la longitud de 100 años-luz— hubiese siempre el mismo número de estrellas, o lo que es lo mismo, podríamos suponer que la densidad estelar es uniforme. Pero ya nuestro adquirido conocimiento visual del aspecto del cielo nos haría sin duda recelar de esa hipótesis. Mientras que la gran mayoría del mismo nos presenta un fondo oscuro salpicado más o menos profusamente de puntos brillantes hay en cambio una zona en que al parecer la materia luminosa debe ser tan abundante que, a la distancia a que la contemplamos, se nos presenta como un arco blanquecino, de aquí su nombre de Vía láctea, que atraviesa el cielo desde un punto del horizonte hasta su opuesto y que si pudiésemos seguirlo por debajo de ese horizonte encontraríamos que se cerraba, formando como un anillo, alrededor de nuestra Tierra. La naturaleza de esta banda continua nos es conocida desde que Galileo dirigió hacia ella en 1609 su recién construido antejo, viendo que desaparecía esa continuidad resolviéndose en un gran número de estrellas.

El plano medio que atraviesa a la Vía láctea se denomina plano galáctico y resulta, pues, que en la dirección de él la densidad estelar debe ser muy grande, mientras que en cualquier otra dirección del espacio se reduce notablemente esa densidad y por ende nos encontramos con muchísimas menos estrellas al dirigir nuestra mirada hacia puntos situados fuera del plano galáctico.

Si la densidad estelar no es uniforme, el problema primor-

dial de la investigación de la estructura del sistema galáctico consistiría en encontrar cómo se halla distribuída tal densidad en las distintas regiones del espacio. Para resolverlo, William Herschel efectuó sus célebres sondas que consistían en dirigir su telescopio a determinada región del cielo y en contar el número de estrellas que con él vería, llegando a la consecuencia de que, en el hemisferio boreal, los valores cuando el instrumento tenía su eje en el plano galáctico eran 14 veces mayores que si estaba dirigido perpendicularmente al mismo.

John Herschel continuó las observaciones de su padre en el hemisferio sur y aproximadamente un siglo después, a comienzos del actual, S. C. Kapteyn, quien también consagró su vida a la estructura del sistema estelar, aprovechando los propios datos y los de los anteriores, dió un gran impulso al conocimiento de la misma (1), llegando en 1920 a una ley para la densidad estelar de la que se deduce que ella decrece rápidamente hacia los polos de la Vía láctea y mucho más lentamente en el plano de la misma que es de simetría para el sistema galáctico, cuyo sistema tenía la forma de una lente biconvexa —una lupa— delgada, con un diámetro de unos 100.000 años-luz y un espesor máximo de 8.000 años-luz a cuyos números no se les puede sin embargo otorgar mucha confianza.

Los trabajos de Shapley en estos últimos años le han conducido a una estructura para nuestro sistema galáctico que si modifican los detalles del esquema de Kapteyn conservan las líneas generales del mismo. Otro investigador, Charlier, llegó en 1914 a resultados algo distintos que le condujeron a una concepción diferente de la anterior del sistema estelar, ya que el de Charlier tendría dimensiones unas 100 veces menores, su plano de máxima concentración no sería el galáctico sino que formaría con él, un ángulo de 15° y el centro se hallaría en la dirección hacia la constelación de la Carena y no hacia el borde de la de Sagitario. Como en la Vía láctea aparecen numerosas aglomeraciones estelares de forma elipsoidal, denominadas nubes galácticas, se podría admitir que el sistema galáctico total estaba formado a su vez por subsistemas, a los que se ha llamado “sistemas loca-

(1) El resultado de las investigaciones de Kapteyn, hasta 1914, está magistralmente espuesto en la obra de A. S. Eddington: “*Stellar Movements and the Structure of the Universe*”.

les”, que serían esas nubes galácticas. El Sol pertenecería así a un “sistema local” y ésta nube galáctica la que Charlier puso en evidencia. Esta hipótesis se la suele conocer por “hipótesis supergaláctica” y aún cuando la existencia o no de sistemas locales es aún imposible de asegurar con certeza, mediante los datos actuales de las observaciones, las investigaciones más recientes parecen confirmar ese punto de vista. (1).

En el esquema de la estructura del sistema galáctico, con sus estrellas, nebulosas galácticas, nebulosas oscuras, nebulosas planetarias, nubes galácticas, etc., en cuyas definiciones no vamos a entrar, que giran alrededor de un punto, nos falta tratar de una cuestión para completar tal bosquejo. Es frecuente decir que entre el final de la atmósfera de la Tierra y el Sol, que entre el Sol y las estrellas, en suma, en el designado espacio interestelar existe el vacío *absoluto*. Esto dicho así es inexacto. Si suprimiésemos el adjetivo y al decir vacío nos refiriésemos a una extrema rarefacción de la materia en el espacio interestelar, no habría que oponer objeción alguna, pero si al hablar del vacío absoluto lo interpretamos como carencia completa de átomos materiales en dicho espacio, cometemos la mencionada inexactitud.

El astrónomo Plaskett, del observatorio colonial de la Colombia inglesa, observó ciertas particularidades en los espectros de las estrellas más calientes y brillantes e interpretó el fenómeno como debido a la absorción de la luz, que nos llega de esas estrellas, por una nube muy enrarecida de átomos ionizados de calcio que llena el espacio interestelar. La interpretación de Plaskett fué desarrollada teóricamente por Eddington (2) quién llegó a la consecuencia de que por cada centímetro cúbico existía aproximadamente un átomo, aunque trabajos más recientes, dados a conocer este año y realizados en el Observatorio de Mount Wilson, llegan a atribuir valores 10 veces superiores para esa densidad interestelar.

