


REVISTA ASTRONOMICA



JULIO
SETIEMBRE
1983
N° 226



Cuanto más comprensible parece el Universo, tanto más sin sentido parece también. Pero si no hay alivio en los frutos de nuestra investigación, hay al menos algún consuelo en la investigación misma. Los hombres no se contentan con consolarse mediante cuentos de dioses y gigantes, o limitando sus pensamientos a los asuntos cotidianos de la vida. También construyen telescopios, satélites y aceleradores, y se sientan en sus escritorios durante horas interminables tratando de discernir el significado de los datos que tienen. El esfuerzo para comprender el Universo es una de las pocas cosas que eleva la vida humana por sobre el nivel de la farsa y le imprime algo de la elevación de la tragedia.

"Los Tres Primeros Minutos del Universo."
Steven Weinberg
Premio Nobel de Física 1979

REVISTA ASTRONOMICA

N° 226
JULIO - SETIEMBRE 1983
TOMO LV

AG ISSN 0044 - 9253
REGISTRO NACIONAL
DE LA PROPIEDAD
INTELECTUAL N° 231533

La dirección de la Revista no se responsabiliza por las opiniones vertidas por los autores de los artículos publicados o por los datos contenidos en ellos.

Patricias Argentinas 550 (1405) Bs.As. -
T.E. 88-3366.

DIRECTOR:

Lic. Alejandro Di Baja (h)

SECRETARIOS:

Sr. Carlos Rúa
Srta. Silvina Villegas

REDACTORES:

Sr. Ambrosio Juan Camponovo
Lic. Alejandro Di Baja (h)

Dr. Angel Papetti

Sr. Carlos Rúa

Sr. Mario Vattuone

TRADUCTORES:

Lic. Alejandro Di Baja (h)

Dr. Angel Papetti

Sr. Mario Vattuone

CANJE:

Sr. Ariel Otero Estrada

EFEMERIDES:

Ing. Cristián Rusquellas

PRESIDENTE

Ing. Cristián Rusquellas

VICEPRESIDENTE:

Cont. Claudio Horacio Cuello

SECRETARIO:

Prof. Luciano Ayala

PRO-SECRETARIO:

Srta. Liliana Graciela Quarieri

TESORERO:

Sr. Eduardo De Tommaso

PRO-TESORERO:

Ing. Benjamin Trajtenberg

VOCALES TITULARES:

Sr. Carlos M. Antonioli

Srta. Flora Beatriz Claure

Lic. Alejandro Di Baja (h)

Sr. Roberto Remi Frommel

Sr. Guillermo Lucke

Sr. Mario Vattuone

VOCALES SUPLENTE:

Sr. Roberto Fiadone

Sr. Luciano Raineri

Sr. Carlos Rúa

COMISION REVISORA DE CUENTAS:

Ctdor. Salvador Antonio Farace

Sr. Carlos E. Gondell

Sr. Augusto Osorio

Impreso en:

Agencia Periodística CID

Avda. de Mayo 666, 2°

Tel. 30-2471

CORREO ARGENTINO SUC. 5 (B)	FRANQUEO PAGADO Concesión N° 2926
	Tarifa Reducida Concesión N° 18

REVISTA ASTRONOMICA



Fundador: CARLOS CARDALDA

Organo de la Asociación Argentina

Amigos de la Astronomía

SUMARIO

1) OPOENAUTICA por Eric Sheldon	Pág. 2
2) MONOGRAFÍAS SOBRE PLANETAS: NEPTUNO por Ambrosio J. Camponovo	Pág. 8
3) EXPERIMENTOS NUMERICOS EN ASTRONOMIA por Dr. Juan C. Muzzio	Pág. 12
4) LOS COMETAS Y EL ORIGEN DE LA VIDA por A.H. Delsemme	Pág. 16
5) OPTICA E INSTRUMENTOS ASTRONOMICOS conducido por la Subcomisión de Óptica	Pág. 21
6) ACTIVIDADES OBSERVACIONALES Conducido por la Comisión del Observatorio	Pág. 23
7) NOTICIERO ASTRONOMICO por Mario Vattuone	Pág. 24

Fotografía gran angular de la región del cinturón de Orión. Tomada con cámara Schmidt puede apreciarse la gran nitidez de las imágenes estelares, así como abundante nebulosidad. Se destacan la gran Neulosa de Orión y la llamada nebulosa de la Cabeza de Caballo.



Opoenáutica: Un poco de ligereza en un asunto de mucha gravedad

por Eric Sheldon, Universidad de Lowell, Massachusetts

Reproducido de Sky & Telescope de agosto de 1982 con autorización de Sky Publishing Corporation y conformidad del autor, los que retiene los derechos de autor. La traducción española incluye una serie de modificaciones propuestas por el profesor Sheldon en una comunicación reciente a nuestra dirección.

Escapar de un agujero negro? Imposible...o no? Después de todo hubo alrededor de 20 sobrevivientes del infame Agujero Negro de Calcuta en 1756(*). Será posible, análogamente, sobrevivir a una inmersión dentro de un agujero negro astronómico, dadas unas circunstancias favorables? En principio se podría, y al hacerlo se tendrían experiencias exóticas y maravillosas.

El encargado de una misión de este tipo sería un **opoenauta**, del Griego opoe, agujero, y **nautilus**, navegante. Obviamente, la elección del blanco es importante, pero cuántas clases de agujeros negros existen, y cual abriga cierta esperanza de escape? Solamente tres atributos distinguen un tipo de otro: masa, momento angular, y carga eléctrica. Todas las otras distinciones se pierden: "un agujero negro no tiene pelo", frase memorable de John Wheeler.

Una estrella que se convierte en un objeto de este tipo, experimenta un "verano Indio", en la forma de una explosión de supernova, seguida de un colapso gravitacional hacia su estado final. Su masa debería ser el menos de tres masas solares de acuerdo a las ideas actuales. Una vez que su radio se contrae hasta un valor crítico de unos pocos kilómetros, la velocidad de escape de su superficie alcanza el valor límite de c , la velocidad de la luz. Si el objeto no está rotando, entonces es un "agujero negro de Schwarzschild" (Ver el recuadro de la pag. 5)

El material estelar continua fluyendo rápidamente hacia una "singularidad puntual" central, alrededor de la cual se encuentra una superficie esférica imperceptible pero importante, el "horizonte fáctico", cuyo radio depende solamente de la masa dentro de él. Es esta superficie la que separa el mundo exterior

"temporal, del extraño interior "espacial".

El agujero negro atrae hacia si toda la materia libre exterior, la que forma un disco de acreción que cae en forma espiralada a través del horizonte fáctico. Durante este proceso se emite intensa radiación X, tal como la observada en Cygnus X-1 y otras fuentes similares. Tan solo aproximarse a ese disco sería letal.

Si penetra el horizonte, el opoenauta abandona el mundo familiar temporal, en el que el tiempo fluye inexorablemente hacia adelante y el espacio es navegable, y entra al interior espacial. Allí, los roles del espacio y el tiempo se intercambian; el opoenauta y el propio espacio fluyen inexorablemente hacia adentro, y la flecha de tiempo oscila "hacia adelante y hacia atrás". No se podría disfrutar de esta situación por mucho tiempo, ya que la caída hacia el centro es muy breve, y además el explorador sería destrozado por fuerzas gravitatorias diferenciales (de marea) inmensas aún antes

de alcanzar el horizonte, salvo que, por supuesto, el agujero negro fuera tan ultra-masivo que su horizonte fáctico estuviera suficientemente alejado de la singularidad central de modo que las fuerzas gravitatorias estuvieran "diluidas" a valores débiles (como sería el caso de por ejemplo, un agujero negro de un millón de masas solares, con un radio del horizonte fáctico de tres mil millones de metros en el que la ley gravitatoria de la inversa del cuadrado de la distancia produciría fuerzas de marea del mismo orden de magnitud de las que experimentamos aquí en la Tierra).

Enfrentado a estas perspectivas, el prudente opoenauta haría bien en reevaluar las alternativas. En primer lugar, aún la mas pequeña rotación del objeto previa al colapso, sería amplificada enormemente durante el proceso (del mismo modo que los patinadores sobre hielo aceleran el giro al contraer los brazos), de modo que es dable esperar una rotación apreciable. Por otra parte, cualquier carga eléctrica neta sería rápidamente neutralizada por materia cargada exterior. Como resultado, la especie más común sería el "agujero negro de Kerr" (que tiene masa y momento angular, pero no carga eléctrica). Las versiones de Newman y Reissner-Nordström, con carga eléctrica, pueden considerarse como muy improbables.

Al contrario de la masa, el momento angular de un objeto compacto tiene un límite superior, el que corresponde al agujero negro de Kerr "extremo". En este caso, el horizonte fáctico rotatorio tiene una velocidad tangencial igual a c y un radio igual a la mitad del radio de Schwarzschild. Este horizonte fáctico tiene además la notable propiedad de estar rodeado de dos regiones temporales (navegables), y por lo tanto abre la posibilidad de exploración por un opoenauta.

Aún un agujero negro de Kerr "ordinario" (no-extremo) tiene pro-

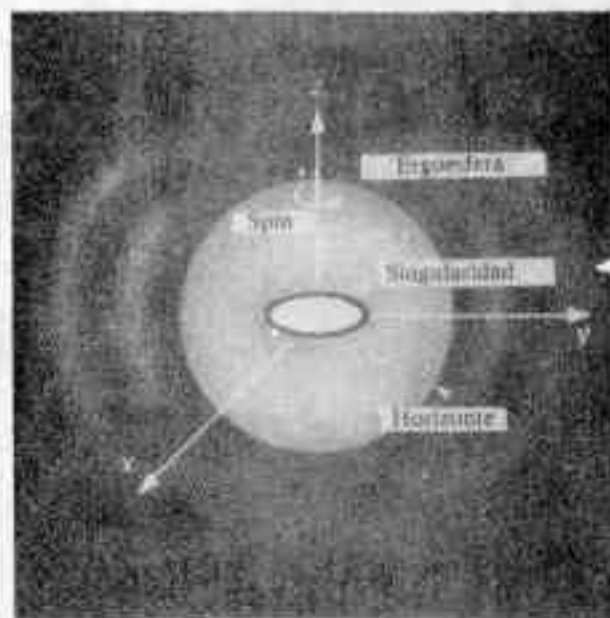


Figura 1: Se ilustran esquemáticamente los componentes básicos de un agujero negro de Kerr extremo, el que posee masa y momento angular, pero no carga eléctrica neta. La singularidad puntual central y repulsiva, hacia la que colapsa la materia, está rodeada por un único horizonte fáctico esférico y por una ergosfera con forma de calabaza la que es simétrica con respecto al eje de rotación.

(*) El agujero negro de Calcuta era de 7,5 m x 4,5 m en el rincón sudeste del Fuerte William sobre el río Hoogly en la India.

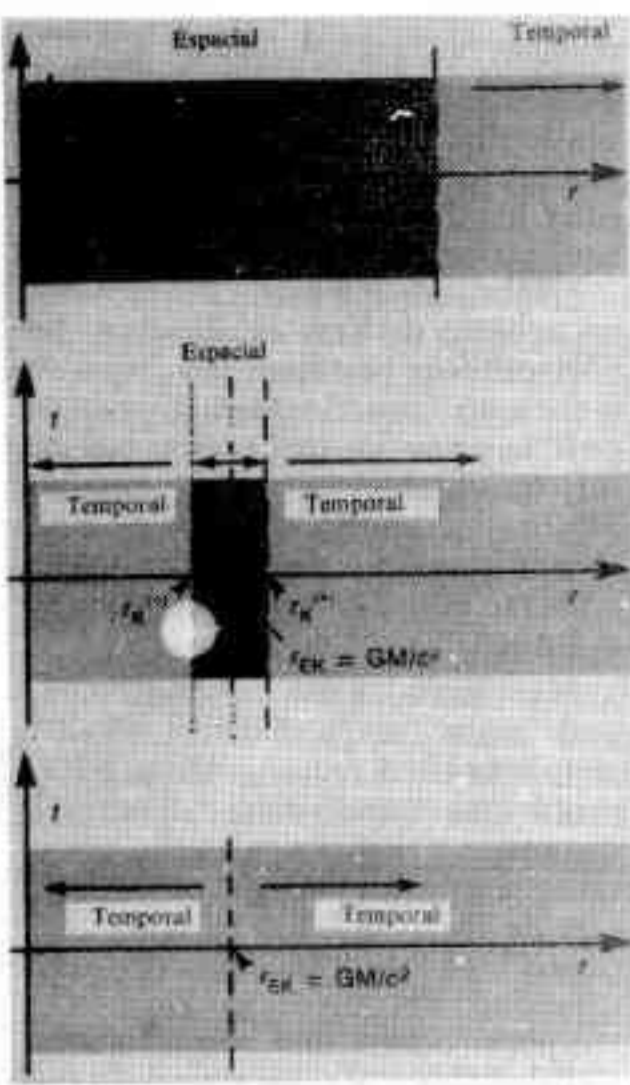


Figura 2: Diagramas espacio-tiempo para diferentes tipos de agujeros negros in carga. La variedad de Schwarzschild no rotatoria (arriba) posee un único horizonte fáctico que separa el espacio exterior (temporal) del interior (espacial), y una singularidad central puntual. El agujero negro de Kerr ordinario (al centro) tiene algo de rotación, una singularidad anular ecuatorial, y dos horizontes fácticos. Estas últimos encierran una zona espacial atrapante (en la que toda la materia debe moverse hacia adentro) entre dos regiones normales temporales, interior y exterior. el agujero negro de Kerr extremo (abajo) tiene el máximo posible de rotación y un solo horizonte fáctico que separa dos regiones temporales. En este caso resultaría teóricamente posible cruzar el horizonte fáctico en ambas direcciones.

propiedades extraordinarias. A medida que la materia del disco de acreción cae, hasta un 42% de su masa en reposo puede escapar hacia el universo exterior en forma de radiación - un severo peligro-. Para evitar el disco ecuatorial, cualquier explorador debería acercarse por las inmediaciones del eje de rotación, pero hay además otra razón para proceder así.

Un agujero de Kerr posee una "ergoesfera" (del griego *ergon*, trabajo), la que en realidad no es una esfera. En realidad es una región con forma de calabaza con hendiduras en los polos, tal como se indica en la ilustración (Fig. 1). Su máximo radio ecuatorial (en el caso "extremo") es el doble del horizonte fáctico de Kerr, o el mismo que en el caso de Schwarzschild. Cualquier objeto que entre a la ergoesfera se divide en al menos dos fragmentos: uno fluye hacia el interior; el otro escapa hacia el mundo exterior con un exceso de energía tomada de la rotación

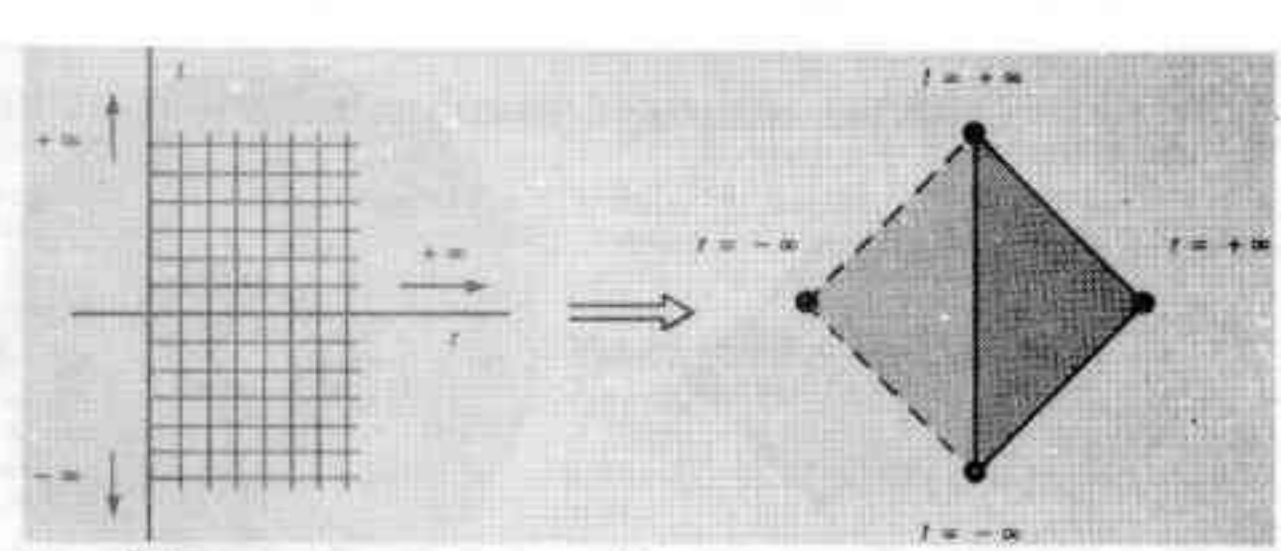
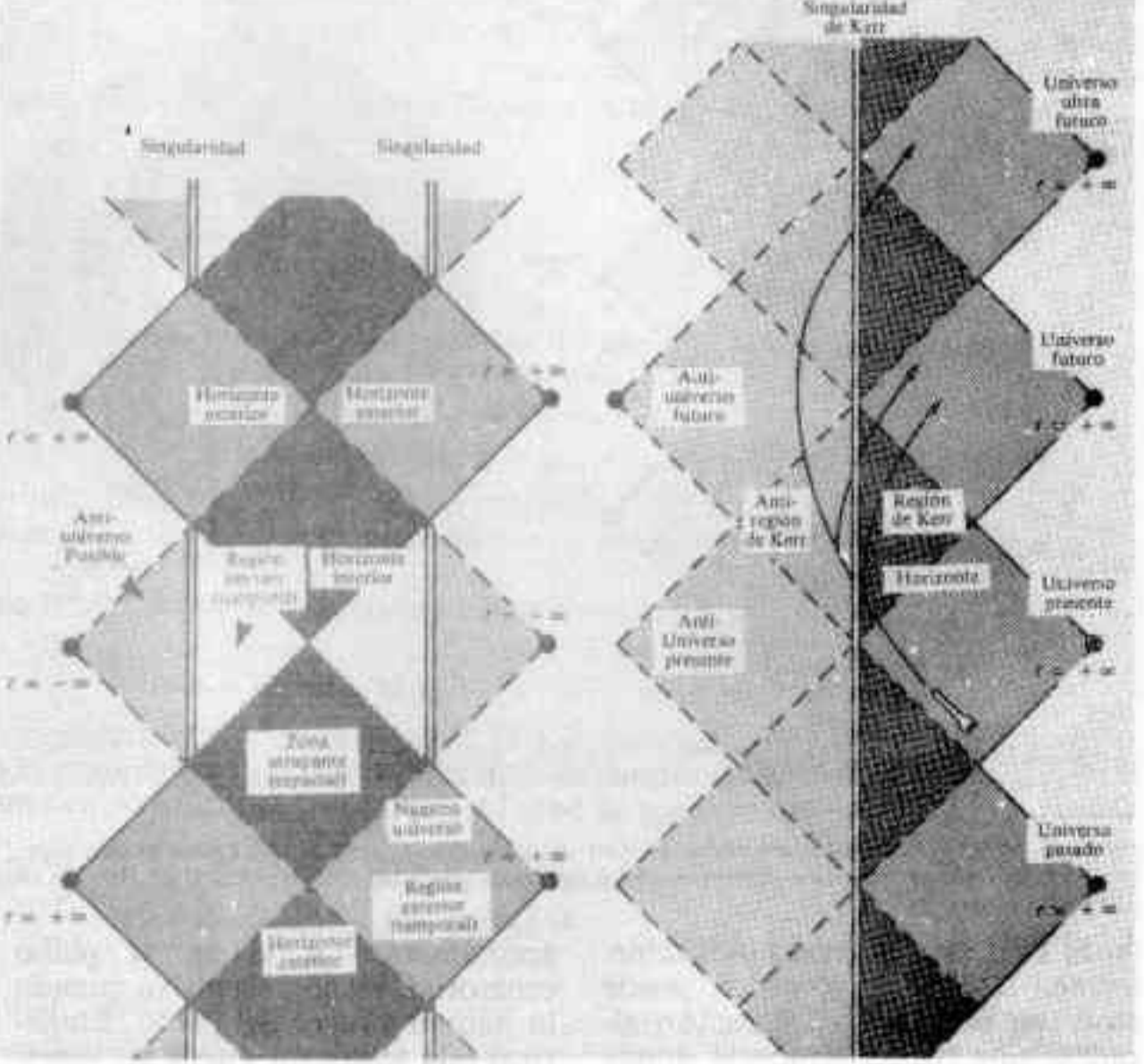


Figura 3: El espacio-tiempo de un universo típico puede ser representado en un gráfico rectangular (izquierda). El tiempo se extiende verticalmente desde el pasado abajo hacia el futuro arriba, mientras que una coordenada espacial representativa se extiende a la derecha del origen. A la izquierda del origen existe un eventual antiuniverso en el que todas las distancias son negativas. Tanto distancias como tiempos infinitos causan claros problemas en este tipo de gráficos. El gráfico conforme de Penrose (derecha) soluciona esto "empujando" los infinitos, obteniéndose convenientemente al precio de algo de distorsión. El caso de la figura es uno simple, sin la complicación de horizontes fácticos o singularidades. Un objeto estacionario se mueve verticalmente hacia tanto a la izquierda como a la derecha. Los objetos materiales, los que se mueven más lentamente que la luz, deben moverse hacia arriba con un ángulo menor que 45° con respecto a la vertical.

del agujero negro. Por lo tanto, resulta posible extraer trabajo del sistema a través de la ergoesfera, el que eventualmente disminuiría su rotación, expandiría su horizonte fáctico, perdería su ergoesfera, y se transformaría en un agujero negro de Schwarzschild.

Solamente un acercamiento a lo largo del eje de rotación puede evitar la ergoesfera y la destrucción. Haciendo esto en un agujero negro de Kerr ordinario, se encuentra dos horizontes fácticos esféricos. Entre ellos se halla una región espacial que atrae al opoenauta inexorablemen-



Izquierda: Diagrama de Penrose para un agujero negro de Kerr ordinario en el que se aprecian los horizontes fácticos interior y exterior que limitan la zona espacial atrapante. Las líneas negras verticales son singularidades correspondientes al universo presente y posiblemente a universos y antiuniversos pasados y futuros (líneas punteadas).

Derecha: El agujero negro de Kerr extremo tiene el máximo de rotación y un único horizonte fáctico entre el espacio normal y la singularidad central. En esta situación simple todas las regiones son navegables y, asumiendo que pueda penetrarse la singularidad central anular, pueden visitarse numerosas regiones, sujetas a la limitación de que todos los viajes son hacia arriba con un ángulo menor que 45° con respecto a la vertical. Se han indicado varios viajes permitidos. Salvo que se indique lo contrario, las ilustraciones de este artículo son cortesía del autor, con creaciones artísticas de Rob Hess.

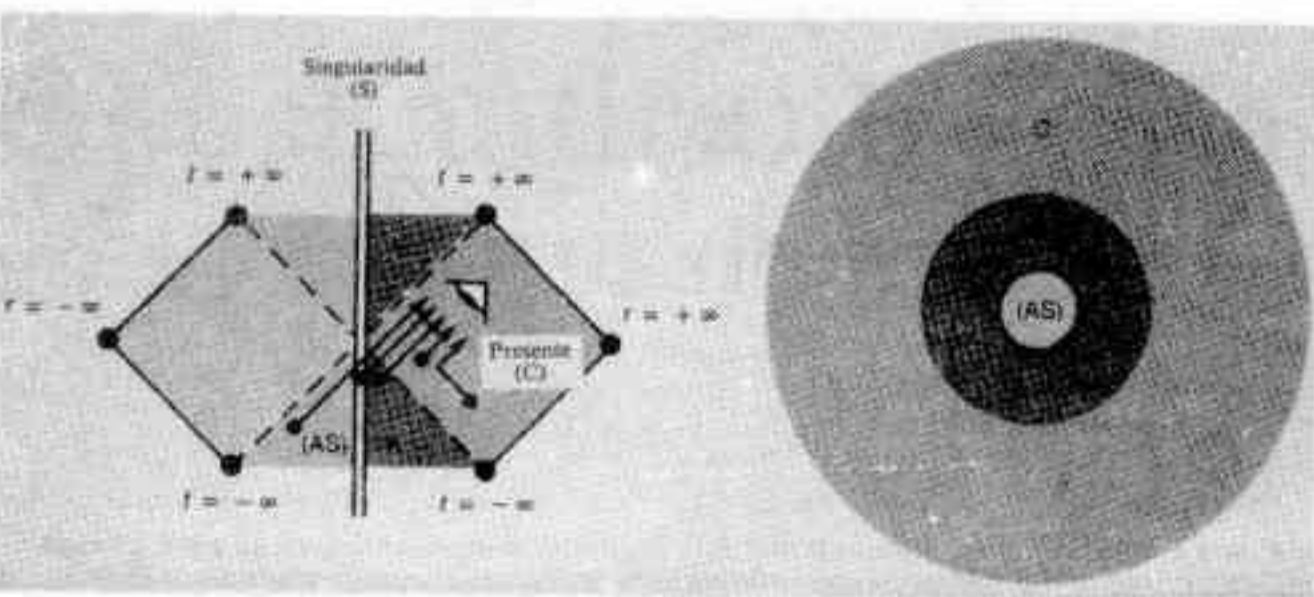


Figura 5: *Izquierda:* Este diagrama de Penrose de un agujero negro de Kerr extremo ignora posibles universos pasados y futuros. Las flechas negras muestran las trayectorias de la luz de diferentes regiones que puede ser vista por un opoenauta situado fuera del horizonte fáctico. *Derecha:* La visión del opoenauta corresponde al diagrama de Penrose de la izquierda. La zona central muestra una luz muy débil y fuertemente distorsionada proveniente del antiespacio, rodeada por emisión más intensa de la singularidad. Alrededor de ésta hay radiación de la región interior (pasada) de Kerr, mientras que la zona más exterior contiene luz de épocas pasadas de nuestro propio universo exterior.

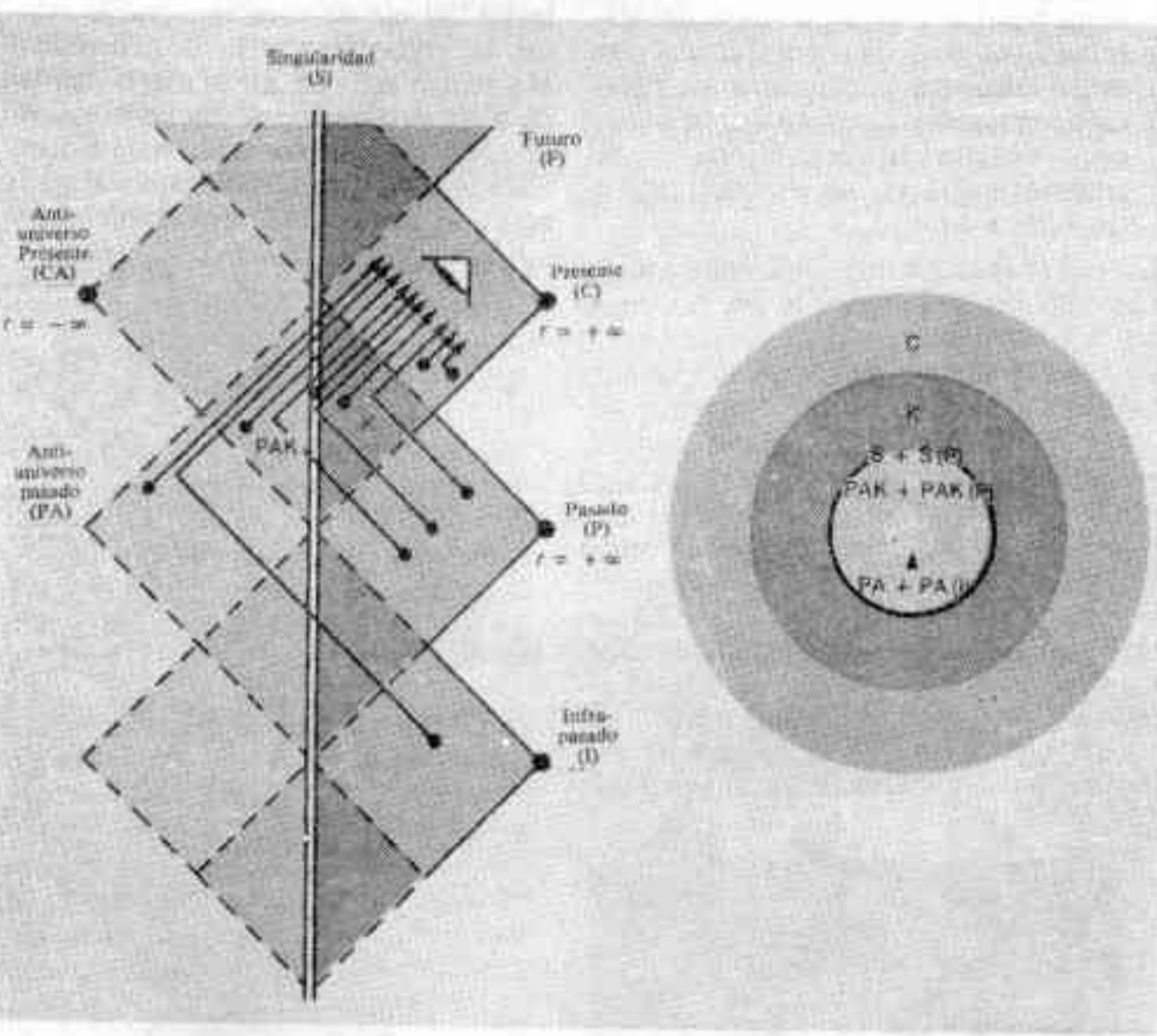


Figura 6: La vista de un agujero negro de Kerr extremo desde fuera del horizonte es aún más compleja cuando se tienen en cuenta posibles universos pasados.

te. Si bien está atrapado inevitablemente, nuestro explorador puede atravesar el segundo horizonte y alcanzar una región temporal donde la navegación posterior resulta posible. Aquí se encuentra la singularidad central de Kerr, un **anillo** perpendicular al eje de rotación. Su propiedad es que es abierto, en el sentido de que no se extiende hasta el centro, y puede ser penetrado desde arriba o abajo. Curiosamente, si bien el anillo es atractivo si nos

aproximamos a él en el plano ecuatorial, resulta **repulsivo** cuando lo hacemos fuera del plano. Empero, si esta repulsión puede ser vencida, uno lo atraviesa y entra a un "antiuniverso", caracterizado por "antiespacio" (negativo) en el que todas las distancias son negativas (si bien el tiempo y las masas permanecen positivos tal como en los universos convencionales. No debe pensarse en los antiuniversos como compuestos de antimateria, sino de materia ordinaria en un antiespacio).

Empero, ya sea rebotando de la singularidad central, o pasando a través de ella, un opoenauta permanece aún atrapado por la región espacial entre los dos horizontes fácticos del agujero negro de Kerr ordinario.

¿Habrà alguna escapatoria? Para un agujero de Kerr extremo los dos horizontes se juxtaponen y, como se mencionó anteriormente, resulta posible pasar de una región temporal (navegable) a otra. Nuestro explorador podría apuntar en cualquier dirección y elegir retornar a un universo como el nuestro, si bien en el futuro.

Si estos viajes son factibles, cómo podríamos esquematizarlos? Un simple gráfico rectangular presenta problemas cuando debe extenderse a distancias y tiempos infinitos, por lo tanto se utilizan "diagramas conformes de Penrose". En ellos se "empujan" los infinitos, de modo que la totalidad del universo espacial y temporal ocupa una pequeña área. Refiriendonos al diagrama de la Fig. 4, vemos que un viaje en un agujero negro de Kerr extremo puede adoptar varias formas. Tal como se señaló precedentemente, uno podría elegir volver a salir, pero no en nuestro propio universo, ya que esto requeriría viajar a una velocidad mayor que la de la luz. En cambio, un explorador debería apostar a la existencia de un universo normal futuro que pudiera ser penetrado a través de su horizonte fáctico "inferior". Un viaje "rebotando" de la singularidad anular tendría los mismos riesgos.

La penetración de la singularidad conduce a la región interior de un agujero "anti-Kerr". Se podría volver hacia algún universo futuro normal, pero también es posible proseguir a través del "anti-horizonte" hacia un antiuniverso futuro. A partir de allí se podrían alcanzar universos futuros a través de la penetración de antihorizontes, singularidades y horizontes futuros.

Si los opoenautas deciden "jugar a lo seguro" y observar simplemente desde afuera un agujero negro de Kerr extremo, qué es lo verían? Suponiendo que la luz puede escapar del único horizonte en este caso, e ignorando cualquier universo pasado o futuro, la visión puede ser descrita por diagramas de Penrose apropiados, tal como se ilustra en la Fig. 5

Como es obvio, la visión se complica si consideramos la inclusión de posibles universos pasados y futuros. William J. Kaufmann, III, en *The Cosmic Frontiers of General Relativity*, ofrece unas especulaciones sobre las visiones correspondientes a este último caso, incluyen-

DATOS NUMERICOS CARACTERISTICOS DE AGUJEROS NEGROS

Objeto	Masa	Masas solares	Radio Schwarzschild	Densidad de Schwarzschild	Radio Extremo de Kerr	Densidad Extrema de Kerr	Temperatura de Hawking	Vida Media de Hawking
(* = limite superior)	(kg)		(m)	(kg/m ³)	(m)	(kg/m ³)	(°K)	(años)
Electrón	9.11x10 ⁻³¹	4.58x10 ⁻⁶¹	1.35x10 ⁻⁵⁷	8.79x10 ¹³⁹	7.66x10 ⁵⁸	7.01x10 ¹⁴⁰	1.22x10 ⁵⁴	7.56x10 ⁻¹¹⁷
Roca	1.00	5.03x10 ⁻³¹	1.48x10 ⁻²⁷	7.29x10 ⁷⁹	7.43x10 ⁻²⁸	5.82x10 ⁸⁰	1.11x10 ²⁴	1.00x10 ⁻²⁶
Montaña	9.95x10 ¹¹	5.00x10 ⁻¹⁹	1.48x10 ⁻¹⁵	7.37x10 ³⁵	7.39x10 ⁻¹⁶	5.88x10 ³⁶	1.12x10 ¹²	9.84x10 ⁹
Tierra	5.97x10 ²⁴	3.00x10 ⁻⁶	8.87x10 ⁻³	2.04x10 ³⁰	4.44x10 ⁻³	1.63x10 ³¹	1.86x10 ⁻¹	2.13x10 ⁴⁸
Júpiter	1.90x10 ²⁷	9.55x10 ⁻⁴	2.82	2.02x10 ²⁵	1.41	1.61x10 ²⁶	5.86x10 ⁻⁴	6.85x10 ⁵⁵
Sol	1.99x10 ³⁰	1.00	2.95x10 ³	1.84x10 ¹⁹	1.48x10 ³	1.47x10 ²⁰	5.59x10 ⁻⁷	7.87x10 ⁶⁴
Enana Blanca*	2.86x10 ³⁰	1.44	4.25x10 ³	8.89x10 ¹⁸	2.13x10 ³	7.09x10 ¹⁹	3.88x10 ⁻⁷	2.35x10 ⁶⁵
Estrella Neutrónica*	5.97x10 ³⁰	3.00	8.86x10 ³	2.05x10 ¹⁸	4.43x10 ³	1.63x10 ¹⁹	1.86x10 ⁻⁷	2.12x10 ⁶⁶
Cygnus X-1	1.19x10 ³¹	6.00	1.77x10 ⁴	5.12x10 ¹⁷	8.87x10 ³	4.08x10 ¹⁸	9.32x10 ⁻⁸	1.70x10 ⁶⁷
Núcleo de M87	5.97x10 ³⁹	3.00x10 ⁹	8.86x10 ¹²	2.05	4.43x10 ¹²	1.63x10 ¹	1.86x10 ⁻¹⁶	2.12x10 ⁹³
Vía Lactea	3.58x10 ⁴¹	1.80x10 ¹¹	5.32x10 ¹⁴	5.69x10 ⁻⁴	2.66x10 ¹⁴	4.54x10 ⁻³	3.11x10 ⁻¹⁸	4.59x10 ⁹⁸
Universo	5.57x10 ⁵³	2.80x10 ²³	8.27x10 ²⁶	2.35x10 ⁻²⁸	4.14x10 ²⁷	1.88x10 ³⁰	2.00x10 ⁻³⁰	1.73x10 ¹³⁵

PROPIEDADES DE LOS AGUJEROS NEGROS

Los agujeros negros se distinguen solamente por su masa, momento angular, y carga neta. La siguiente tabla muestra la variedades principales:

Tipo	Masa	Momento Angular	Carga
Schwarzschild	Si	No	No
Kerr	Si	Si	No
Reissner-Nordström	Si	No	Si
Kerr-Newman	Si	Si	Si

Un agujero negro de Schwarzschild posee un horizonte fáctico con un radio r en kilómetros, dado por:

$$r = \frac{5c^3}{6GM} = \frac{5,39 \times 10^4}{(M/M_\odot)}$$

donde la G es la constante gravitatoria de Newton, y M/M_\odot es la masa del agujero expresada en término de masas solares. Un observador montado en una estrella giratoria colapsante, pasaría a través del horizonte y caería a la singularidad central en un tiempo muy breve, t_c , en segundos, donde

$$t_c = 3,28 \times 10^{-6}(M/M_\odot)$$

Por lo tanto, la región interior al horizonte fáctico se vacía rápidamente a excepción de la singularidad central. Un agujero negro puede perder energía por radiación que utiliza el efecto túnel de la mecánica cuántica para escapar.