Las investigaciones posteriores han mostrado que en esta nube de calcio se observan los mismos efectos rotacionales que en las estrellas y que por consiguiente participa, como la restante materia del sistema, de la rotación de conjunto del mismo, cuya

(1) W. de Sitter: “Kosmos”, Harvard University Press, 1932, pág. 89.

(2) A. S. Eddington: “*Estrellas y átomos*,” traducción del inglés por J. Cabrera, Madrid, 1928. págs. 104-114.

velocidad *media* para las estrellas es de 20 kilómetros por segundo que es también la velocidad media que posee la Tierra al marchar en su órbita alrededor del Sol.

Adquirida ya una idea de la estructura mecánica del sistema galáctico podemos pasar al estudio del Universo formado por un conjunto de sistemas análogos a aquél.

VI

ESTRUCTURA DEL UNIVERSO O SISTEMA SUPER-GALÁCTICO

Al explorar la bóveda celeste con anteojos o con telescopios, se descubren en muchas regiones de la misma, especies de tenues nubes de variado aspecto y muy débil luminosidad. Se las designa con el nombre general de nebulosas y atendiendo a su forma se las puede agrupar según dos tipos diferentes. En uno se incluyen todas las nebulosas cuya forma es totalmente irregular y en el otro las que poseen formas regulares o casi regulares.

Las primeras, llamadas genéricamente *nebulosas gaseosas*, ya que por el estudio espectrográfico de su luz se deduce que están constituidas por gas extraordinariamente enrarecido, son también las que, al observar a través de los instrumentos ópticos, se nos muestran de mayor tamaño debido a su menor distancia a nosotros, pues se encuentran dentro del sistema de la Vía láctea participando del movimiento alrededor del centro de ésta a que se encuentra sometida toda la materia que la integra. Dos ejemplos típicos de nebulosas gaseosas son una, extensa y con cierta apariencia redondeada, situada en la zona de la bóveda celeste en que se encuentra la constelación de Orión y la otra alargada y con forma de sutil velo blanco extendido por el cielo de la constelación del Cisne.

El otro tipo de nebulosas comprende las que van a recabar exclusivamente nuestra atención en lo sucesivo y que afectan formas regulares. A pesar de que esas formas son variadas, muchas de ellas poseen brazos que se arrollan en espiral hacia el centro y como consecuencia, se suele designar a todas, aunque no los presenten al ser observados desde la Tierra, con el nombre de *nebulosas espirales*, menos frecuentemente con el de nebulosas galácticas o simplemente *galaxias*.



La última designación nos indica ya el criterio que acerca de su naturaleza se tiene. Se las supone son sistemas análogos a nuestro sistema galáctico, que, como decíamos al principio, no será así más que un miembro de otro sistema o supersistema de individualidades, galaxias, semejantes a él. Esta idea sobre la naturaleza de las nebulosas se remonta a mitad del siglo XVIII en que el filósofo Kant las describía como "sistemas de un gran número de estrellas, pareciendo tan poco alejadas las unas de las otras, en un estrecho espacio, que su luz es imperceptible individualmente y a causa de su inmensa multitud esta luz nos llega bajo la forma de un resplandor pálido y uniforme". William Herschel, alrededor de medio siglo después que Kant, emitió el supuesto de que el sistema de la Vía láctea era realmente una nebulosa y que alguna de las nebulosas que vemos en el cielo son sistemas del mismo tamaño y naturaleza que el nuestro. Finalmente, Easton en 1910, sugirió por primera vez que nuestro sistema estelar tenía una estructura espiral.

Desde luego las nebulosas galácticas no forman parte, como las nebulosas gaseosas, del sistema de la Vía láctea. Aquéllas no están sometidas al movimiento de conjunto de toda la materia integrante de este sistema, del cual se encuentran alejadas por distancias muy superiores a los 100 a 200.000 años-luz que corresponde a su diámetro máximo. La nebulosa espiral más cercana de cuantas podemos divisar dista efectivamente de nosotros 850.000 años-luz. Esta nebulosa es la llamada M33, porque le corresponde ese número en el catálogo de Messier y está situada en la dirección hacia que vemos la constelación del Triángulo. La luz que ahora nos llega de esa galaxia partió de allí en un instante en que sobre la Tierra no había surgido aún la existencia humana. Nuestra más próxima vecina, después de M33 de la Triángulo, es la gran nebulosa M31 de Andrómeda, única que puede ser percibida a simple vista, aunque dista 900.000 años-luz.

A pesar de los 22 millares de millones de millones de kilómetros que nos separan de la galaxia M33 podemos en realidad considerarla como cercana: en la constelación de los Gemelos se ha logrado observar un grupo de nebulosas muy pálidas cuya distancia evaluada en 150 millones de años-luz es, por tanto, unas 175 veces superior a la M33 del Triángulo. La luz que nos llega de las galaxias lejanas es tan débil que para estudiarla hay

que someter las placas fotográficas, en que su efecto queda grabado, a exposiciones de hasta 30 horas, con lo que naturalmente son precisas varias noches para obtener una fotografía.

Se conocen alrededor de dos millones de nebulosas espirales y su densidad, o número por unidad de volumen, no se ha encontrado disminuya al alejarnos de la Vía láctea, sino que al parecer están repartidas uniformemente en todas las partes del Universo que hasta de ahora han sido exploradas.