Esta autoaniquilación limita teóricamente la vida media del agujero al "tiempo de Hawking", t_H , el que en años vale:

$$t_H = 10^{65} (M/M_\odot)^3$$

Por lo tanto, si el Sol fuera comprimido a un radio de 2,95 Km, se transformaría en un agujero negro cuya masa colapsaría hacia la singularidad central en 3,28 microsegundos (si bien para un observador exterior el proceso requeriría un tiempo infinitamente largo). Al cabo de aproximadamente 10^{65} años, el agujero negro solar se evaporaría.

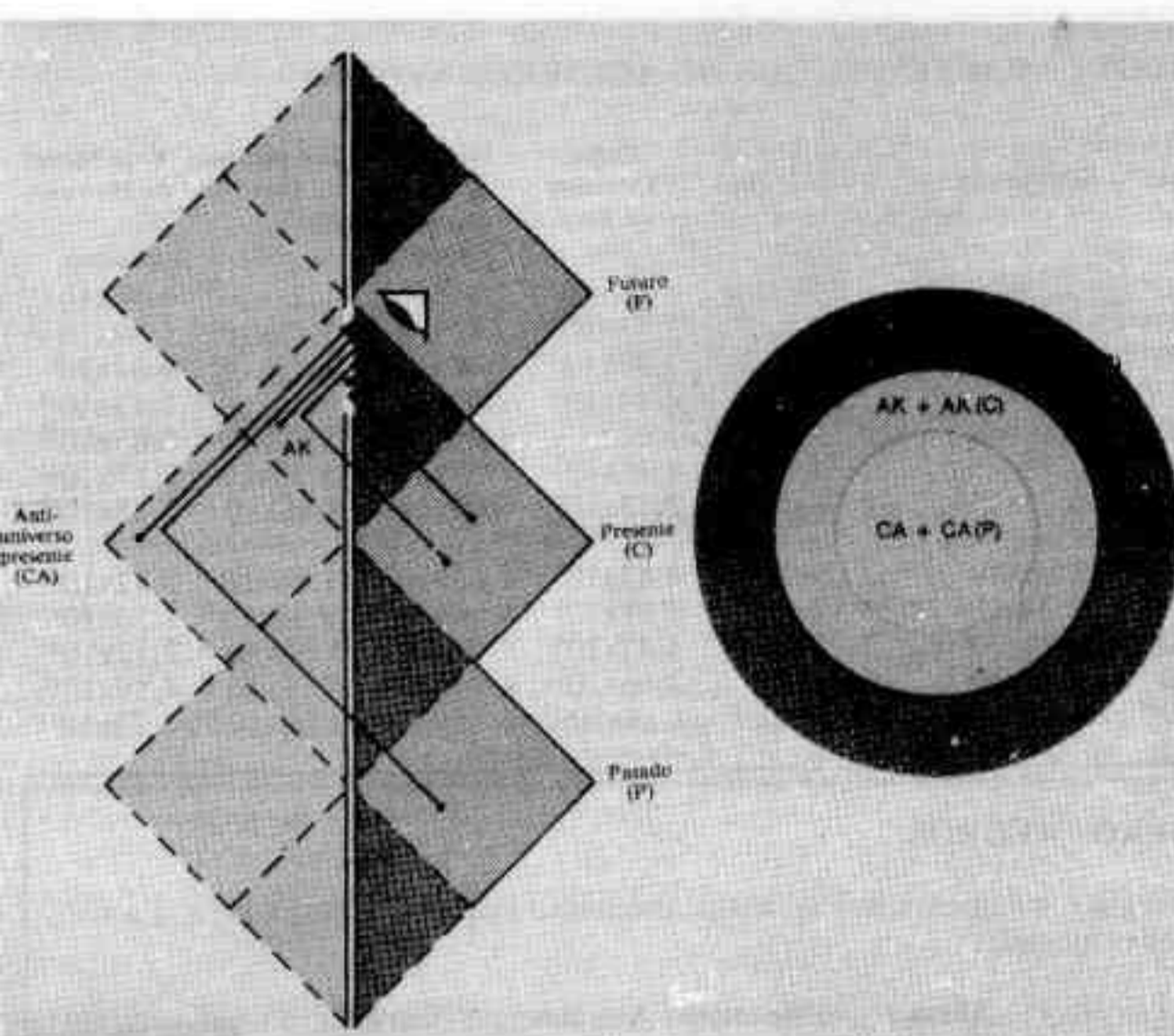
El máximo momento angular de un agujero negro de Kerr extremo, J_{max} en Kg.m²/seg, es:

$$J_{max} = GM^2/c = 8,81 \times 10^{41} (M/M_\odot)^2$$

Esto corresponde a velocidad angular clásica f , en seg⁻¹, de:

$$f = \frac{5c^3}{6GM} = \frac{5,39 \times 10^4}{(M/M_\odot)}$$

aproximadamente el doble del valor ($f_s = 2,58 \times 10^4$ rev/seg) que uno obtiene a partir de un cálculo clásico para el Sol, encogiéndose de su presente radio de $6,96 \times 10^5$ Km hasta el radio del agujero negro de 2,95 Km, y rotando actualmente una vez en 25 días, suponiendo que el momento angular permanece constante durante el colapso. Un agujero negro de Kerr extremo, con una masa de $M/M_\odot = 6$ rotaría, al momento de su formación, al ritmo de casi 9.000 rev/seg, es decir, con un periodo de 111 microsegundos, no mucho más rápido que el más rápido de los pulsares (El pulsar de la Nebulosa del Cangrejo tiene un periodo de 33 milisegundos).



Empero, para realmente justificar su nombre, los opoenautas deberían cruzar el horizonte fáctico. Una vez hecho esto, ya no podrán retornar a su universo original. Adonde quiera que el camino los lleve, lo mejor que pueden esperar es un retorno a un universo futuro normal, si es que en realidad existe. Justificará el espectáculo el riesgo?

Entre otras vistas, una vez dentro del horizonte, los exploradores serán recompensados con las primeras vistas del presente antiuniverso. Si ejecutaran un salto hacia un universo futuro normal, nuestros viajeros podrían aún continuar viendo (con nostalgia) su universo original algo distorsionado, si bien nosotros no podríamos verlos a ellos. El pasaje a través de la singularidad anular requeriría un gasto enorme de energía para vencer el campo repulsivo. Una vez dentro de esta región anti-Kerr, los opoenautas podrían acelerar a través del antihorizonte hacia un antiuniverso futuro. Habiendo llegado tan lejos, podrían comenzar la búsqueda de un "antiespaciopuerto" con algo de confianza.

Las recompensas son pues elevadas, pero así también lo es el castigo por el fracaso. Antes de despegar definitivamente, puede uno estar seguro de que no hay trampas en nuestro camino? En efecto, tal trampa existe! **Cualquier** apartamiento del momento angular máximo introduce una región espacial tal como la que es característica de un agujero negro de Kerr ordinario (no-extremo), y la que si bien puede ser de un espesor minúsculo, resulta completamente efectiva.

Un agujero negro de Kerr debería ser muy joven, ya que toda materia que entre a su ergoesfera le robaría algo de momento rotacional, mientras que la interacción con el disco de acreción (aún si ninguna materia cruza el horizonte) limitaría el momento angular a un tope de 99,83% del valor máximo. A modo de ejemplo concreto, añadir un millonésimo de una masa solar a un agujero de Kerr extremo de tres masas solares produciría un caparazón de 3,61 metros de espesor centrada en la ubicación del anterior y único horizonte. Más aún, el límite del 99,83% al momento angular produce el mismo una región espacial de 517 metros de espesor en la cual la navegación sería imposible. El diagrama de Penrose para un agujero negro de Kerr ordinario (Fig. 4) revela que un objeto material puede entrar a esta región **solamente desde el interior**, y parece razonable que bajo tales circunstancias actuaría como una zona eyectante y no atrapante, conduciendo inexorablemen-

REVISTA ASTRONOMICA

Figura 7: Un opoenauta que cruce el primer horizonte pero permanezca fuera de la singularidad central de un agujero negro de Kerr extremo, divisará el presente antiuniverso —una región temporal navegable, en la que todas las distancias son negativas.

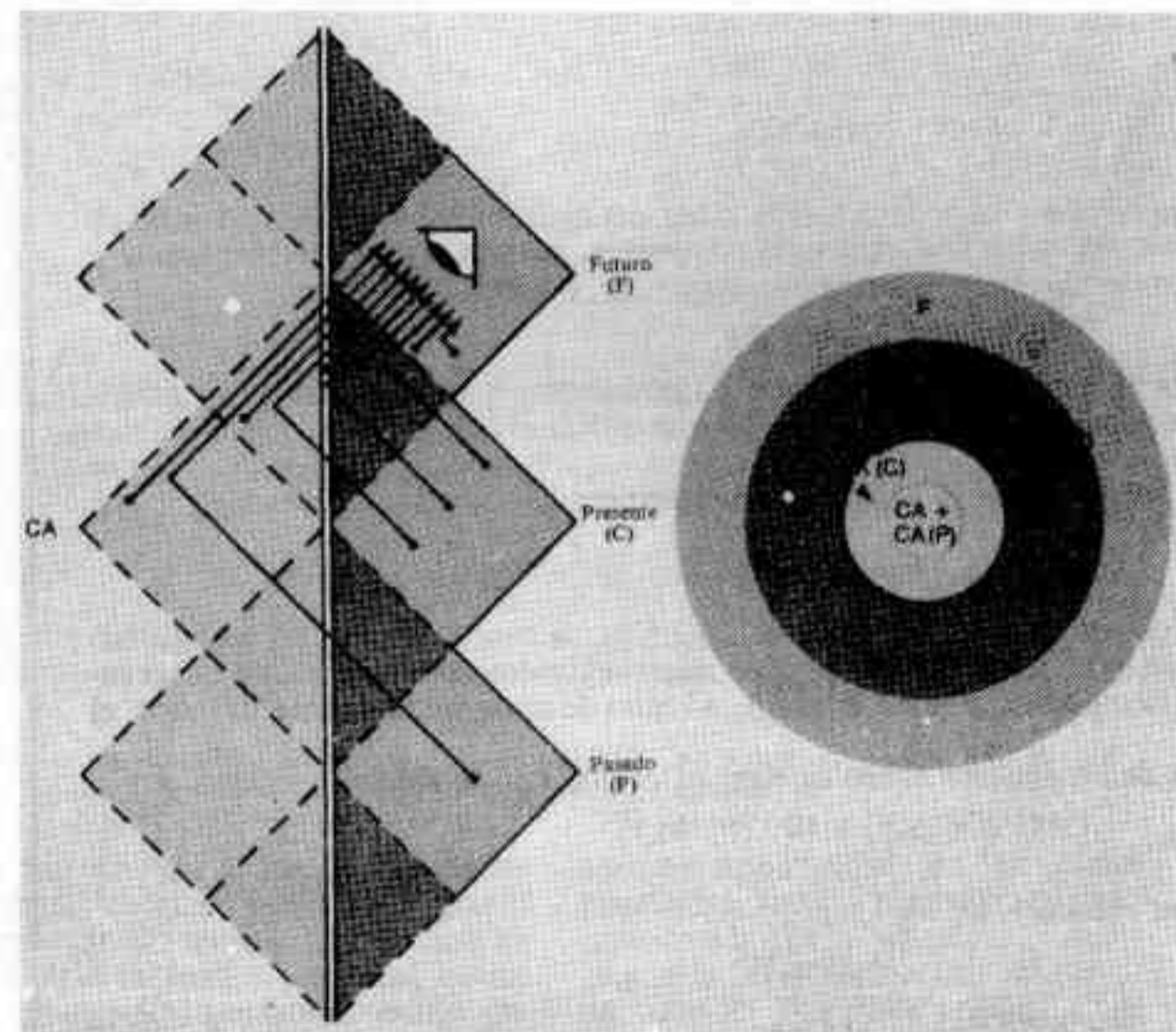


Figura 8: Evitando la singularidad anular repulsiva, un explorador podría pasar hacia un universo normal nuevamente, pero sería necesariamente un universo futuro. Empero, aún podría ver tanto el presente como el presente antiuniverso.

do una misión al exterior de un agujero negro de Kerr extremo. Modificando algunos de los detalles, se obtienen los resultados dados aquí, 6 • Julio - Setiembre de 1985

incluyendo las contribuciones de un antiuniverso pasado y su región de Kerr interior, así como un anterior universo "infra-pasado".

te al viajero hacia afuera a través del horizonte externo a un futuro universo. En todos los casos, una zona espacial, ya sea eyectante o atrapan-te, eliminaría toda libertad de elección para los navegantes, y debido a la masa no nula de la espacionave y de los opoenautas, siempre surgiría inevitablemente una zona espacial. Siendo este el caso, parece poco probable que alguna vez alguien se aventure a observar las vistas exóticas descritas en este artículo.

Nuestro corredor parece estar cerrado, al menos en lo que concierne a nuestros conocimientos actuales. Suponiendo que los opoenautas arriben a esta conclusión antes del encuentro con cualquier horizonte fáctico, estarían en condiciones de retornar sanos y salvos a casa, recompensados con experiencias que superan la imaginación. Quizás la predicción mas acertada haya sido la del gran Astrónomo Imperial Chino del siglo II, Chang Heng. Describió un viaje imaginario en su clásico poema **Ssu Hsuan Fu**, un viaje de exploración más allá del Sol, las estrellas, y la Via Lactea, hacia la morada de los dioses. Los dos milenios transcurridos nos han enseñado que, como los dioses, los agujeros negros y los antiuniversos mantienen sus secretos ocultos a los ojos de los mortales.

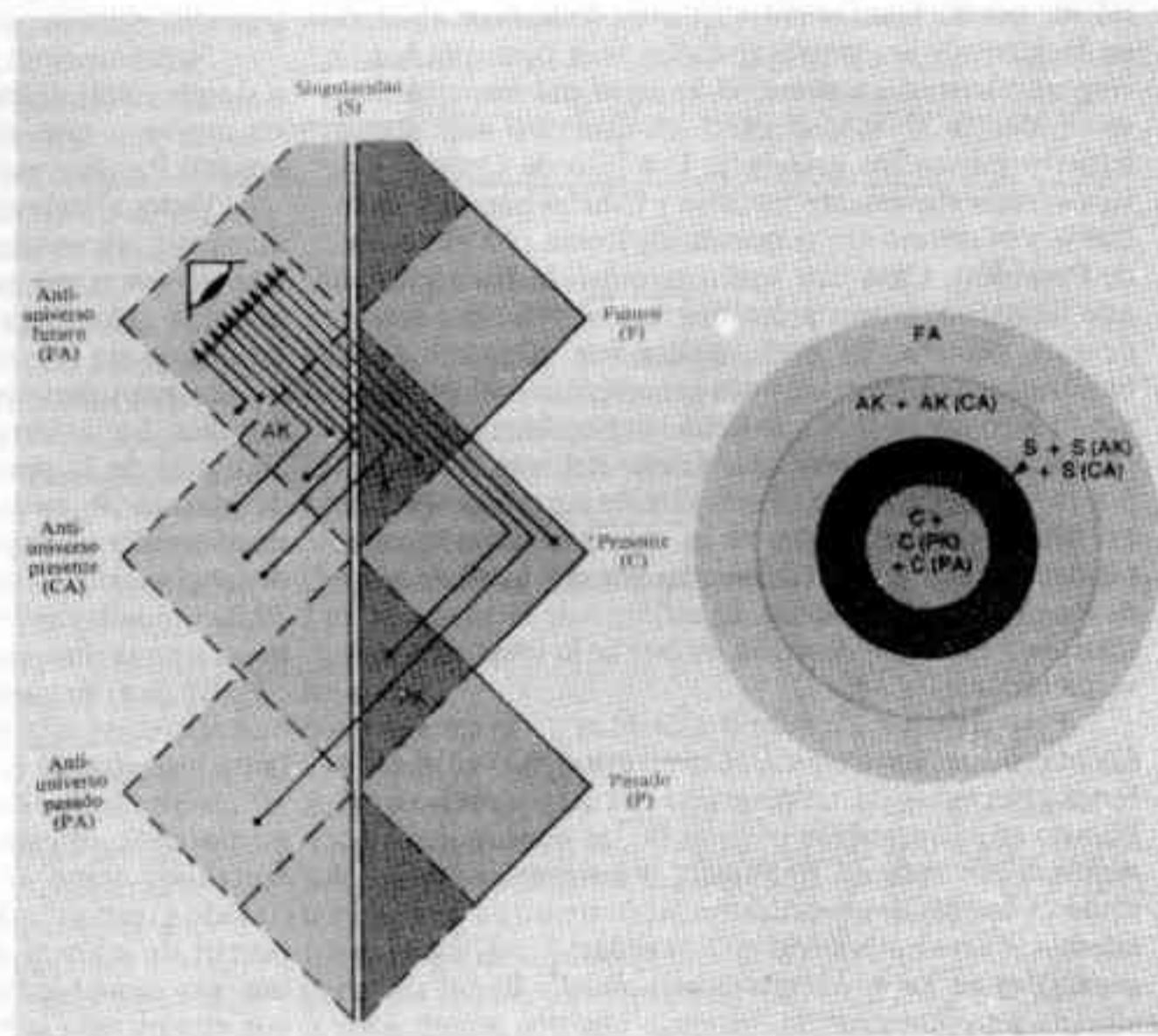
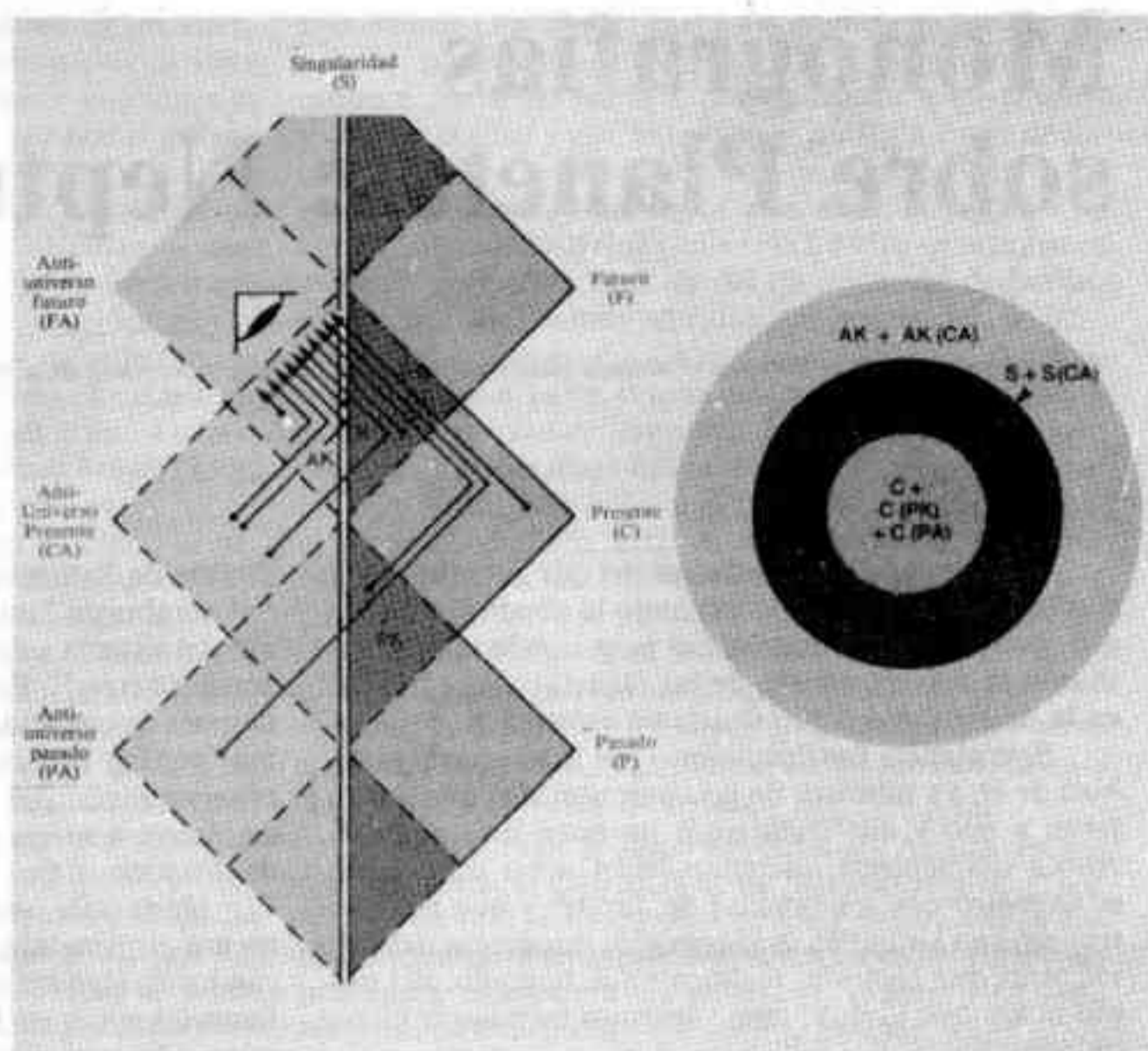


Figura 10: John Wheeler recobra el aliento después de visitar el Agujero Negro de Nueva Escocia. El nombre de esta cueva antecede al uso astronómico del término en varias décadas. Fotografía provista por Roy Bishop de la universidad de Acadia

Figura 9: El opoenautia ha escapado de la región anti-Kerr cruzando el horizonte fáctico hacia un antiuniverso futuro.

Monografías sobre Planetas: Neptuno

"El descubrimiento de Neptuno es el símbolo clásico del valor de la ciencia y del poder de la inteligencia humana".

*Historia de la Astronomía.
Paul Couderc (1899-1981)*

Por Ambrosio J. Camponovo

Corresponde tratar esta vez del que actualmente es el último de los planetas, tomando la condición de último como el más distante al Sol pues siendo la órbita de Plutón la más excéntrica de las planetarias, se "mete" en la de Neptuno como ocurre en estos años.

Este planeta fue descubierto por la búsqueda que se hizo de él; ya sabemos de las circunstancias que condujeron a ello y que trataremos un poco más adelante. Ahora simplemente queremos hacer notar que Galileo se encontró con los satélites de Júpiter y que Herschel tropezó con Urano en su sistemática inspección del cielo mientras que Neptuno realmente fue buscado, del mismo modo que Plutón, como veremos en nuestra última monografía.

Cuando el después poderoso Júpiter logró dominar todo lo conocido, se reservó el cielo, el Olimpo, y repartió los demás lugares entre quienes lo habían ayudado en la guerra que comentamos en otra oportunidad. A Neptuno le tocó en suerte el imperio del mar ubicando su residencia en el mar Egeo (en que otro mar podían haberlo puesto los griegos!). Era hijo de Cronos y de Rea —respectivamente Saturno y Cibelas para los romanos— y él mismo era conocido en Roma con el nombre de Poseidón. Casó con Anfítrite quien le dio un hijo al que llamaron Tritón y dio nombre al principal satélite de este planeta. El otro satélite fue incorrectamente bautizado Nereida y decimos incorrectamente pues, como lo hizo notar J. M. de Feliú las Nereidas fueron cincuenta, hijas de Nereo, dios griego del mar en calma y por lo tanto el nombre de este satélite correspondería ser expresado en plural. Una de las más conocidas entre estas hermanas fue Tetis, que a su vez dio nombre a uno de los satélites de Saturno. El atributo de Neptuno es un tridente y con la estilización de éste se lo identifica abreviadamente.

Pero dejemos de lado los cuentos y vayamos a cosas más áridas pero ciertas. Como dijo Ch. Veillet (contemp.) Neptuno "es un desgraciado cuerpo que no ha figurado en las primeras páginas de las novedades astronómicas por más de 30 años"; prácticamente no se lo tomó en cuenta después del descubrimiento de Nereida y además: "no aparecieron anillos todavía, no hay navíos espaciales en los próximos pocos años". Es un cuerpo situado a treinta veces la distancia que nos separa a nosotros del Sol y le corresponde el tercer lugar, detrás de Júpiter y Saturno en cuanto al tamaño.

Arago había propuesto denominarlo como su descubridor, pero prevaleció el criterio mitológico impuesto desde la antigüedad. Una semana después de descubierto ya tenía nombre y símbolo. También se había propuesto el nombre de Jano (aplicado después al X

satélite de Saturno) pero Le Verrier lo rechazó porque "el nombre de Janus indicaría que este planeta es el último del sistema solar, lo que de ninguna manera hay razón para creer". Esta idea volvió a expresarla Le Verrier después de conocido el descubrimiento diciendo: "debemos confiar que después de treinta o cuarenta años de observaciones del nuevo planeta, el método podrá emplearse a su vez para descubrir al que sigue en orden de distancia al Sol".

Hasta hace unos cincuenta años se creía que Neptuno era el planeta que giraba más rápidamente, adjudicándosele algo menos de 8 horas y considerándose la diferencial como en Júpiter o el Sol. Más recientemente, por medios espectroscópicos, se halló en el observatorio de Lick que la rotación es de algo menos de 16 horas, continuando así con lo que parece ser una norma de los planetas gigantes.

Neptuno es un planeta que sin discusión es invisible a simple vista; dijimos que Urano estaba en el límite pero creemos que actualmente ni desde el centro del océano Pacífico pueda verse a ojo desnudo.

Visto al telescopio, si lo hacemos con suficiente aumento, alcanzaremos a distinguir el pequeño disco que denuncia un cuerpo más o menos cercano. Tiene una leve coloración azulada muy difícil de apreciar. Es un objeto sin mayor interés para los aficionados como no sea para comprobar su lento movimiento entre las estrellas. Su movimiento sidéreo fue, en 1983, de apenas algo más de 2° pero visto desde la Tierra solamente se desplazará $10''$ en ascensión recta y menos de $4'$ en declinación entre el principio y el fin del año indicado. Su distancia a nosotros se mantendrá entre un mínimo de 29,25 unidades astronómicas a mediados del mismo año hasta un máximo de 31,23 en ambos extremos del año.

En un pequeño cuadro damos algunos datos numéricos de este planeta, advirtiendo que existe bastante inseguridad en los mismos.

Neptuno fue descubierto porque los científicos, los astrónomos en este caso, quieren saber, con rigurosa exactitud, como se comportan los cuerpos celestes y cuando creen saberlo no admiten que las cosas puedan ocurrir de manera distinta sin conocer las causas. Así, una vez descubierto Urano, se le adjudicó una órbita que este planeta se negó a recorrer exactamente y por lo tanto no hubo otro remedio que buscar las causas de estas diferencias. Este descubrimiento fue posible porque la astronomía contaba ya con las herramientas necesarias para sus complicados cálculos. La piedra basal había sido colocada por Newton en 1687 con la publicación de lo que después se conocería como ley de gravedad. Todos recordamos el primer caso espectacular de

la aplicación del cálculo para la ubicación de un astro, en este caso ya descubierto pero posteriormente perdido como lo fue el caso del primer asteroide descubierto, Pallas, método empleado por primera vez por el insigne Karl Friedrich Gauss (1777-1855). También se habían mejorado notablemente los instrumentos y se conocían las causas —excepto la reciente relatividad— que podían falsear una observación o modificar realmente la trayectoria de un cuerpo. Ya se conocía la velocidad y la aberración de la luz, la nutación, la forma aproximada de la Tierra, etc. y se había desarrollado el cálculo de perturbaciones por grandes matemáticos como Halley, Clairaut, Pierre Louis Moreau Maupertuis (1698-1759), Jean le Rond D'Alembert (1717-1783) y otros.

Aquí solamente daremos una idea de como se desarrollaron los hechos que condujeron al descubrimiento y quien desee mayores datos puede consultar la "Notice sur les perturbations" publicadas por el Bureau des Longitudes original de Francois Felix Tisserand (1845-1896) para el aspecto matemático de la cuestión.

Alexis Bouvard (1767-1834) emprendió la tarea de calcular nuevamente una órbita para el discolo Urano tomando en consideración las perturbaciones que podrían causarle Júpiter y Saturno y al publicar sus tablas en 1821 se inclinó por la hipótesis de que existía un gran planeta exterior a la órbita de Urano. Para llegar a este resultado tuvo que desechar las hechas desde 1690 por Flamsteed, Mayer, Bradley y Lemonnier quienes por supuesto lo tomaron como una estrella. Está claro que Bouvard desechó estas posiciones suponiéndolas incorrectas pero en realidad eran la manifestación de las modificaciones que sufría el recorrido de Urano y las diferencias reaparecieron: 20" en 1830, 1'5 en 1840 y en 1844 llegó a 2'. Se había notado un hecho muy sugerente: supuesto un planeta exterior, el de movimiento más rápido, Urano, alcanza y sobrepasa al exterior, más lento, resultando que cuando trata de alcanzarlo resulta acelerado en su movimiento y cuando lo ha sobrepasado sufre un frenado, retrasándose. Se había comprobado que el momento crítico había sido 1822 y más tarde se supo que en este año ambos planetas tuvieron la misma longitud heliocéntrica; antes de esta fecha las posiciones observadas de Urano estaban adelantadas respecto de las calculadas y después de este año las posiciones comenzaban a retrasarse.

La idea de un planeta exterior también estaba en varias otras cabezas, como por ejemplo en la de Mädler, Bessel, que empezó a tratar el problema pero fue sorprendido por la enfermedad que lo llevó a la muerte, por el estudiante inglés John Couch Adams (1819-1892) que más tarde, como profesor, se destacó por sus contribuciones a la astronomía teórica, entre los más conocidos.

Le Verrier comenzó su trabajo en 1845 revisando y recalculando las posiciones de los planetas exteriores reteniendo solamente las que le merecían mayor fe, tomando en cuenta los efectos mutuos y llegando a la primera conclusión: no era posible representar exactamente la órbita de Urano considerando solamente estas perturbaciones. Abordó entonces la parte más difícil: determinar el cuerpo extraño perturbador. Si bien el problema es sumamente complicado, el calculista podía tomar en cuenta algunos datos con relativa seguridad, por ejemplo que Urano no era perturbado en latitud y por lo tanto el cuerpo extraño tenía su órbita en el mismo plano que la de aquél; debía de circular por fuera de

la órbita de Urano pues casi no eran molestados Júpiter y Saturno y como las distancias al Sol casi se van duplicando a partir de Júpiter, podía suponer que también sería este el caso y por último, que la órbita debía de ser casi circular pues así lo son todas las conocidas para los planetas. Una vez finalizados sus cálculos escribió a su amigo Johann Gottfried Galle (1812-1910) en esta época asistente de Encke, director del observatorio de Berlín. Encke no estaba muy decidido a emprender la búsqueda, pero si lo estaba Galle y ayudado por D'Arrest y utilizando una carta celeste eclíptica muy completa y exacta recientemente terminada por Bremiker, en la primera noche de trabajo hallaron un punto que no figuraba en el carta; esto ocurrió el 23 de setiembre de 1846 y el planeta se hallaba a 52' de la posición calculada por Le Verrier. Esta diferencia es pequeña y se atribuye a la circunstancia de que se había supuesto para el nuevo planeta una distancia al Sol equivalente a 36 unidades astronómicas según lo indicaba la ley de Bode (1), pero en realidad la distancia es de unas 30 unidades astronómicas y por lo tanto debe acortarse el período sidéreo para cumplir la tercera ley de Kepler.

Dijimos más arriba que también Adams estaba convencido de la existencia de un planeta exterior a Urano y ya en 1841, a los 22 años de edad, emprendió el trabajo llegando a una primera aproximación, mejorada más tarde empleando las posiciones exactas de Urano tomadas en Greenwich. En octubre de 1845, ya en posesión del resultado, lo presentó al astrónomo real, George Biddel Airy (1801-1892) pidiéndole que lo buscara, pero éste, como su colega berlinés, no estaba muy dis-

(1) Se ha dicho, con razón, que no es ley ni es de Bode, pero con este nombre se conoce una progresión geométrica para recordar bastante exactamente las distancias medias al Sol de los planetas hasta Urano.

CUADRO

Magnitud máxima en oposición	+ 8	+ 7,7
Albedo	0,52	0,82
Diámetro ecuatorial máximo	2"9	
Diámetro real en kilómetros	50.000	
Diámetro ecuatorial, Tierra = 1	3,8	
Densidad. Agua = 1	1,6	2,25
Masa. Tierra = 1	17,3	
Masa. Sol = 1	1/19.000	
Gravedad en el ecuador. Tierra = 1	1,14	1,16
Achatamiento	1/59	
Rotación	15 h 48 m	
Periodo sidéreo	164 años 280,3 días	
Periodo sinódico	1 año 2,2 días	
Velocidad en su órbita	5 km/seg	
Inclinación de la órbita respecto a la eclíptica	1° 46'4	
Inclinación del eje de rotación respecto de la normal al plano de la órbita	29°	
Excentricidad de la órbita	0,009	
Semieje mayor de la órbita en U.A.	30,7	30,11
Temperatura	— 210° C	
Atmósfera, oxígeno y nitrógeno líquidos. Metano sólido según la temperatura estimada		

puesto a ello encargando el trabajo a Challis, director del observatorio de Cambridge, pero la tarea no podía adelantarse rápidamente por la falta de una buena carta; de la que dispuso Galle todavía no se habían distribuido copias. En Inglaterra ya se tenían noticias de los trabajos y resultados parciales de Le Verrier y hallándolos muy semejantes a los encontrados por Adams intentaron adelantar el trabajo, al punto que los días 4 y 12 de agosto de 1846 anotaron la posición de Neptuno pero sin reconocerlo como planeta. Es que no tuvieron más remedio que intentar descubrirlo por su movimiento propio en tanto en Berlín lo hicieron buscando un punto sobrante en la carta.