Si las nebulosas espirales son sistemas semejantes al nuestro de la Vía láctea, estarán también sus agrupaciones materiales girando alrededor de un centro y presentarán formas más o menos aplastadas. Un gran número de nebulosas presentan efectivamente esas formas porque están animadas de un movimiento de rotación el cual impide además a las estrellas, que se logran observar en sus partes periféricas, que caigan hacia el centro respectivo. El estudio de ese movimiento, en los casos que ha sido posible realizarlo, nos permite calcular la fuerza gravitatoria hacia el centro de la nebulosa y con ello determinar la masa total de ésta, igualmente que con los datos del movimiento en nuestro sistema galáctico podíamos hallar el peso del mismo. Se encuentra así que la nebulosa espiral media posee una masa igual a dos o tres mil millones de veces la del Sol. Si recordamos que la masa total hallada para el sistema galáctico es de cien a doscientos mil millones de veces la del Sol, resulta que nuestra galaxia es unas cien veces más pesada que las otras galaxias.

También en las dimensiones se encuentra desigualdad, pues mientras el mayor diámetro del plano de simetría de la galaxia de la Vía láctea dijimos que era del orden de los 100.000 años-luz, los diámetros que han podido medirse de las nebulosas espirales son todos alrededor de 10 veces menores: el promedio es de unos 9.000 años-luz. El sistema estelar a que pertenecemos se destaca por su mayor tamaño de todos los otros que con él componen el Universo. Sin embargo no debemos enorgullecernos demasiado pronto de este papel preeminente de nuestra galaxia. Pocos o quizá ningún astrónomo lo acepta de buen grado y en espera de que los medios de observación se perfeccionen se muestran excépticos en cuanto a la realidad de la excepcionalidad que al parecer presenta el sistema de la Vía láctea. El tamaño de una nebulosa espiral se deduce del ángulo bajo el cual se ve su má-

xima dimensión lineal desde la Tierra y de la distancia a la misma, igualmente que podemos conocer, por ejemplo, la altura de la torre de una Iglesia si medimos el ángulo bajo el cual se la ve desde un punto alejado de ella y la distancia a que estamos separados. Pero en nuestro sistema galáctico digamos que la densidad iba disminuyendo al alejarnos de su centro y no puede extrañarnos pues que partes periféricas de las nebulosas espirales sean tan poco densas que la debilidad de la luz que de esas partes proceda, no pueda impresionar las placas fotográficas, con lo que nos aparecerán bajo un ángulo menor al que realmente sería determinado al poder observarlas en su totalidad y hallaremos así un valor menor para su diámetro del que realmente tiene. Tampoco podemos estar muy seguros de la exactitud de las calculadas distancias que nos separan de las nebulosas espirales y si se confirmase una suposición de Sitter (1) resultaría que esas distancias y por tanto las dimensiones supuestas de las galaxias, habría que multiplicarlas por el factor nueve o diez, con lo que tendrían el mismo tamaño medio que el sistema galáctico.

La confirmación de si somos o no somos excepcionales por nuestro tamaño no se podría obtener hasta que sea resuelto el problema de la determinación más precisa de los diámetros y distancias de las nebulosas espirales, problema que es uno de los más importantes y difíciles en la actualidad a pesar del avance que en estos últimos veinte años hemos realizado en el conocimiento del Universo, mediante las observaciones realizadas con los grandes telescopios, especialmente con el del Observatorio norteamericano de Mount Wilson, que nos permite explorar regiones de las que distamos más de cien millones de años-luz. Para ese mismo observatorio se está construyendo otro telescopio que duplicará la profundidad a que ahora podemos sondear el espacio.

VII

EXPANSIÓN DEL UNIVERSO

Entre los descubrimientos realizados por la observación en esos veinte últimos años, figura uno sensacional que ha venido a confirmar algunas predicciones teóricas que fueron derivadas de

(1) W. de Sitter: "*Kosmos*", Harvard, 1932, pág. 101.

la teoría de la relatividad generalizada de Einstein publicada en 1915. El astrónomo de Sitter, Director del Observatorio y Profesor de Astronomía de la Universidad de Leyden, deducía dos años después que según esa teoría debiera esperarse “ver a los más lejanos objetos celestes alejarse de nosotros”. Pero en esa época solamente eran conocidas tres velocidades radiales de las nebulosas, es decir, sólo para tres se había determinado la componente de su velocidad según la dirección de la visual que le dirigimos, y con tan escasos datos no se podría confirmar ni negar la inusitada propiedad que De Sitter teóricamente asignaba al Universo. La primera serie importante de medidas fué realizada por el Profesor W. M. Slipher, del Observatorio Lowell, quien en 1922 había determinado las velocidades radiales de 40 nebulosas espirales, y puso de manifiesto que salvo las cuatro más próximas a nosotros las 36 restantes tenían una velocidad de alejamiento.

Los astrónomos Hubble y Humason, del Observatorio de Mount Wilson, aprovechando la mayor potencia del telescopio de que disponían extendieron las medidas de Slipher a las nebulosas más lejanas, descubriendo Hubble en 1929 que la velocidad con que se alejaban era directamente proporcional a la distancia a que las nebulosas espirales se encontraban de nosotros, como se hace patente con los siguientes resultados:

NEBULOSAS	NÚMERO	DISTANCIA EN MILLONES DE AÑOS-LUZ	VELOCIDAD RA- DIAL EN KILÓ- METROS POR SEGUNDO
Aisladas	21	3.9	630
Amas de la Virgen	7	5.9	890
Aisladas	16	10.8	2350
Piscis	4	22.5	4630
Pegaso	5	23.5	3810
Cáncer	2	29.7	4820
Perseo	4	35.5	5230
Coma	3	46.9	7500
Osa Mayor	1	74.7	11800
León	1	118.3	19600

Posteriormente se han seguido obteniendo datos de nebulosas espirales más alejadas aún que la de la constelación del León y para un grupo muy pálido, a una distancia de 150 millones de años-luz, que se encuentra en la de los Gemelos, se han determinado velocidades de alejamiento de 25.000 kilómetros por segundo.