La noticia del descubrimiento de Neptuno llegó a Inglaterra el 30 de setiembre y es fácil imaginar la desazón de Adams. Inmediatamente surgió una animada discusión respecto a la prioridad del descubrimiento y la posteridad resolvió, correctamente, que correspondía al francés, pero reconociendo a ambos iguales méritos matemáticos. (Ver cuadro pág. 9)

Ni Le Verrier ni Adams trataron de buscar por sí mismos a su planeta; modestamente suponemos que el primero tenía conocimiento de la nueva carta celeste alemana y que sin ella el trabajo podía demorar años y el segundo quizás no tenía autoridad, por ser un joven estudiante, para disponer de los instrumentos necesarios.

Como ocurrió con otros astros, una vez descubierto Neptuno se lo buscó en observaciones anteriores y así se comprobó que Michel Le Francois de la Lande (1796-

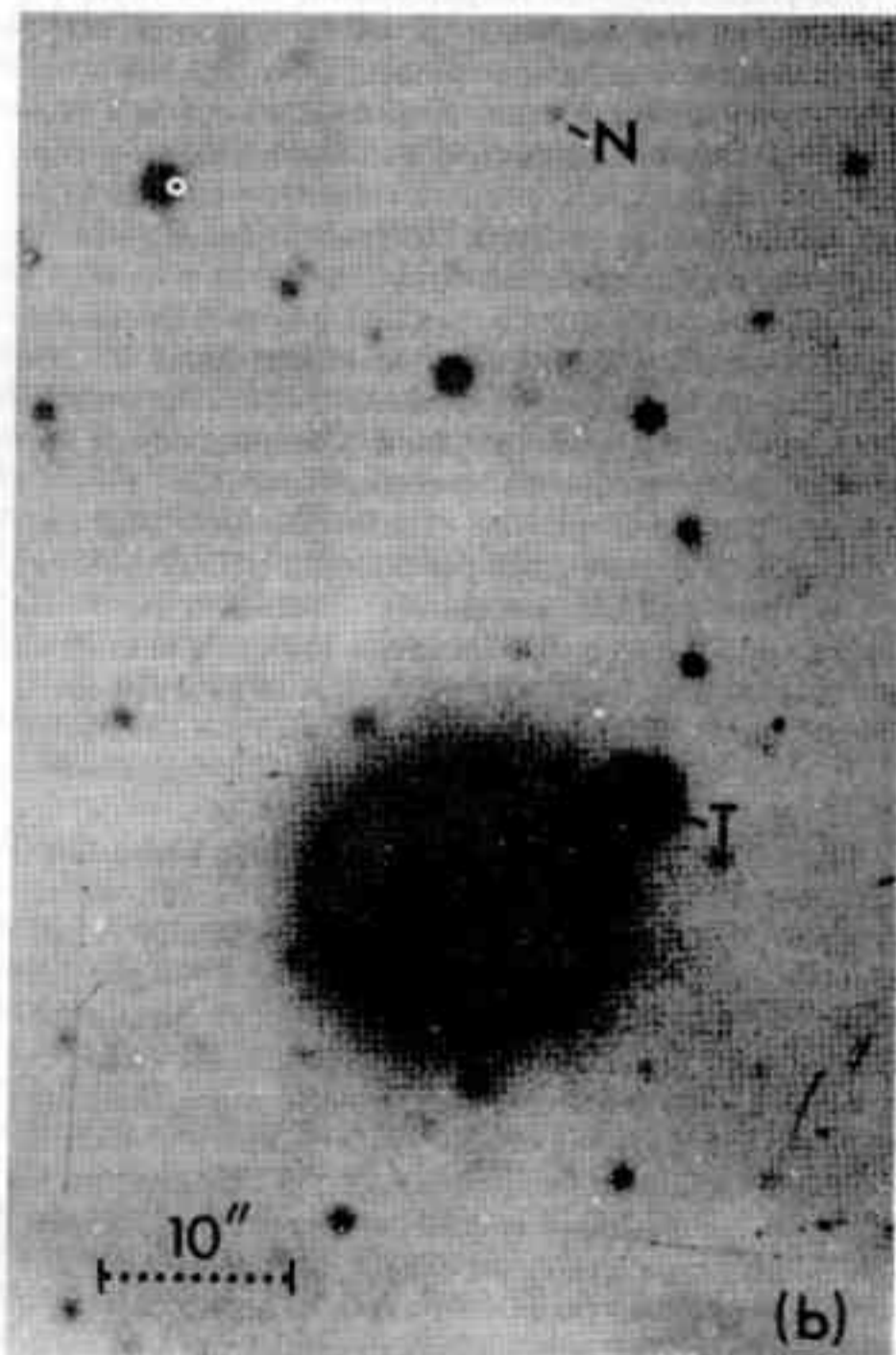
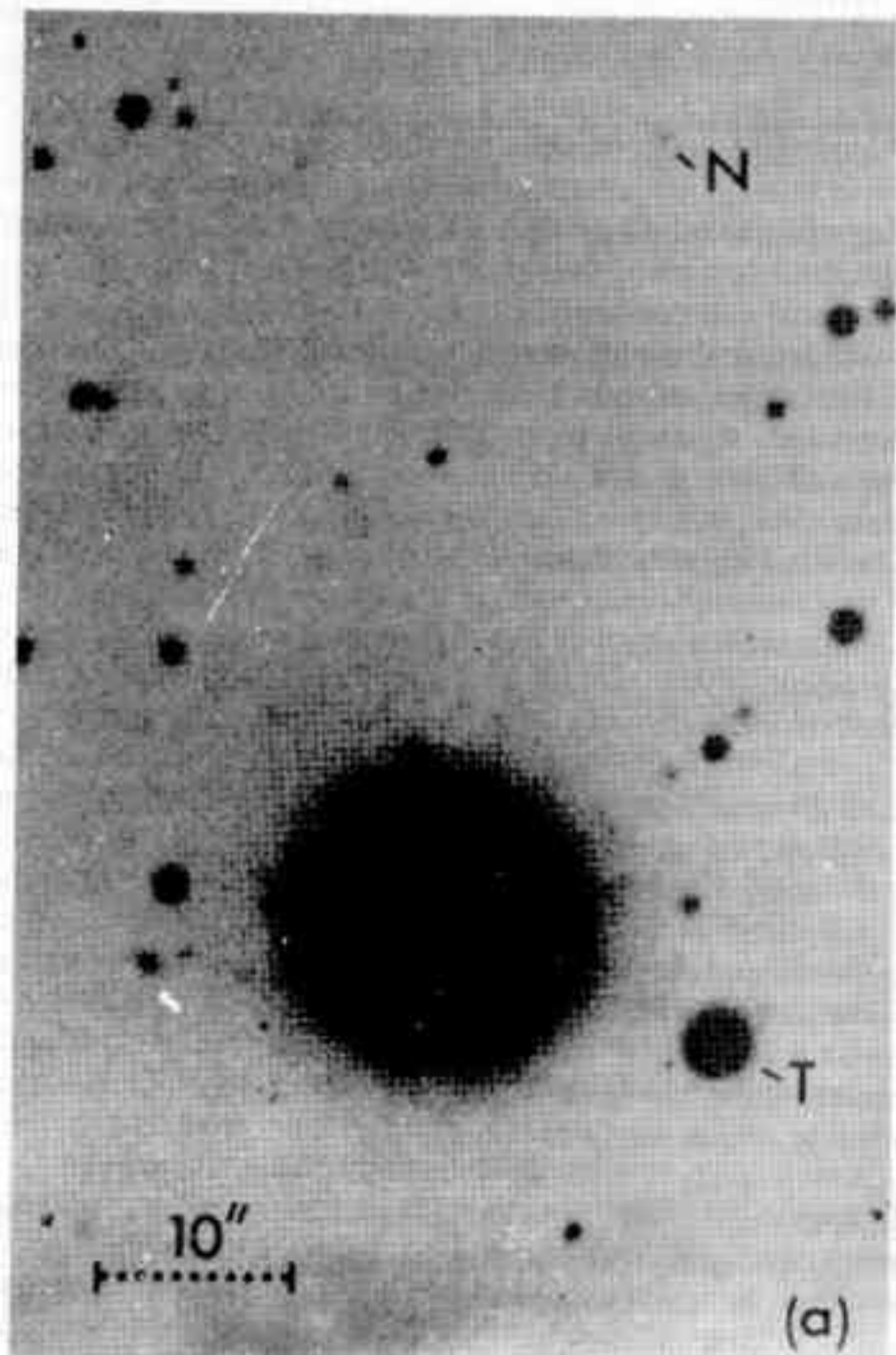
1839)⁽²⁾ anotó la posición los días 8 y 9 de mayo de 1795 pero encontrando diferencias entre ambas descartó sin más trámite la del día 8; si hubiera tomado una tercera posición, su nombre ocuparía el lugar del de Le Verrier. También lo vio Lamont en 1845 y 1846.

Nuestro encabezamiento también hubiera podido ocuparlo las palabras de Newcomb: "puede decirse que, antes de dejarse ver, el planeta se hacía sentir por la atracción que ejercía sobre Urano, de suerte que se le vio con la inteligencia antes que con los ojos".

Neptuno tiene dos satélites conocidos; desde hace más de tres décadas el segundo de ellos y damos este dato pues prácticamente no se han realizado nuevos estudios desde entonces. Recientemente⁽³⁾ se efectuaron en el observatorio ESO nuevos estudios tendientes a mejorar los elementos orbitales de estos satélites. Publicamos dos fotografías tomadas en este observatorio para mostrar las muy distintas velocidades orbitales de Tritón y de Nereida. Fueron tomadas los días 6 y 11 de abril de 1981 y la imagen de Neptuno aparece muy sobre-expuesta para permitir la impresión de Nereida. El mayor de los satélites fue descubierto por un aficionado constructor de telescopios y fabricante de cerveza llamado William Lassell (1799-1880) el 10 de oc-

(2) No confundirlo con quien pasaba por ser su tío, mucho más conocido, llamado Joseph-Jérôme Le Francois de la Lande (1732-1807).

(3) Ch. Veillet, The Messenger N° 27, marzo 1982.



tubre de 1846; como vemos muy pocos días después de descubierto el planeta. Este señor resultó un especialista en el descubrimiento de satélites pues descubrió a tres de ellos (uno de Neptuno y dos de Urano) y se le adjudica, junto con Bond, el descubrimiento del octavo satélite de Saturno, Hiperión, elevando por lo tanto a cuatro sus descubrimientos y produciendo un quintuple empate en este aspecto con Galileo, Cassini, Herschel y Nicholson. El nombre dado fue Tritón, ya explicado, y fue propuesto por Flammarión.

Según los últimos datos, derivados de los estudios realizados en ESO, este satélite tiene una órbita perfectamente circular (excentricidad 0,00) con un radio de 354.000 km equivalentes a unos 14,6 radios de Neptuno. Su período es de 5,877 días resultando así un satélite extraordinario para verlo desde su propio planeta. Piénsese en un satélite una vez y media más grande que la Luna, situado a la misma distancia que ésta pero circulando cinco veces más rápidamente. Esta órbita está inclinada 160° sobre el plano ecuatorial de Neptuno. Todavía existe bastante incertidumbre sobre el diámetro real de este satélite pero seguramente no estará lejos de los 5.000 kilómetros, lo que lo coloca en los primeros lugares en cuanto a tamaño. Su magnitud es de 13,6 y por lo tanto, para verlos será necesario un buen instrumento de unos 30 cm de diámetro y tener en cuenta la mayor elongación posible. Se ha comprobado que tiene una tenue atmósfera compuesta esencialmente de metano, lo que es también extraordinario para un satélite.

El segundo acompañante de Neptuno fue descubierto el 1 de mayo de 1949 por G. P. Kuiper en placas tomadas en el foco primario del reflector de 82" del observatorio McDonald bautizándosele Nereida lo cual, si bien es un tanto incorrecto como ya explicamos, al menos pertenece al grupo de los dioses marinos. Su órbita está inclinada 27°6' sobre el plano de la órbita de Neptuno pero esta órbita se parece más a la de un cometa periódico que a la de un satélite pues su excentricidad alcanza a 0,75 lo que lo lleva a distancias a su planeta entre algo más de un millón de kilómetros y doce millones. Su período de revolución es de 365,2 días. Su diámetro, muy difícil de medir, está en el orden de los 300 km y su magnitud es de 19 a 19,5.

En otro artículo hablamos de la importancia que se les acuerda a los fenómenos de ocultaciones y todos los años se calculan las trayectorias de planetas, satélites y

asteroides a través de los campos estelares con la esperanza de que alguno de ellos, alguna vez, se interponga en la luz que nos envían las estrellas. Para mayo de 1981 se pronosticó la probabilidad de que Neptuno ocultara a una estrella, pero en realidad, luego de visto el fenómeno, se comprobó que el planeta "erró" a la estrella y no obstante, ésta experimentó una sensible caída en su brillo durante unos 8 segundos, caída que tampoco pudo atribuirse al paso de Tritón o de Nereida. Se sospecha entonces que Neptuno tiene un tercer satélite de magnitud 20 y por lo tanto no detectable desde la Tierra por la irradiación del planeta, puesto que se lo supone girando a solamente 50.000 km. de la superficie neptuniana.

Dejamos a este lejano planeta, tan lento en su andar que todavía no cumplió una revolución sidérea, es decir, que aún no cerró su órbita alrededor del Sol, lo que ocurrirá recién en el año 2010.

Recibe apenas un milésimo de la luz y calor del Sol que recibimos nosotros. Desde este planeta no se puede tener el espectáculo de los cometas con grandes colas que como sabemos, les aparecen en las cercanías del Sol y estando éste tan lejos, las colas resultan invisibles.

Podremos saber algo más de este planeta cuando el Voyager 2 lo visite en 1989, calculándose que la menor distancia ocurrirá el 24 de agosto. Como ya dijimos, las oposiciones de los planetas lejanos se deben en su mayor proporción al movimiento de la Tierra y así, Neptuno estuvo en oposición el 19 de junio de 1983 y lo estará otra vez el 21 de junio de 1984; vemos que Neptuno contribuyó a la oposición demorándola solamente dos días. Urano, que viaja a mayor velocidad lo está alcanzando lentamente y lo logrará hacia 1993. Como aún no cumplió una revolución sidérea, los hipotéticos habitantes de Neptuno todavía estarán descubriendo nuevas estrellas, suponiendo que hayan comenzado a observarlas a partir de nuestro descubrimiento. De todas maneras el Sol no les impedirá las observaciones estelares; mucho más molesto les resultará Tritón. Si todavía no inventaron el coronógrafo no tendrán noticias de la existencia de Mercurio, Venus y la Tierra, pues para la observación directa les molestará la irradiación del Sol. El mismo Saturno no se apartará del Sol en más de 18".

SOCIOS NUEVOS

4813 ENRIQUETA P. G. DE ROVELLOTTI
4814 LUIS JORGE RAMON VACCARO
4815 LIDIA CHAVES DE SORIA
4816 DANIEL VALDIVIESO LAMAS
4817 HECTOR EDUARDO PICCINI
4818 JOSE ALBERTO MIGUEL
4819 ANGEL LORENZO RUBIO
4820 CESAR FRANKEL
4821 CARLOS ALBERTO FRANKEL
4822 INES ALEJANDRA BUCHAR
4823 FABIAN ANDRES FUCCI
4824 CLAUDIO CHORROARIN
4825 LAURA NOEMI BUELA
4826 SANTIAGO GASSO

4827 NORBERTO BERTO
4828 GONZALO FEDERICO MORENO
4829 MIGUEL ANGEL MENEGOTTO
4830 CARLOS BREGNI
4831 GLENDA S. LOPEZ FERNANDEZ
4832 GUSTAVO JAVIER GRADE
4833 MIGUEL ANGEL RAMOS
4834 MARCELO SLAVICH
4835 PATRICIA EDITH PEREZ
4836 GILDA F. MERCADO
4837 FABIAN SERGIO ROMAN
4838 OSCAR ALBERTO LOPEZ
4839 ENRIQUE ANTONIO REINA
4840 ROLANDO JAVIER MARTIN

Experimentos Numéricos en Astronomía

Dr. Juan Carlos Muzzio

Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de La Plata y Programa de Fotometría y Estructura Galáctica (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas).

I. Introducción

La disponibilidad de computadoras cada vez más veloces y de mayor capacidad para almacenar datos ha hecho de los experimentos numéricos una poderosa herramienta de la investigación astronómica. Si bien algunas de las ideas básicas se remontan a la época de la creación del análisis matemático (siglo XVII), y si bien muchos sacrificados pioneros utilizaron en el pasado estos métodos con, a lo sumo, el auxilio de máquinas de calcular mecánicas para los tediosos cálculos, es sólo en los últimos diez o veinte años cuando la difusión de las computadoras permiten que estos métodos se transformen de recurso heroico en una herramienta corriente.

¿En qué radica el poder de estos métodos? Muchos de los fenómenos astronómicos transcurren tan lentamente que en toda una vida humana o, incluso, en todo el lapso transcurrido desde que se idearon los registros escritos, no se llegaría a notar un cambio apreciable. Una computadora puede, sin embargo, **simular** la evolución de estos fenómenos y mostrar, en unas pocas horas de trabajo, como se desarrollaría un proceso que, en realidad, tomaría miles de millones de años en completarse. El astrónomo puede, entonces, analizar cómo se formó un determinado sistema, cuál es su estructura, cómo se transformará en el futuro y, eventualmente, cuál será su fin. Más importante aún, alterando los parámetros de los experimentos numéricos (masas, velocidades, etc.) puede investigar la importancia relativa de los distintos factores en el problema que le interesa.

Un ejemplo de aplicación de estos métodos aclarará lo que antecede. Para simular numéricamente un cúmulo estelar, se considera un sistema de algunos centenares de estrellas que, partiendo de ciertas posiciones iniciales y dotadas de ciertas velocidades iniciales, se van moviendo bajo el influjo de sus atracciones mutuas. El análisis subsiguiente de esta evolución simulada numéricamente arroja resultados tan interesantes como los siguientes: a) A medida que transcurre el tiempo tiende a aumentar la concentración de estrellas en la zona central y a formarse un halo exterior extenso. b) Hay una fuerte tendencia a la formación de estrellas dobles, que acaban concentrando la mayor parte de la energía inicial del cúmulo. c) Se pierden estrellas que escapan del cúmulo y este escape es mucho más importante cuando las estrellas tienen diferentes masas que cuando éstas son todas iguales. Se aprecia, así, como estos experimentos permiten obtener información que sería difícil, o aún imposible, de obtener en otra forma.

Veremos ahora como se consigue que una computadora realice estas simulaciones numéricas imitando los

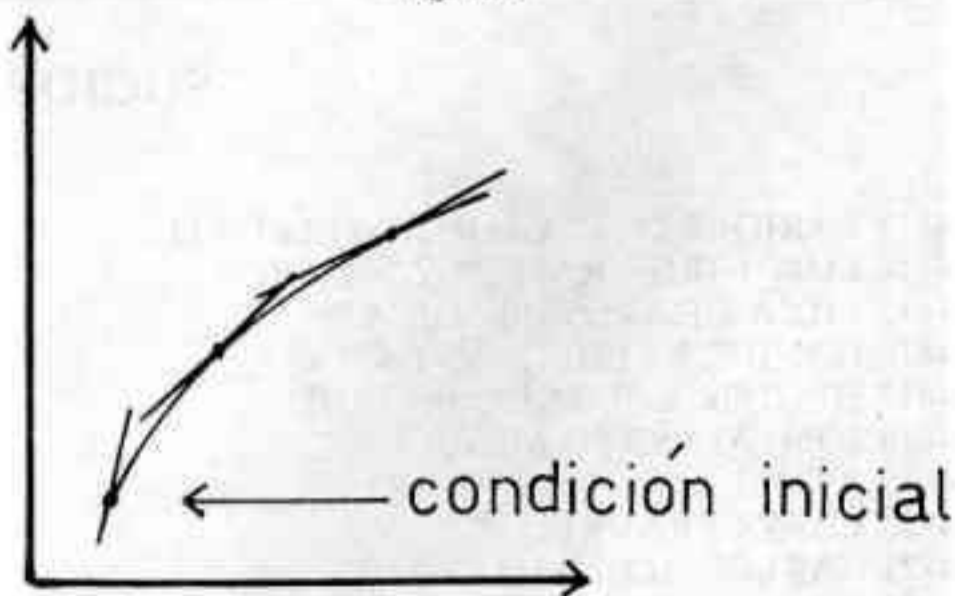
fenómenos que ocurren en la realidad. Aunque nos referiremos a un determinado tipo de problema (el llamado "problemas de N-cuerpos"), varias características son comunes a otros tipos de problemas usuales en astronomía.

II. Las ecuaciones diferenciales de la física

La primera cuestión a considerar en los experimentos numéricos es cuáles son las leyes físicas que gobiernan el fenómeno que se trata de simular. En el ejemplo dado antes, de un cúmulo estelar, es frecuente adoptar la ley de Newton, que es válida cuando las dimensiones de los cuerpos son mucho más pequeñas que las distancias que los separan; efectivamente, los diámetros de las estrellas son de algunos segundos luz, en tanto que sus distancias mutuas en un cúmulo son del orden de los meses luz. Si, en cambio, tratásemos de simular un cúmulo de galaxias, donde las dimensiones de éstas son comparables a las distancias que las separan, pueden utilizarse otros tipos de leyes que, aunque se derivan de la de Newton, tiene en cuenta la forma de los objetos considerados.

Sea cual fuere la ley que se adopte, lo que se obtiene en este caso (y en los de otros fenómenos regidos por distintas leyes) es un conjunto de **ecuaciones diferenciales**. Geométricamente, resolver una ecuación diferencial equivale a hallar una curva conociendo las tangentes a esa curva; es necesario, además, conocer la **condición inicial**, que es un punto por donde pasa esa curva (Figura 1).

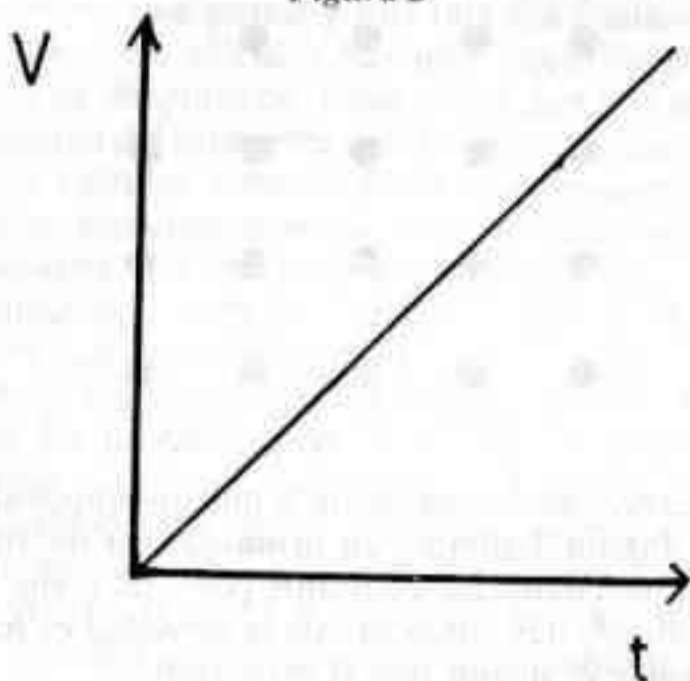
Figura 1



Consideremos un automóvil que parte del reposo y que se mueve con una aceleración constante. Las leyes del movimiento nos dicen que: a) La aceleración nos da la inclinación de las tangentes a la curva velocidad-

tiempo. b) La velocidad obtenida de la curva anterior nos da la inclinación de las tangentes a la curva espacio-tiempo. Comencemos por a) (Figura 2).

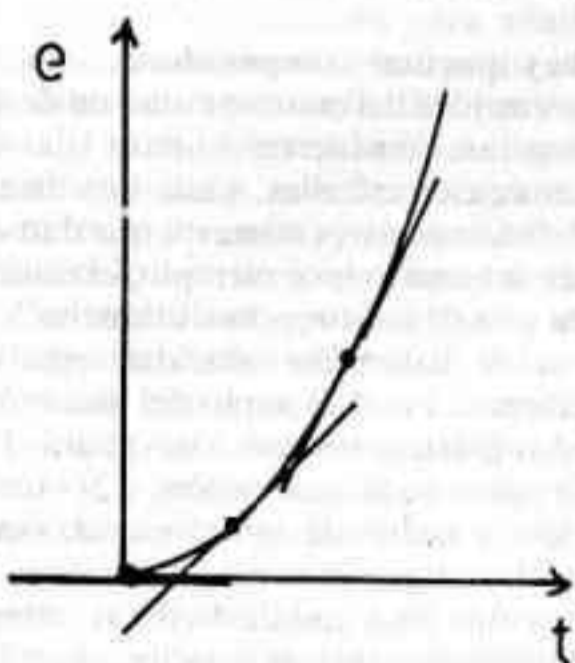
Figura 2



Como el automóvil parte del reposo, la velocidad es nula en el instante inicial ($v = 0$ para $t = 0$), o sea que la condición inicial indica que la solución pasa por el origen. Como la aceleración es constante, la inclinación de las tangentes también lo es, por lo que la curva velocidad-tiempo da una recta, (la tangente a una recta coincide con la misma recta).

Esta curva nos da, a su vez, por b), la inclinación de las tangentes en el gráfico espacio-tiempo (Figura 3) y tomemos, como condición inicial, que el espacio se toma a partir del punto del que salió el automóvil ($e = 0$ para $t = 0$). Como inicialmente es nula la velocidad, la tangente en este punto es horizontal (coincide con el eje t) pero su inclinación aumenta junto con la velocidad a medida que pasa el tiempo. El gráfico resultante es una parábola como muestra la Figura 3.

Figura 3



y B') notamos que la secante se va aproximando a la tangente. O sea, cuanto más pequeña sea la separación mejor será la aproximación de la tangente con la secante.

Figura 4

Figura 4

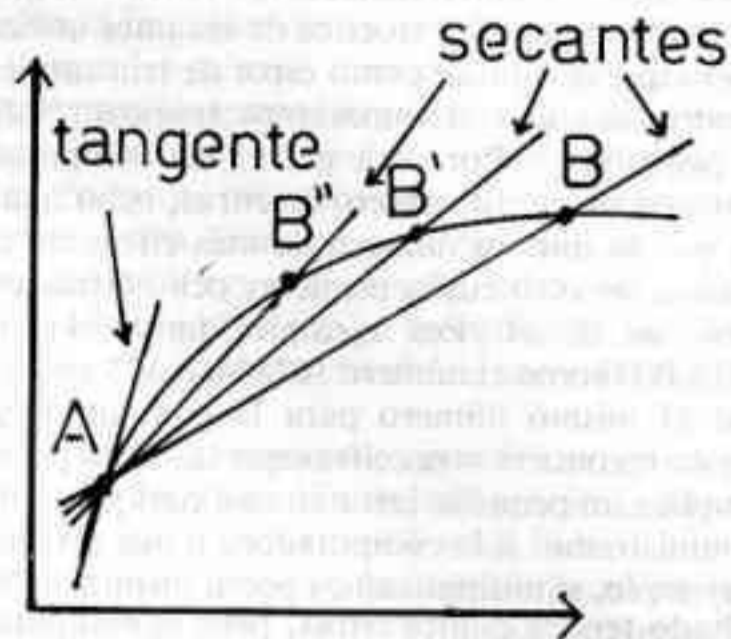
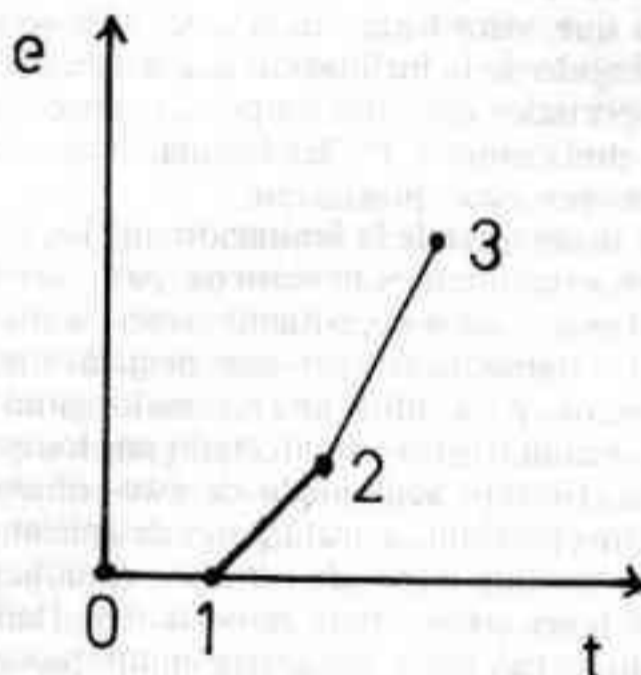


Figura 5



Veamos ahora (Figura 5) cómo construiríamos la Fig. 3. Partimos del punto inicial (0) y trazamos un segmento de recta horizontal llegando al punto (1); vemos por la Fig. 2 que para el valor correspondiente del tiempo la inclinación ya no es nula y entonces trazamos otro segmento con la inclinación en cuestión, llegando al punto (2). En este tendremos (siempre según la Fig. 2) una inclinación aún mayor y repitiendo el procedimiento llegamos al punto 3. Continuando en esa forma logramos que nuestros sucesivos segmentos 0-1, 1-2, 2-3, etc., nos den una aproximación razonable de la Fig. 3. Este ejemplo elemental representa aceptablemente el proceso de la solución de ecuaciones diferenciales mediante una computadora; el proceso gráfico aquí indicado se realiza, empero, numéricamente.

III. Los errores

Un rasgo muy interesante de los experimentos numéricos es que, al igual que todo experimento, están sujetos a las influencia de errores. No nos referimos aquí a errores de cálculo, ya que justamente una de las grandes ventajas de las computadoras es su extremada confiabilidad al respecto, sino a dos tipos de errores

Este ejemplo es también útil para mostrar una característica importante de la resolución numérica de las ecuaciones diferenciales: es aproximada y no exacta. Supongamos que, con el solo dato del punto inicial y la Figura 2 querramos construir la Figura 3. Un método sería aproximar la tangente con la secante a la curva (Figura 4). Si vamos acercando el punto B al punto A (puntos B' y B'')

inherentes al proceso mismo de resolución de las ecuaciones de la física: los **errores de truncamiento** y los **errores de redondeo**. Ambos se pueden comprender fácilmente volviendo al ejemplo gráfico anterior. Quedamos en que para resolver el problema se reemplazaban las tangentes con secantes; obviamente esto no es totalmente correcto y las diferencias serán tanto más grandes cuanto mayores sean los trocitos de secantes utilizados. Esto es lo que se conoce como error de truncamiento y sólo podría anularse si tomáramos trocitos "infinitamente pequeños". Por otra parte, las computadoras trabajan con un cierto número de cifras, ocho habitualmente, por lo que un número de más cifras no puede distinguirse de otro cuyas primeras ocho cifras coincidan con las de él. Por ejemplo, tanto el número 16780416,000 como el número 16780416,125 serán exactamente el mismo número para la computadora; no puede ésta reconocer otras cifras que las ocho primeras. Esto implica un pequeño error en casi cualquier número que suministremos a la computadora o que ésta calcule "(por ejemplo, si multiplicamos por sí mismo 16780416 el resultado tendrá quince cifras, pero la computadora nos dará con exactitud sólo las ocho primeras siendo, en general, inexactas las siete restantes)." Esto es lo que se llama error de redondeo y en nuestro ejemplo gráfico equivaldría a que, para trazar cada trocito de secante, midamos el ángulo de la inclinación que debemos darle con un transportador que sólo no permite apreciar como mínimo, por ejemplo, 1° ; las inclinaciones estarán pues afectadas por esta apreciación.

Y ahora se comprende la limitación que los errores imponen a los experimentos numéricos: para disminuir el error de truncamiento necesitamos trocitos más pequeños, pero si tomamos trocitos más pequeños necesitamos más trocitos para cubrir una misma longitud de la curva y, como cada trocito está afectado por los errores de redondeo, el efecto acumulado de estos últimos es mayor. En otras palabras, si tratáramos de aplicar estos métodos a trozos muy largos de curva los resultados finales pueden tener errores muy importantes. Dado un cierto método de cálculo y una cierta computadora los errores descritos imponen límites al trabajo que se puede realizar.

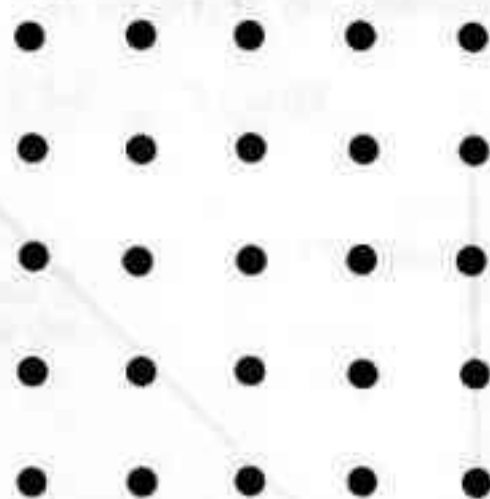
Cabe señalar que uno puede mejorar los métodos (por ejemplo, usar trocitos de curva en vez de recta en el ejemplo gráfico) o la precisión (usando "doble precisión", o sea dieciseis cifras, en la computadora), pero hay también otras limitaciones (de tiempo de cálculo, de memoria disponible, etc.) que hacen que lo afirmado antes mantenga su validez.

IV. Las condiciones iniciales

Mencionamos que para resolver gráfica o numéricamente las ecuaciones diferenciales de nuestro problema se necesitan "condiciones iniciales". O sea, volviendo al caso del cúmulo, tenemos que adoptar ciertas posiciones y velocidades para las estrellas en el modelo inicial. Esto es posible hacerlo a partir de ciertas leyes observadas de la observación, pero no puede hacerse en una forma totalmente rígida, sino que debe hacerse entrar alguna dosis de azar en esta elección. (Ver Fig. 6).

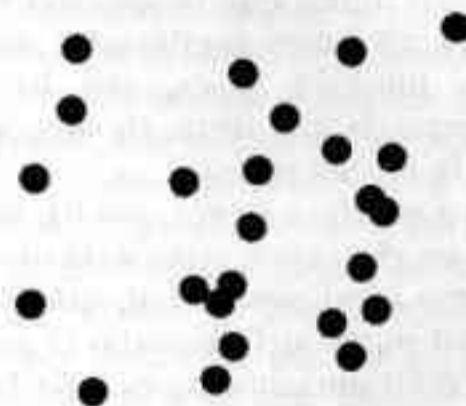
Supongamos que se nos pide que distribuyamos sobre un cuadrado puntos con "densidad constante"; obviamente una distribución como la de la Figura 6 cumple esto, pero no esperaríamos encontrar una distribución tan ordenada y rígida entre las estrellas de un cúmulo.

Figura 6



Parce mucho más natural una distribución como la de la Figura 7 donde, **en promedio**, la distribución tiene también densidad constante pero, tal como ocurre en la realidad, hay zonas donde la densidad es mayor y zonas donde es menor que el promedio.

Figura 7



Entonces, las condiciones iniciales se generan a partir de lo que nos indica la observación, pero introduciendo el factor azar. Es posible generar con una computadora (o aún con una pequeña calculadora) números "al azar" y, utilizando estos, lograr el efecto deseado.