De los datos de Hubble resulta para velocidad media de alejamiento la de 170 kilómetros por segundo por millón de años-luz, o sea, dicho de otra forma, que una nebulosa espiral situada a una distancia de un millón de años-luz se alejaría de nosotros con una velocidad de 170 kilómetros por segundo, si la nebulosa se encontrase a 10 millones de años-luz nos huiría con velocidad de 1.700 kilómetros, si estuviese a 1.000 millones de años-luz poseería una velocidad de 170.000 kilómetros por segundo y si se hallase a la distancia de 1.765 millones de años-luz se alejaría a razón de 300.000 kilómetros por segundo. Pero como ésta es precisamente la velocidad de propagación de la luz en el vacío, resulta que no nos será jamás posible tener el menor conocimiento de los astros que se encuentran separados de nosotros por distancias superiores a 1.765 millones de años-luz, ya que a cualquier señal luminosa que envíasen no le sería dado alcanzarnos por alejarse el foco emisor con más rapidez de la que puede llevar dicha señal.

Nos hemos encontrado con una consecuencia de las observaciones que no podía ser previsible hace 20 años. Nada se oponía entonces a suponer que el Universo era infinito y que si el perfeccionamiento técnico de los instrumentos se aumentaba más y más, también crecería la profundidad de aquél que sería posible explorar. Nos hallamos ahora con que sea o no infinito el Universo para nuestro conocimiento directo permanecerá finito siempre, puesto que jamás podremos observar nada de cuanto suceda a distancias superiores a la de 1.765 millones de años-luz, aún suponiendo que llegásemos a poseer un telescopio superpotente capaz de permitir denotar nebulosas, en reposo, situadas a esas distancias.

Advertimos sin embargo que el resultado anterior no prejuzga la real finitud del Universo y con sólo lo expuesto hasta aquí no habría motivo para cambiar nuestro criterio preconcebido respecto a su infinita extensión. Pero independientemente del fenómeno observado del continuo alejamiento de las nebulosas espira-

les, Einstein, como consecuencia de su teoría de la relatividad generalizada, había llegado a una concepción del Universo según la cual éste debiera ser finito aunque ilimitado, es decir, que en él sucedería lo que en una superficie esférica que también es finita aunque no tiene límite alguno, y así como en ella si nos movemos, siempre hacia adelante, sin desviación alguna a derecha ni a izquierda, describimos una circunferencia que nos vuelve al punto de partida, también en el Universo de Einstein si una masa se desplaza, lo que pudiéramos llamar en línea recta, en vez de ir separándose siempre más y más del lugar de que salió, lo que sucedería es que terminaría por pasar por ese lugar tras haber dado una vuelta completa en el espacio.

En la concepción einsteiniana del Universo la densidad media de la materia que contiene se consideraba, aunque pequeña, finita. Esta densidad media significa la masa que por unidad de volumen existiría si toda la materia que actualmente está conglomerada en las nebulosas espirales se dispersase uniformemente por el Universo finito. Tal densidad resulta muy pequeña; cualquier región del espacio contendría, en el supuesto de la distribución uniforme, una cantidad de materia que sería un billón de veces menor que la contenida en un tubo, de volumen igual a aquella porción de espacio, si en ese tubo producimos el vacío mayor que se puede lograr en los laboratorios físicos. Tan pequeña es la densidad media que al desear una imagen del Universo no detallada sino a gran escala, podría tomarse a aquélla como igual a cero, pero Einstein, como hemos dicho, se inclinó por aceptar como finita la densidad del Universo y de esa suposición se deduce que el Universo de Einstein es un *Universo estático*, es decir, que no sufrirá cambio alguno con el transcurso del tiempo.

W. De Sitter, en 1917, trató el problema suponiendo ser cero la densidad media y por tanto estudió el caso del *Universo vacío*: el resultado fué que tal Universo vacío, pero por otra parte finito aunque ilimitado como el de Einstein, debería expandirse continuamente. Naturalmente ambos Universos se consideraron como primeras aproximaciones que pudieran proporcionar un primer paso para llegar al Universo actual. En el de Einstein, con la materia distribuída uniformemente, el segundo paso consistiría en hallar modificaciones que acarrearían su concentración en sistemas galácticos aislados. En el de De Sitter

vacío en primera aproximación, habría luego que introducir varias nebulosas espirales y desde cualquiera de ellas se vería, en virtud de la expansión, alejarse a las demás.

Se puede resumir la situación en 1917, diciendo que había dos aproximaciones: en la de Einstein el Universo contenía materia pero no movimiento, en la de De Sitter contenía movimiento pero no materia. En aquel tiempo no era posible resolver el dilema de manera terminante ya que el valor actual de la densidad no era ni aproximadamente conocido y el movimiento de las nebulosas espirales no se había descubierto, pero unos años después podía afirmarse que ni una ni otra de las soluciones correspondía exactamente al Universo real que contiene simultáneamente materia y movimiento.