V. Por qué hay que usar computadoras

Para dar una idea del enorme volumen de datos con que se debe operar, consideremos, para fijar ideas, un cúmulo estelar de cien estrellas. Cada una de ellas tiene su posición definida por tres números que dan su distancia a un origen arbitrario (por ejemplo, el centro del cúmulo) en cada una de las direcciones "ancho", "largo" y "alto"; a su vez, habrá una velocidad según cada una de esas direcciones. En el ejemplo del automóvil había que resolver dos gráficos (o ecuaciones) para: 1) obtener la velocidad a partir de la aceleración, y 2) obtener el espacio recorrido a partir de la velocidad, pero ahora habrá que resolver tres veces más ecuaciones (una vez por cada dirección) para cada estrella y, todavía, multiplicar por el número total de estrellas; esto hace seiscientas ecuaciones en total. En otras palabras, de emplearse el procedimiento gráfico anterior habría que construir "pedacito por pedacito" seiscientas figuras, en tanto que la computadora realiza numéricamente el equivalente de esto. Hay todavía una complicación adicional: aunque en el caso del automóvil suponíamos la aceleración constante, en el caso del cúmulo la aceleración que sufre cada estrella depende de la atracción que sobre ella ejercen todas las demás, por lo que hay que

calcular cada una de estas interacciones. Sólo el cálculo de las distancias mutuas entre todos los posibles pares de estrellas para un cúmulo de 100 estrellas requiere evaluar 4950 números. La evaluación de cada uno de estos 4950 números requiere, a su vez, tres restas, tres multiplicaciones, dos sumas y una raíz cuadrada. Por último, todos estos cálculos hay que repetirlos para cada pedacito de los gráficos. Estas cifras dan una idea de la complejidad del problema y de la imposibilidad de realizar estos cálculos a mano. Para una comprensión más completa, mencionemos que la computadora utilizada por nosotros en el Observatorio de La Plata es capaz de multiplicar dos números (de ocho cifras cada uno) en una cien milésima de segundo, y, pese a tan tremenda velocidad, esta computadora tarda unas diez horas en resolver los problemas en que estamos trabajando actualmente, en los que simulamos sistemas de 175 galaxias y cúmulos globulares que evolucionan durante diez mil millones de años.

Conviene también hacer notar que los resultados que se van obteniendo deben también analizarse con la ayuda de una computadora. Supongamos de nuevo que consideramos un cúmulo de 100 estrellas y, según vimos, tendremos para cada una tres números que nos determinan su posición y tres números que nos determinan su velocidad, lo que hace un total de seiscientos números, digamos, de ocho cifras cada uno. Podríamos agregar un número de orden para cada estrella (esta vez de no más de tres cifras), por lo que el total ocuparía una hoja grande de papel con escritura relativamente pequeña. Ahora bien, la solución de nuestro problema será justamente un conjunto de estas hojas con todos esos datos, una para cada momento en que necesitemos conocer el estado del cúmulo. Por ejemplo, si estudiamos la evolución del cúmulo a lo largo de cien millones de años nos interesará saber que pasa cada un millón de años. Esto daría cien hojas de datos como las descriptas y, obviamente, un ser humano podría pasarse la vida tratando de interpretar que significa esta avalancha de números. Los resultados no se imprimen pues en su totalidad, sino que se vuelcan a cinta magnética de donde luego los toma la computadora para analizarlos. Este análisis depende de lo que el investigador esté buscando (puede estudiarse como varía la distribución espacial de las estrellas del cúmulo, como se forman y disuelven sistemas binarios, cuentas estrellas escapan del cúmulo, etc.) pero en todos los casos, y en virtud de la importancia que tienen los errores, es imprescindible realizar controles que garanticen que aquellos no afectan apreciablemente los resultados obtenidos. No entraremos en detalles acerca de este tema bastante complejo pero, para dar una idea de estos controles, digamos que uno bastante elemental y de uso corriente es verificar que se conserva la energía total del cúmulo.

VI. Ping-pong intergaláctico

Un interesante problema al que se aplican los métodos antes descriptos está siendo estudiado en el Observatorio de La Plata. Es usual pensar que los cúmulos globulares "pertenecen" a una determinada galaxia pero, si consideramos que la mayoría de las galaxias no están aisladas sino que, a su vez, pertenecen a grupos o cúmulos, nos damos cuenta de que es muy factible que cuando una galaxia pasa cerca de otra "le robe" cúmulos. Ya hace algunos años S. van de Bergh había sugerido que M87, la galaxia elíptica gigante en el centro del

cúmulo de Virgo, podía haber obtenido parte de su enorme población de cúmulos globulares (algunas decenas de miles) de otras galaxias. Con el Dr. J. C. Forte y el Lic. R. E. Martínez investigamos el problema y demostramos que tanto los datos fotométricos de los cúmulos como la evolución dinámica mostrada por los modelos numéricos corroboraba esta hipótesis. Esto es, si se simula la evolución de un cúmulo de galaxias donde, a su vez, las galaxias tienen cúmulos globulares, a medida que pasa el tiempo las galaxias más grandes van ganando cada vez más cúmulos a expensas de las más pequeñas. Nuestros primeros modelos eran bastante rudimentarios, pero bastaron para mostrar que en el caso del cúmulo de Virgo una galaxia como M87 podía efectivamente haber obtenido su monstruoso cortejo de cúmulos globulares quitándoselos a las galaxias más pequeñas.

Nuestras investigaciones numéricas subsiguientes, ahora con la colaboración de los Lics. R. E. Martínez y M. Rabolli, son de dos tipos. Por un lado, hemos mejorado mucho los modelos y los más recientes reproducen mucho más satisfactoriamente los datos observacionales para cúmulos como el de Virgo. Por otro lado, analizamos varias decenas de miles de casos en que simulamos que una galaxia se precipita sobre otra que tiene un cúmulo globular en órbita a su alrededor, e investigamos el resultado final; estos experimentos son más adecuados para poder controlar qué efecto ejercen las diferencias de masa, velocidad, tamaño de la órbita, etc. Los dos tipos de experimentos numéricos han corroborado nuestras conclusiones iniciales básicas, pero también han puesto en evidencia otras características interesantísimas de este fenómeno en las cuales no habíamos reparado al principio. Nuestros estudios originales se basaron en el análisis del número promedio de cúmulos que tiene cada galaxia, esto es, un balance de los cúmulos ganados menos los perdidos. Ahora, en cambio, estamos considerando por separado los cúmulos ganados y perdidos y lo notable es que, en realidad, casi todas las galaxias ganan y pierden cúmulos aunque, por supuesto, las galaxias grandes ganan más de los que pierden en tanto que las pequeñas pierden más de los que ganan. Vale decir que en cúmulos como el de Virgo tiene lugar un verdadero "ping-pong intergaláctico" con un apreciable intercambio de cúmulos globulares entre todas las galaxias del cúmulo. La consecuencia de esto es, obviamente, una mezcla de las poblaciones de cúmulos de distintas galaxias con la consiguiente homogeneización de sus propiedades. Otro hecho llamativo que muestran estos experimentos es que, al mismo tiempo que se producen intercambios de cúmulos entre galaxias, también hay cúmulos que se liberan de su galaxia madre sin ser capturados por la intrusa y se transforman así en cúmulos intergalácticos o extragalácticos no ligados a ninguna galaxia en particular. La búsqueda de tales cúmulos en el cúmulo de Virgo no es fácil, pero puede constituir una buena prueba para nuestras ideas. Es muy interesante recordar que recientemente A. Arp y B. Madore descubrieron un nuevo cúmulo intergaláctico en el Grupo Local. Como hasta ahora hay sólo dos casos conocidos y, por otra parte, las condiciones del grupo Local (muy distintas del de Virgo) hacen que estos intercambios y escapes tengan lugar en mucho menor escala, no es posible todavía extraer conclusiones al respecto, pero la existencia de estos cúmulos es alentadora para nuestra teoría.

Los Cometas y el Origen de la Vida

(De una conferencia pronunciada por el autor en la 5ª Reunión Regional Europea de Astronomía, Lieja, Jul. 28 - Ago. 1º 1980 y publicada en "Variability in Stars and Galaxies". Traducción autorizada de la Misión francesa publicada en L'Astronomie.)

A.H. Delsemme
Departamento de Física y Astronomía
Universidad de Toledo-Ohio-EE.UU.

1 — INTRODUCCION

El estudio de la aparición de la vida en el Universo ha salido del dominio de la metafísica par entrar resueltamente —aunque en forma especulativa— en el dominio de las ciencias físicas.

El método científico se distingue de la metafísica en que utiliza datos empíricos basados en la observación o la experiencia. En el caso que nos ocupa, los indicios empíricos recogidos recientemente por la astronomía, la geología y la bioquímica sugieren que los fenómenos que condujeron a la aparición de la vida sobre la Tierra han podido reproducirse en otras partes numerosas veces. En efecto, vemos que no solamente las sustancias químicas se cuentan entre las más abundantes en todas partes del Universo, sino también que el escenario de la aparición de la vida, tal como ha sido reconstituido parcialmente, no parece necesitar de coincidencias excepcionales.

Antes de tentar de hablar de la aparición de la vida, conviene ante todo resumir lo que nosotros sabemos: en primer lugar del Universo, luego de la Tierra y finalmente de la vida terrestre. No obstante, antes de pintar los tres paneles de este tríptico, se hace necesario una advertencia: en el término de algunas páginas, una síntesis semejante no puede ser más que un bosquejo apenas delineado. Me veré obligado a ser, entonces, esquemático e imprudente, y estaré sobre todo forzado a dejar en la sombra todas las incertidumbres y bifurcaciones que aún no han sido exploradas.

No es mi intención disminuir su importancia, pero me es preciso omitir los detalles para tratar de mostrar una visión de conjunto de

un rompecabezas que hemos comenzado a armar hace sólo medio siglo. En este momento hemos colocado aproximadamente la mitad de las piezas, de manera que subsisten muchas lagunas, pero si se toma perspectiva, la imagen general ya aparece. Es esta perspectiva que trataremos de tomar juntos.

2 — EL GRAN ESTALLIDO

Primer panel del tríptico: la astronomía nos enseña que el Universo se halla en plena evolución. Yo sé ciertamente que, a primera vista, el cielo parece inmutable; las estrellas dibujan las mismas constelaciones durante siglos. Esta impresión ilusoria se debe a que nuestra escala de tiempo es demasiado corta. Si pudiéramos vivir un millón de años en un minuto, mil millones de años en una jornada, sabríamos entonces intuitivamente que el Universo ha estallado hace unos quince días y experimenta siempre las consecuencias de esta violenta explosión que continúa dispersando los pedazos a toda velocidad. Esto es lo que los anglosajones llaman el *Big Bang*, o sea, el Gran Estallido.

La señal más evidente del Gran Estallido es la expansión del Universo, medida por la fuga de las galaxias lejanas. Las aglomeraciones de estrellas que llamamos galaxias se cuentan entre los objetos más grandes que se conocen y por ello pueden percibirse hasta distancias enormes. Ahora bien; estas galaxias se apartan a velocidades tanto mayores cuanto más lejanas se encuentran; cada millón de años-luz de aumento en su alejamiento incrementa en promedio su velocidad unos 15/20 km/seg. Aunque el índice de este retroceso ha sido revisado muchas

veces desde Hubble (1931), su existencia jamás ha sido puesta en duda. En el pasado, pues, es preciso que las galaxias hayan estado cada vez más próximas, hasta tocarse hace aproximadamente dieciséis mil millones de años; también es preciso que en esa época hayan sido separadas violentamente por una especie de explosión. La incertidumbre respecto de la época del Gran Estallido no es despreciable; sin embargo, hay muchas probabilidades de que ello se haya producido entre doce mil y veinte mil millones de años atrás. Para simplificar las cosas, utilizaré de aquí en adelante el valor medio de dieciséis mil millones de años.

Muchas deducciones independientes confirman el orden de magnitud de esta edad del Universo. Por ejemplo, los elementos radiactivos como el uranio se trasmutan irreversiblemente en elementos inertes como el plomo, a una velocidad constante que se conoce perfectamente. La actual relación de abundancias del uranio y del plomo nos dice por consiguiente que el uranio actual ha sido creado, en promedio, hace más de doce mil millones de años. Pensamos actualmente que la creación del uranio se debe a la explosión de ciertas estrellas; pero como quiera que sea, hay que admitir que en esta época el Universo ya existía.

Pero aún hay algo mejor. En 1964, Penzias y Wilson detectaron por primera vez el ruido de fondo de las radiaciones milimétricas que nos llegan desde todas direcciones, de las profundidades del espacio. Estas ondas establecen un hecho sorprendente: ¡en el Universo hay mil millones de veces más radiación que materia! La única explicación plausible es que tales radiaciones constituyen el reflejo (desplazado en un factor

REVISTA ASTRONOMICA

de mil hacia las grandes longitudes de onda por el efecto Doppler-Fizeau) del gran estallido que causó, hace dieciséis mil millones de años, la separación de las galaxias. La medición de esta enorme cantidad de radiación permite más o menos reconstituir numéricamente lo que ha sucedido durante el Gran Estallido. La temperatura ha debido alcanzar por un instante al menos cien mil millones de grados centígrados, lo que implica que toda la materia existente en el Universo no sólo fue completamente vaporizada y sus moléculas disociadas en átomos, sino que éstos a su vez fueron desintegrados en partículas elementales, protones, electrones y neutrones.

Si por el cálculo se sigue la evolución de esta inmensa bola de fuego, se constata que estalla enfriándose y produce la velocidad de expansión y la radiación observadas. Toda la materia original vuelve entonces a encontrarse transformada en 80 % de hidrógeno, 20 % de helio y prácticamente nada más, aparte de algunas trazas de deuterio (20 partes por millón). La abundancia del helio actual implica que ha existido aproximadamente un 20 % de helio original que no podemos explicar de otra manera que por el Gran Estallido. Volvemos a hallar 20 partes por millón de deuterio en el espacio interestelar; también hallamos deuterio ligeramente concentrado en el agua de nuestros océanos. Existe poca duda de que su origen se debe también al Gran Estallido, porque el deuterio sólo puede destruirse a la temperatura de las estrellas (este hecho es discutido por ciertos astrofísicos, pero los mecanismos que invocan para la formación del deuterio fuera del Gran Estallido son difíciles y muy discutidos todavía). Incidentalmente, es la fusión de este deuterio que data del Gran Estallido y se encuentra en el agua de nuestros océanos, lo que nos ofrece a largo plazo la mejor esperanza de resolución de la actual crisis energética.

Volviendo ahora al propio Gran Estallido, conviene destacar que nos ofrece un límite en el *pasado* y en lo *infinitamente grande*. Este límite es comparable, desde todo punto de vista, al que nos ofrece el principio de Heisenberg en el *presente* y en lo *infinitamente pequeño*. En efecto, está bien claro que todo vestigio o todo testimonio de lo que hubiera podido suceder antes del Gran Es-

tallido ha sido forzosamente borrado por su fantástica temperatura. La ciencia contemporánea parece ofrecernos un gran velo metafísico, que cae ante un pasado incognoscible. Gamow llamada a este periodo "la era agustiniana" para recordarnos que fue San Agustín el primero en preguntarse qué es lo que hacia el buen Dios antes de crear el Cielo y la Tierra.

Para nuestra presente finalidad, también es importante comprender que el Gran Estallido ha provocado la aparición de diferencias de temperatura en el Universo, las que son la causa *motriz* de la aparición de la vida. En efecto, cada ser viviente es en realidad una máquina térmica que no podría existir en un universo en equilibrio termodinámico.

3 — EVOLUCION ESTELAR

Retomemos ahora la historia del Universo. Tenemos pues que a causa del Gran Estallido la materia se fragmenta en cien mil millones de llamaradas (que luego se tornarán galaxias) que se apartan entre sí mutuamente. En cada galaxia, la materia se condensa en cientos de miles de millones de gotitas que se convertirán luego en las estrellas o, más bien, las primeras generaciones de estrellas que contendrán solamente 80 % de hidrógeno y 20 % de helio. De estas estrellas, las de mayor masa evolucionan rápidamente (en unos millones de años), las más livianas lo hacen lentamente (unos miles de millones de años), de manera que las generaciones se mezclan muy rápidamente.

Las reacciones nucleares, principalmente en el centro de las estrellas de gran masa, producen sobre todo carbono, nitrógeno, oxígeno y, con abundancias decrecientes, todos los demás elementos químicos. Hay una excepción: los elementos pesados y radiactivos como el torio y el uranio se forman en las explosiones de supernovas. Estas son estrellas que estallan violentamente y, de este modo, redistribuyen una parte de su masa al medio interestelar. En promedio se produce, posiblemente, una supernova cada diez años en nuestra Galaxia, pero en su mayoría quedan muy lejos de nuestro Sistema Solar; una de las más famosas y cercanas a nosotros es aquella ob-

servada por los astrónomos chinos hace cerca de diez siglos (1054) y cuyos restos son aún bien visibles: forman la Nebulosa Cangrejo.

Pero existe una serie de procesos diferentes, como las novas y los vientos estelares, que provocan redistribuciones de la materia que proviene de las estrellas, hacia el espacio interestelar. La primera consecuencia de esta evolución estelar es, pues, ante todo, que el medio interestelar se enriquece constantemente con carbono, oxígeno, nitrógeno, así como metales (el término metal se toma aquí en un sentido amplio, y significa sólo un elemento más pesado que los precedentes). La segunda consecuencia es la aparición de una química interestelar muy rica. La tercera consecuencia es que las estrellas de las generaciones ulteriores, formadas a partir de nubes que contienen estos átomos más pesados, pueden por primera vez engendrar sistemas planetarios con planetas como el nuestro. No conocemos aún ningún sistema planetario como el nuestro, en el que los planetas giran en derredor de una estrella distinta de nuestro Sol, porque a la distancia de las estrellas más cercanas, las dificultades para detectar planetas por observación telescópica son formidables. Sin embargo, argumentos indirectos sugieren que no está fuera de razón el pensar que algún porcentaje de las estrellas puedan estar rodeadas de planetas (según deducción de Helmut Abt, el 20 % de las estrellas de tipo solar).