Entre ambas soluciones extremas, de las ecuaciones generales del campo de la teoría de la relatividad generalizada, existen otras intermedias que fueron sistemáticamente investigadas por A. Friedmann en 1922 y que más tarde volvió a encontrar el abate G. Lemaitre, Director del Observatorio de Lovaina, pero para darnos cuenta de ésto será conveniente recordar algo de aquella teoría.

VIII

LOS DIVERSOS TIPOS DE UNIVERSO

Con la primera exposición de Einstein, de su teoría relativista, existían dificultades en el caso de ser el Universo infinito y poco después se desembarazaba Einstein de esas dificultades de una manera simple y radical. Añadiendo un término que solo influiría al aplicar las ecuaciones a las grandes distancias, pero que sería inapreciable aún para las iguales al diámetro de la Vía láctea, suprimía las dificultades, pues se eliminaba su causa ya que el Universo que se deducía de las ecuaciones modificadas no tenía infinito, sino que, como ya hemos dicho, era finito e ilimitado.

El término introducido en las ecuaciones se llamó *término cósmico* y contenía una constante, llamada también *constante cósmica*, que Einstein supuso esencialmente positiva. Tanto en la so-

lución de Einstein como en la de De Sitter mencionadas, el significado físico de esa constante era el de ser la raíz cuadrada de su inversa igual al radio de curvatura del Universo. Además el término que antes de la modificación figuraba en la ley de la gravitación de Einstein significaba una atracción de las masas que, salvo para velocidad próximas a la de la luz, sería igual a la que entre aquéllas tendría lugar según la ley de Newton y así la constante que contenía ese término era la misma que la constante gravitatoria de la dicha ley newtoniana.

Por el contrario el término cósmico añadido por Einstein a su ley de gravitación, significa una repulsión directamente proporcional a la distancia con lo que a la fuerza atractiva, inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, se sumaba en la ley más general otra fuerza repulsiva directamente proporcional a esa distancia entre dos masas materiales. La fuerza repulsiva, que es proporcional a la constante cósmica, no se manifiesta ni a las distancias entre las estrellas de un sistema galáctico, lo que nos dice que la constante cósmica, cuyo valor es desconocido por la teoría y sólo la observación puede proporcionarlo, igualmente a lo que sucede para la constante atractiva de la ley de Newton, debe ser muy pequeña.

La fuerza repulsiva sólo podría por consiguiente tener un valor suficientemente grande a distancias superiores a las máximas que pueden encontrarse en las nebulosas espirales, es decir, a las distancias a que entre sí se encuentran separadas tales nebulosas. Como la otra fuerza que entre ellas se ejerce, la atractiva, es tanto más débil cuanto mayor sea la distancia, a medida que los sistemas materiales se encuentren más alejados la fuerza repulsiva es mayor y la atractiva menor y cuando la primera supere a la segunda se observará una repulsión inexplicable con la antigua teoría de Newton de la gravitación.

Podemos ahora imaginar siguiendo un razonamiento de Eddington (1) una serie intermedia de tipos de Universo, entre los dos extremos, de Einstein y de De Sitter a que anteriormente aludimos. En el de De Sitter "la materia tiene una densidad indefinidamente pequeña y la atracción será despreciable. La repulsión cósmica actúa sin ningún freno y obtenemos la más grande posible velocidad de expansión del sistema. Cuando se introduce en

(1) A. Eddington: "*The expanding Universe*" Londres, 1933, cap. II.

el problema más materia, las acciones mutuas de gravitación aumentan la cohesión del sistema y se oponen a su expansión. Cuanto más aumente la materia más lenta se hará pues la expansión. Existe un valor particular de la densidad para la cual la atracción newtoniana que se ejerce entre las galaxias es justamente bastante fuerte para contrabalancear la repulsión cósmica y la expansión se anula. Se tiene entonces el Universo de Einstein. Si pusiéramos aún más materia, la atracción superaría a la repulsión y obtendríamos un modelo de Universo en contracción.”

Tenemos, por consiguiente, una serie de modelos para la representación y uno de ellos será el más adaptado a la realidad actual que es de expansión y por tanto de decrecimiento continuo de la densidad. Una consecuencia interesante de la posesión de esa serie es la de que puede dar una representación del desarrollo de la vida del Universo. Podemos suponer que en un cierto momento toda la materia estaba distribuída uniformemente en un espacio esférico constituyendo un Universo estático de Einstein. Tal Universo está en equilibrio inestable, pues basta una ligera perturbación para destruirlo de manera que ya no vuelva a su punto de partida. Efectivamente en el Universo finito de Einstein se contrabalancean, como dijimos, la atracción newtoniana y la repulsión cósmica y si por una causa cualquiera una de estas fuerzas, por ejemplo la repulsiva, llega a ser mayor que la otra, comienza una expansión que trae como consecuencia el alejamiento de las porciones materiales del Universo y al aumentar esa distancia se hace más pequeña la fuerza atractiva, con lo que aumenta el motivo de desequilibrio y el Universo continuará dilatándose más y más. Naturalmente, si la fuerza que primitivamente aumenta es la atractiva, la consecuencia sería la de una creciente contracción, pero la observación astronómica nos indica que la perturbación sufrida por el Universo de Einstein lo indujo a una expansión, y es, por tanto, en este sentido, que hay que indagar las causas que pudieron motivar tal perturbación.

Una modificación espontánea en el estado de densidad uniforme pudiera ser la de la transformación de la materia en radiación en algunos lugares del Universo, pero como a igualdad de masa la radiación ejerce una atracción gravitatoria más intensa que la materia, la perturbación primitiva resultaría una con-

tracción y seguiría el Universo contrayéndose en la actualidad. Descartada pues esta posible modificación espontánea nos queda la de que se formasen condensaciones locales de materia con las que se alteraría la uniformidad de su distribución en el espacio esférico. El cálculo muestra que en primera aproximación las condensaciones locales no alterarían el equilibrio y es preciso prolongar los desarrollos matemáticos, venciendo grandes dificultades de índole técnica, hasta llegar a órdenes más elevados de aproximación, para alcanzar términos que indiquen la modificación de las condiciones de equilibrio en el sentido deseado de producir la expansión del Universo. Lemaitre (1) llegó así al resultado de que “la presión es el factor capital de la inestabilidad de un Universo estático, tanto que si la presión en él fuese rigurosamente nula no aparecería jamás la expansión. Pero si la presión (o la energía cinética) no es nula, cualquier disminución de ella provocará la expansión”.

Resulta, según Lemaitre, que las condensaciones de materia no producen acción directa en la alteración del equilibrio del Universo homogéneo, pero en las zonas intermedias entre las condensaciones la consiguiente rarefacción de la materia acarrearía una disminución de la presión y ésto, como decimos al final del párrafo anterior, provocará la expansión.

Con la teoría de Lemaitre el Universo en conjunto podría considerarse como un gas que está sufriendo una expansión adiabática y por ende disminuyendo su presión. Las moléculas de ese “gas” serían las galaxias. Antes de comenzar la expansión, esas moléculas poseerían velocidades propias con una inmensa variedad de direcciones, pero una vez comenzada la expansión a esas velocidades propias se sumarían las correspondientes velocidades de alejamiento. Por tanto en el “gas galáctico” no nos debe extrañar que al considerar una a una sus moléculas-nebulosas encontremos velocidades de aproximación en alguna, o que aún siendo de alejamiento no se verifique para ella la ley de proporcionalidad de la velocidad con la distancia. Esa ley, con las ideas de Lemaitre, es una ley estadística, como todas las de la teoría cinética de los gases, es decir, que sólo es aplicable a valores medios y para éstos se cumple como ya se vió con los datos que expusimos obtenidos mediante la observación. Lo que en todo

(1) P. Couderc: “*Discussion sur l'évolution de l'Univers*”, Paris 1933, pág. 16.

caso nos podría sorprender es que las desviaciones individuales, respecto a la ley, no se manifestasen con más frecuencia. Pero hasta ello es fácilmente explicable, pues aún cuando al comenzar la expansión las velocidades propias de las nebulosas tuviesen un elevado valor medio, cuanto más haya disminuído la presión, como consecuencia de la expansión, tanto más habrá disminuído esa velocidad media propia de las nebulosas, pudiendo por tanto ser ahora bastante menor de lo que era cuando la dilatación comenzaba.

Una seria dificultad sale sin embargo al encuentro de la esbozada teoría del Universo en expansión. Como se conoce la velocidad radial de las nebulosas es fácil calcular el tiempo que ha transcurrido desde el instante en que comenzaron las aglomeraciones de masa y con ellas el desequilibrio en el primitivo Universo estático. Este tiempo es de unos dos mil millones de años. Las estrellas naturalmente no pueden tener una edad superior a la del Universo en expansión del que nacieron y sin embargo el tiempo de evolución de las estrellas se admite que es del orden del billón de años, con lo que se llega a la paradoja que podríamos enunciar diciendo que las hijas (estrellas) llevan viviendo unas mil veces más tiempo que el padre (Universo en expansión).

Varias tentativas han sido realizadas para salir de este embrollo que se presenta al problema ya embrollado de la evolución estelar, pero a nadie puede extrañar que una cuestión tan extraordinariamente complicada no haya podido ser satisfactoriamente resuelta en los cinco años que realmente lleva planteada. Parece que se hace necesaria "una revisión completa de nuestras hipótesis cosmogónicas, siendo condición primaria una mayor rapidez que la hasta de ahora supuesta para la evolución estelar. Tenemos necesidad, como dice Lemaitre, de una teoría de "fuegos artificiales". Los dos mil millones de años últimos atestiguarían una evolución lenta: la de las cenizas y el humo de un fuego de artificio brillante pero muy rápido".

Mencionaremos finalmente que Einstein, en 1932, teniendo en cuenta los resultados de Hubble sobre las velocidades de alejamiento de las nebulosas espirales ha demostrado (1) que el Uni-

(1) A. Einstein: "*Sur la structure cosmologique de l'espace*" trad. fran. del alemán por M. Solovine, Paris, 1933.

verso podría tener una estructura diferente a la cerrada que él primeramente le atribuyó y que después adoptó Lemaitre. No se puede con el estado actual de nuestros conocimientos, asegurar como en la primitiva teoría einsteiniana que el hecho de una densidad diferente de cero requiera un Universo cerrado para que pueda ser estable. Tampoco se puede negar que lo sea, pero en este caso su radio de curvatura ha de ser sensiblemente mayor de lo que había sido supuesto. Es más, las ecuaciones de Einstein se verifican aún en el caso de un espacio ordinario infinito en todas las direcciones, con tal de que las distancias entre las masas se dilaten según una cierta ley.

En resumen, la teoría nos permite aceptar que el Universo es finito o infinito, más la experiencia nos obliga a admitir que se dilata. Pero sea finito o infinito el Universo ¿hacia dónde camina? ¿Se dirige a su destrucción o a un estado final de estancamiento? Recorre etapas distintas de envejecimiento y rejuvenecimiento describiendo ciclos que periódicamente le harán pasar por estados análogos al actual? Veamos rápidamente las ideas emitidas respecto a su evolución futura para cerrar así el bosquejo que llevamos trazado acerca de su evolución pretérita y de su estructura actual.

IX

EVOLUCIÓN FUTURA DEL UNIVERSO

Hasta mediados del siglo pasado, en que como consecuencia del llamado segundo Principio de la Termodinámica se inició un opuesto criterio, era indiscutida la idea del ciclo cósmico según la cual el Universo retornaría a un cierto estado después de haberlo abandonado para recorrer aquéllos por que reiteradamente pasa en su eterna evolución.

El Universo, lo mismo que una circunferencia, no tendría ni principio ni fin, pensamiento que con antecedentes en la filosofía griega recibió, en 1755, el apoyo de la autoridad de Kant y más tarde del filósofo poeta Nietzsche al hacerle decir a Zaratrustra: “Todos los estados que este mundo puede alcanzar los ha alcanzado ya y no solamente una vez si no un número infini-

to de veces. Como en este momento es, lo fué ya otra vez, muchas veces, y volverá a ser lo mismo cuando todas las fuerzas estén exactamente repartidas como hoy. Lo mismo sucede al momento que ha engendrado a éste y al que él dará nacimiento" (1). La anterior idea ha sido también sostenida en tiempo reciente por el filósofo Abel Rey (2). Pero de no ser porque científicos como Arrhenius y Nernst (3) han tratado de buscarles un apoyo no habríamos citado esas logomaquias de una filosofía clásica que, como dice Frank (4), es incontestable que "no conduce a comprender y a adoptar las teorías actuales de la Física" sino que más bien presenta una oposición al progreso de las ciencias experimentales.

Supone Nernst que la energía de radiación lanzada al espacio continuamente por las estrellas pueda transformarse en algunos lugares en átomos de peso atómico elevado, los cuales reuniéndose en nebulosas inauguran una nueva evolución. Es cierto, que desde apenas hace un año, los físicos han creído ver en sus experiencias de laboratorio señales inequívocas de la llamada materialización de la energía, pero por ahora sería una temeridad anticientífica extrapolar el resultado de esas experiencias, realizadas bajo condiciones especiales, a imaginarios procesos en el espacio universal casi vacío. Todo lo más que nos pueden hoy proporcionar es una esperanza de que ellas contribuyan a edificar a partir de la hipótesis de Nernst una teoría del ciclo cósmico libre de las abstracciones que contiene la desarrollada por dicho físico-químico y que le conduce a un Universo estacionario incompatible con los hechos de observación.

Contrariamente a las ideas de una repetición cíclica de los estados sucesivos del mundo ha venido en cambio imperando de una manera general entre los hombres de ciencia, el pensamiento de una marcha irreversible del Universo hacia un fin predestinado. Tal pensamiento ya dijimos que se inició como consecuencia del segundo principio de la Termodinámica que establece que en las transformaciones que se verifican en los sistemas

(1) H. Lichtenberger: "*La philosophie de Nietzsche*", Paris, pág. 162.

(2) A. Rey: "*Le retour éternel et la philosophie de la physique*", Paris, 1927.

(3) Nernst: "*Das Weltgebäude im Lichte der neuen Forschung*", Berlin, 1921.

(4) Ph. Frank: "*Theorie de la connaissance et physique moderne*". Paris, 1934, pág. 17.

físico-químicos tienden a desaparecer los contrastes de calor estableciéndose el equilibrio solamente cuando todas sus partes estén a la misma temperatura. Además, en las transformaciones de una clase de energía en otra; se convierte por lo menos una parte en energía calorífica. Al Universo, considerado como un sistema cerrado, todos los procesos energéticos que se están desarrollando continuamente lo conducen, pues, de una manera unívoca a un final en que, igualadas las temperaturas en todas las porciones de su espacio, no será ya posible transformación alguna de energía. Ese estado final de uniformidad calorífica se denomina la “muerte térmica” del Universo y paralelamente a la misma se presenta la llamada “muerte de la materia” del Universo ya que efectivamente los átomos de las substancias radioactivas se desintegran espontáneamente transformándose en otros más ligeros, y como todos los átomos son más o menos radioactivos —cuestión demostrada experimentalmente en el año actual— resulta que también en el Universo tiende a desaparecer todo contraste material. Podemos según esto concluir que el estado final del Universo será el de una uniforme y extrema difusión de la materia y la energía por todo el espacio y que una vez llegado a esta muerte ningún proceso natural podrá reanimarlo.

Hemos repetido que la idea del envejecimiento paulatino e inevitable del Universo es una consecuencia de un principio de la física clásica, pero digamos que se ha robustecido con otro principio de la física de este Siglo; con el de la Relatividad generalizada. Efectivamente vimos que una de sus consecuencias es la expansión continuada del Universo y siendo así las estrellas vierten su radiación en un espacio que crece y crece sin cesar. La energía total del Universo disminuye en todo instante, puesto que se emplea en el trabajo de repeler los límites de su “universo.” La materia estelar se transforma en energía radiante y ésta se pierde al emplearse en agrandar el Universo. En este pues, considerado como un todo, ni la masa ni la energía se conservan.

El único consuelo que puede ofrecerse a la humanidad, si esto puede ser consuelo, es que millones de años antes de llegar a ese desolador estado del Universo habrá ya dejado ella de existir. Nuestra existencia está mantenida por la bienhechora acción que sobre nuestro planeta ejercen la luz y el calor solar. Una pequeña disminución de la intensidad de esa radiación, bastaría pa-

ra originar un descenso de la temperatura media de la Tierra que haría reinarse sobre toda su superficie un clima análogo al que ahora impera en los casquetes polares. Como las fuentes de calor solar no son inagotables y segundo tras segundo consume sus reservas llegará un día, aún mucho antes de que el Sol deje de existir como estrella, en que la vida se extinguirá, por el frío, totalmente sobre la Tierra y entonces apenas si nuestro sistema solar habrá alcanzado la madurez en su desarrollo y nuestro sistema de la Vía láctea, individuo de la gran familia de nebulosas espirales que integran el Universo, tal vez no haya salido aún del estado de adolescente en que se encuentra en la actualidad.

PALABRAS FINALES

Hemos intentado exponer los rasgos generales que presenta hoy el pensamiento científico respecto al Universo astronómico. Sus leyes forman un capítulo de los dos con que se ha enriquecido la Física contemporánea, aunque todavía sin razón sólida alguna no se mencione en absoluto en los textos y en las explicaciones orales universitarias de las generalidades de esa Ciencia.

Creemos nosotros en cambio que ya va siendo necesario sustituir la clásica división por tres amplias partes enlazadas si queremos suministrar una visión más completa del conjunto de las ideas vivas sobre que está basada la física moderna. Esta, efectivamente, comprende tres zonas distintas: *El mundo de las grandes dimensiones*, Física astral, cuyos fenómenos son accesibles a nuestra observación pero no a su reproducción por nuestra experiencia. Para su estudio se necesita una mecánica especialmente adaptada a él, la einsteiniana, que como caso particular comprende a la newtoniana. Esta última es suficiente en general para el conocimiento del otro gran capítulo de la Física: *el mundo de las dimensiones medias* directamente accesible tanto a la observación como a la experiencia humana y que comprende todos los fenómenos de la física clásica. El tercer gran compartimiento incluye el estudio del *mundo de las pequeñas dimensiones*, Física atómica, que no es accesible a la observación directa pero sí a la indirecta mediante la experimentación y para él se precisa también una nueva mecánica, la llamada quantista, que nos ha enseñado

que en los sucesos de ese mundo se pierde la continuidad con que se nos presenta lo macroscópico y que hasta la ley de causalidad indispensable e indiscutida en los otros dos capítulos deja de cumplirse en este tercero. De las leyes quantistas del mundo microscópico, lo mismo que de las relativistas del mundo astronómico, se pasa como límite a las leyes del mundo a nuestra escala humana. De las primeras mediante el Principio de correspondencia de Bohr y de las segundas porque ya hemos dicho que la mecánica clásica establecida para velocidades y distancias no muy grandes, es un caso particular de la mecánica relativista, válida también para esas velocidades y distancias. Por otra parte las teorías relativista y quantista se enlazan entre si en la moderna mecánica ondulatoria relativista de Dirac, que ha sido ya empleada por Eddington para deducir teóricamente mediante nuestro conocimiento experimental de la masa del electrón, el radio inicial del Universo cuando comenzó su expansión y la velocidad de esa expansión revelada por las nebulosas espirales.

Desde los comienzos del siglo XVII en que Galileo dió los primeros pasos en el camino de la física de los fenómenos a nuestra escala humana, transcurrieron trescientos años durante los cuales el trabajo ininterrumpido de los hombres de Ciencia, casi exclusivamente limitado a ese campo, llegó a construir un cuerpo de doctrina que parecía perfecto. La Física al terminar el pasado siglo daba la sensación de una Ciencia acabada en la que solo cabían ampliaciones y retoques por ésta o por la otra de sus distintas parcelas, pero cuyas líneas fundamentales habían ya sido definitivamente trazadas. Con el comienzo de este siglo en que vivimos se iniciaron empero nuevas etapas en ella al intentar explicar hechos que pronto se vió era imposible encuadrar dentro del marco de tales líneas fundamentales. Poco más de treinta años, es decir, la décima parte del tiempo en que se desarrolló la física clásica, se lleva explorando los dos mundos, el atómico y el astronómico, que se han mostrado no adaptables a las teorías de siglos pasados.

De nuestra exposición habréis deducido lo movedizo que es el terreno todavía explorado del nuevo mundo de los astros. No se han encontrado suficientes regiones sólidas que sean base para la construcción de edificaciones científicas estables. Ese mundo está en plena organización e igualmente hubiéramos visto sucede si hubiésemos podido tratar del mundo atómico. Pero se-

ríamos injustos si reprochásemos a sus exploradores el no habernos proporcionado aún una acabada organización de los mismos. Por el contrario, a pesar de las inusitadas dificultades con que tropiezan, han creado para vencerlos instrumentos con una técnica tan genial, los continúan perfeccionando y trabajan con ritmo acelerado y tan feliz en resultados, que una ojeada al campo de nuestros conocimientos logrado en estos treinta últimos años, nos permite esperar confiados en que no pasará tal vez este siglo sin que la obra acabada, durante los tres anteriores, en el estudio del mundo de las dimensiones medias, se vea completada con otras, comparables y de tan aparente solidez como aquella, en el mundo invisible de los elementos enormemente pequeños de que está integrada toda la materia y en el mundo enormemente grande que nos rodea y con el que no tenemos otra comunicación que los hilos de pálida luz que nos tienden las estrellas y sistemas estelares.

J. DOMINGO Y QUÍLEZ.