El cuadro I muestra la abundancia cósmica de los elementos expresada en porcentaje de masa. He separado los diez elementos más abundantes en tres categorías: gases permanentes, que podrán reconocerse en las estrellas y los planetas gigantes que poseen una gravedad suficiente como para conservarlos, pero que escapan fácilmente y se agotan en los planetas terrestres; carbono, oxígeno, nitrógeno cuyas moléculas (con un poco de hidrógeno eventualmente) dan en frío nieves volátiles, como el agua, el metano y el amoníaco o el anhídrido carbónico; y finalmente el silicio, el hierro y el magnesio que, combinados con un tercio del oxígeno disponible, dan en frío los silicatos que encontramos en las rocas y la arena, ingredientes primordiales de los planetas terrestres. Los elementos faltantes, unos ochenta, no representan más que el 0,1 % de la materia cósmica.

Cuadro I

**ABUNDANCIA COSMICA ACTUAL DE LOS
ELEMENTOS (en % de masa)**

H: 76,5%	O: 0,82%	Fe: 0,12%
He: 21,5%	C: 0,34%	Si: 0,07%
Ne: 0,3%	N: 0,12	Mg: 0,06%
<hr/>	<hr/>	<hr/>
98,3%	1,28%	0,29%

QUIMICA A BAJA TEMPERATURA:

Gases permanentes PLANETAS GIGANTES	Nieves volátiles ATMOSFERAS Y OCEANOS	Rocas (silicatos) PLANETAS TERRESTRES
--	--	--

Es, pues, a partir de los nueve o diez elementos más abundantes que va a edificarse la sorprendente química de las moléculas interestelares, que se desarrolla principalmente en las nubes densas, del tipo de aquellas descubiertas, por ejemplo, en la nebulosa de Orión.

En el último decenio, la radioastronomía nos ha aportado en este terreno una cosecha de descubrimientos fascinantes. Conocemos en 1980 cincuenta y dos tipos de moléculas interestelares químicamente diferentes, más de noventa si se tienen también en cuenta las dife-

rentes variedades isotópicas observadas. He confeccionado en el cuadro II la lista de las 48 moléculas *neutras* para las cuales tenemos —en 1980— una identificación de su abundancia o, más exactamente, del número de moléculas a lo largo de la línea de visual del radiotelescopio. Las moléculas han sido clasificadas por columnas en su orden decreciente de abundancias. Como todas esas moléculas han sido descubiertas recientemente, al ritmo de cuatro o cinco por año, es probable que no estemos aún al final de la lista. Por otra parte, moléculas simétricas como el anhídrido carbónico (CO₂) no pueden detectarse con las técnicas actuales, aunque el CO₂ probablemente sea muy abundante. De todas maneras, destaquemos la gran abundancia de agua (H₂O) y la presencia del ácido cianhídrico (HCN) y el formaldehído (CH₂O). Estas tres moléculas habrán de desempeñar un gran papel en la secuencia. Desta-

Cuadro II

MOLECULAS INTERESTELARES

abundancia en 10¹⁷ moléculas en una columna de 1 cm² de sección

n	20	19	18	17	16	15	14	13
inorgánicas:		H ₂	H ₂ O		NH ₃ NO SO ₂	NHO H ₂ S	OH SO NS	SiO SiS N ₂ H
hidrocarburos:	CH ₄			C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆		C ₂ H ₂ C ₂ H ₄	C ₂	CH
con O:	CO					CH ₂ OH CH ₃ CHO C ₂ H ₅ OH	H ₂ CO HCO ₂ OH	H ₂ CO HCO ₂ OCH ₃
con N:						CN HCN CH ₃ NH CH ₃ CN CH ₃ NH ₂	HC ₂ N CH ₃ CH ₂ CN HC ₃ N C ₂ H ₅ CN	NH ₂ CN HC ₂ N HC ₃ N
con O y N:						HCNO NH ₂ CHO		
con S:				H ₂ S		CS OCS	HNCS CH ₃ SH	

quemos también a partir del ácido cianhídrico una serie de moléculas inesperadas: moléculas polímeras del acetileno, terminadas todas con un grupo cianógeno con, respectivamente, 1, 3, 5, 7 y 9 carbonos en la cadena. Como su abundancia parece no disminuir con mucha rapidez al crecer la longitud de la molécula, es probable que existan en el espacio interestelar moléculas mucho más largas aún. Las moléculas de este tipo $(-CC)_n$ con n suficientemente grande, constituyen una nueva variedad alotrópica del carbono sólido (en oposición al diamante y el grafito). Son los carbonos, estudiados recientemente en laboratorio.

4 - NACIMIENTO DEL SISTEMA SOLAR

Veamos ahora las consecuencias de este extraña química orgánica producida en el intenso frío del espacio interestelar, y de la que comenzamos a comprender poco a poco los mecanismos. Se cree ahora que el Sistema Solar ha debido nacer por la contracción, seguida del derrumbe sobre sí misma, de una nube oscura densa que contenía gas, polvo y, particularmente, esta gran abundancia de moléculas interestelares de las cuales acabamos de hablar. La contracción de la nube interestelar ha sido desencadenada probablemente por una causa externa (como ser: la onda de choque de una supernova o la onda gravitacional de un brazo galáctico); pero lo esencial para nosotros es que, cuando la nube se vuelve suficientemente densa como para ser opaca, como el efecto de la presión creciente aún no se hace sentir, *se enfria* por que no recibe más luz de las estrellas. Por esta causa se condensa una escarcha de moléculas interestelares sobre los granos de polvo, los que en sí son silicatos, sin duda con un poco de carbono, bajo la forma de carbinos.

Desde el derrumbe de la nube interestelar por su propia gravedad, se produce la formación del protosol central, rodeado de una nebulosa achatada por rotación; investigaciones recientes han mostrado que, tan pronto se ha formado el protosol, cesa la turbulencia en el gas de la nebulosa residual y los granos de polvo presentes sedimentan rápidamente en su plano ecuatorial. Construyen, en consecuencia, en torno al Sol, anillos semejantes a los de Júpiter y Saturno. Desde que hemos des-

cubierto anillos en tono a tres planetas gigantes (Júpiter, Saturno y Urano), se nos presentan cada vez más como un fenómeno general, y no es nada sorprendente que el Sol haya tenido también anillos temporarios. Un punto esencial: el cálculo muestra que estos anillos son los primeros que alcanzan (antes que el gas de la nebulosa) densidades tales que dan origen a inestabilidades gravitacionales. Estas desencadenan la aglomeración rápida de las nubes de polvo del anillo en múltiples objetos de 1 a 100 Km. de diámetro.

Estos miles de millones de pequeños objetos, que son todos minúsculos planetas que orbitan en torno al Sol, suelen llamarse "planetesimales". Ulteriormente, el barrido de los pequeños objetos por los más grandes provoca la aglomeración final de los planetas. Este fenómeno de barrido dura bastante tiempo, de tal suerte que la terminación de la aglomeración de los planetas se extiende sobre un periodo sumamente largo, unos quinientos millones de años o más aún para los planetas gigantes que se desplazan lentamente.

Las cicatrices de estos quinientos millones de años son todavía bien visibles: son los múltiples cráteres de impacto que se ven sobre la Luna, Mercurio, Marte y sus dos satélites Fobos y Deimos, y sobre algunos satélites galileanos de Júpiter y los satélites mayores de Saturno, es decir, sobre todos los objetos que tienen una corteza sólida y que hemos podido fotografiar. Las excepciones corresponden todas a procesos recientes que han podido cancelar los antiguos cráteres, como la erosión sobre la Tierra y el volcanismo sobre Io.

Volvamos ahora más detalladamente sobre el escenario del origen del Sistema Solar. Resulta claro que, una vez formada la nebulosa solar, los granos interestelares escarchados han seguido la contracción y son ellos los que sedimentan en anillos ecuatoriales. Las anomalías isotópicas detectadas recientemente en los meteoritos han confirmado plenamente este punto de vista.

Sin embargo, es preciso distinguir los anillos interiores y los exteriores, porque ha habido un importante gradiente de temperatura en la nebulosa pre-solar. Los anillos interiores han sido intensamente calentados: esto causa la pérdida de su es-

carcha aún antes de formar los planetesimales (muy cerca del Sol, sus silicatos pueden hasta llegar a ser parcial o totalmente vaporizados). Por el contrario, es necesario que exista una distancia tal que la temperatura sea suficientemente baja como para que la escarcha no se vaporice, o lo haga en mínima parte.

Esta región comienza aproximadamente a la distancia de Júpiter.

Como los granos de los anillos se acumulan en objetos de 1 a 100 Km de diámetro, resulta evidente que tales objetos quedarán tanto más acá como más allá de Júpiter. Los más próximos al Sol que Júpiter, "planetesimales" formados solamente de rocas, anuncian los planetas terrestres. Pero más allá de Júpiter, los granos no han perdido su escarcha y su aglomeración produce "cometesimales", mitad rocas, mitad hielos de agua y de gas solidificados, que no son otra cosa que cometas en su estado primitivo.

Para explicar la gran cantidad de hidrógeno y helio contenidos en Júpiter y Saturno, no resulta imposible que sea necesario invocar inestabilidades gravitacionales en *el gas* de la propia nebulosa, que habría originado en resumidas cuentas un sistema triple (si se cuenta también el Sol). Por el contrario, tanto las densidades de Urano y Neptuno como las de los grandes satélites de Júpiter y Saturno, corregidas gracias a los diámetros precisos medidos recientemente por los ingenios espaciales "Voyager" de la NASA, indican claramente que estos objetos, aún influenciados por la corta fase de alta temperatura de su planeta central, provienen de la aglomeración directa de cometas. Vamos a tratar ahora más detalladamente la aglomeración de los planetas terrestres.

5 - LOS PLANETAS TERRESTRES

La aglomeración de los planetas terrestres ha sido rápida: probablemente ya se había completado en un 90% en 10 millones de años y en un 99% en cien millones de años. Por el contrario, los planetas gigantes se acrecientan mucho más lentamente. Por largo tiempo han continuado esparciendo "cometesimales" a todo lo ancho del Sistema Solar, como consecuencia de sus intensas perturbaciones gravitatorias. El proceso de este esparcimiento se comprende bastante bien y la velocidad de difu-

sión de las órbitas puede ser calculada. El barrido final de los restos residuales esparcidos por los planetas gigantes, por parte de los planetas terrestres, ha durado probablemente más de quinientos millones de años. De acuerdo a las tasas de formación y las edades de los cráteres lunares, el bombardeo final de los planetas terrestres por los cometas se había cumplido en un 90% luego de quinientos millones de años y en un 99% después de mil o dos mil millones de años; en cierto sentido aún perdura, porque los cometas de corto período y los asteroides del tipo Amor y Apolo recorren órbitas inestables que tarde o temprano entrarán fatalmente en colisión con uno de los planetas terrestres.

Hay pocas dudas respecto del conjunto del escenario porque vemos por todos lados, en el Sistema Solar, cicatrices de esta fase final de la aglomeración de los planetas, bajo la forma de millones de cráteres de impacto grandes y pequeños. Sin embargo, ver esta aglomeración únicamente bajo forma de violentas colisiones con objetos de 1 a 100 Km, podría inducirnos a error. Sobre las fotografías de Fobos, vemos que hay toda una gama de cráteres cada vez más pequeños, hasta sólo algunos metros de diámetro.

Durante la exploración de la Luna, se han podido ver cráteres cuyos diámetros se extienden desde un metro a un centímetro. Finalmente, el estudio de las piedras lunares ha mostrado que ese bombardeo existe también para partículas que van del milímetro al micrómetro. Esto no debe sorprendernos, porque sabemos bien que la cola de los cometas dispersa mucho polvo en la vecindad de los planetas terrestres. ¡Bajo toda evidencia, el fenómeno debía ser mucho más espectacular hace cuatro mil millones de años, cuando mil cometas eran visibles simultáneamente en el cielo terrestre! Como hemos visto, era precisamente lo que debía suceder cuando, mientras la aglomeración de la Tierra había concluido virtualmente desde largo tiempo atrás, la de los planetas gigantes proseguía a la vez que éstos dispersaban miles de millones de "cometesimales" a través del Sistema Solar.

Brownlee, utilizando el avión U-2 de la NASA, encontró minúsculas partículas, probablemente polvillos cometarios, flotando levemente en la alta atmósfera terrestre. Esos pol-

villos, que no habían sido destruidos por su entrada en la atmósfera, son no obstante innegablemente extraterrestres, porque tienen la composición química de los meteoritos primitivos como las condritas carbonadas. En particular, las abundancias relativas de una veintena de metales se encontraban en proporciones estrictamente solares, lo que no sucede jamás para ninguna roca terrestre. Debe, por tanto, llegarse a la conclusión que, en los primeros quinientos millones de años de la Tierra, frenados por una atmósfera primordial o secundaria, miles de millones de toneladas de polvillos interplanetarios pudieron traer desde el espacio una cantidad de moléculas orgánicas que no han sido destruidas por el calor, tal como lo demuestran las partículas recolectadas por Brownlee. Sólo las partículas que tienen de un milímetro a un decímetro de diámetro forman estrellas fugaces o bólidos que arden totalmente. El problema del calor de la colisión con la atmósfera no existe tampoco para el núcleo de los meteoritos de dimensiones muy grandes (un metro o más). En efecto, se han encontrado aminoácidos intactos en las condritas carbonadas, y estos aminoácidos han venido incuestionablemente del espacio. Reconozcamos, pues, que la pretendida destrucción por el calor de la colisión con la Tierra, de todos los cuerpos orgánicos interestelares, es un falso problema que no resiste al análisis de las observaciones.

El origen de la corteza terrestre y los océanos, lo mismo que el origen de la atmósfera secundaria de la Tierra, reside entonces sin duda alguna en los cometas, desviados de sus trayectorias durante la aglomeración lenta de los planetas gigantes. Confrontando la difusión de los "cometesimales" con los datos de los cráteres lunares, George Wetherill ha demostrado no obstante que la difusión de los cometas durante la lenta aglomeración de Urano y Neptuno (mil millones de años) no puede explicar más que un uno por ciento de nuestra biosfera. Por el contrario, el barrido de los "cometesimales" por los embriones de Júpiter y Saturno, suficientemente rápido (cien millones de años) como para no poder ser identificado con una fase visible en el bombardeo de la Luna, podría explicar la totalidad de aquélla.

Un modelo simplista indica que

los cometas han podido traer sobre la Tierra un estrato de agua de uno o dos kilómetros de espesor, el que contenía especialmente un uno por mil de ácido cianhídrico y un uno por mil de formaldehído, así como una atmósfera de veinte a cien veces más densa que la atmósfera actual, la que contenía principalmente anhídrido carbónico y, en forma accesorio, nitrógeno. Es entonces razonable pensar que la atmósfera primitiva de la Tierra ha sido esta atmósfera secundaria proporcionada por los cometas y no una atmósfera primitiva proveniente del gas de la nebulosa solar.

Las ideas en lo concerniente a la atmósfera primitiva de la Tierra deben ser consideradas como en plena evolución; en particular, si parece cierto que la atmósfera no contenía oxígeno libre, por el contrario debía contener mucho menos hidrógeno de lo que se pensaba precedentemente cuando se hablaba de grandes cantidades de metano y de amoníaco que se creían provenientes del gas de la nebulosa solar primitiva (y no de los polvos escarchados proporcionados muy tarde por los cometas).

Otros indicios de que la Tierra no ha tenido una atmósfera proveniente del gas de la nebulosa primitiva es el agotamiento de los gases nobles *primordiales* en nuestra atmósfera; la abundancia de los mismos en el Universo es del orden de diez millones de veces mayor, de modo que nosotros no tenemos razón de llamarlos algunas veces gases *raros*! (Sin hablar del helio, el cuadro I muestra por ejemplo que el *neón* es más abundante que el *nitrógeno* en el Universo). El problema se complica por la presencia sobre la Tierra de gases nobles debidos a antiguas radiactividades, como el helio y el argón 40, que no son por consiguiente *primordiales*. No obstante, el agotamiento del argón 36, del kriptón y del zenón no puede ser explicada por pérdida exosféricas, porque estos gases son demasiado pesados. El ligero aumento de argón 36 en la atmósfera de Venus, en comparación con la de la Tierra, da probablemente la clave del origen de los gases raros: el viento solar violento que data del período T Tauri del protosol ha implantado una fracción variable de los mismos en objetos donde la gravitación era débil: los planetesimales.

Continúa en el próximo número

REVISTA ASTRONOMICA

Optica e Instrumentos Astronómicos

Conducido por la Subcomisión de Optica

UN GENERADOR DE FRECUENCIA VARIABLE PARA ALIMENTAR MOTORES SINCRONICOS

Es bien sabido entre los aficionados, que un telescopio montado ecuatorialmente debe compensar el movimiento aparente de la esfera celeste causando por la rotación de la Tierra, a los efectos de mantener en el campo visual el objeto que se está observando. Este movimiento consiste en una revolución alrededor del eje polar en aproximadamente 24 hs. La materialización de este movimiento suele realizarse mediante coronas dentadas, sinfines, engranajes intermedios, y finalmente un pequeño motor sincrónico. Estos motores tienen acoplada su velocidad de giro a la frecuencia de la línea de tensión, y su marcha es muy estable. Normalmente el aficionado diseña el sistema de engranajes de modo que el telescopio compense exactamente el movimiento aparente de las estrellas. No obstante la Luna, y en menor medida los planetas, tienen un periodo de giro ligeramente distinto, por lo que se requiere algún modo de alterar sutilmente la velocidad de giro del motor.

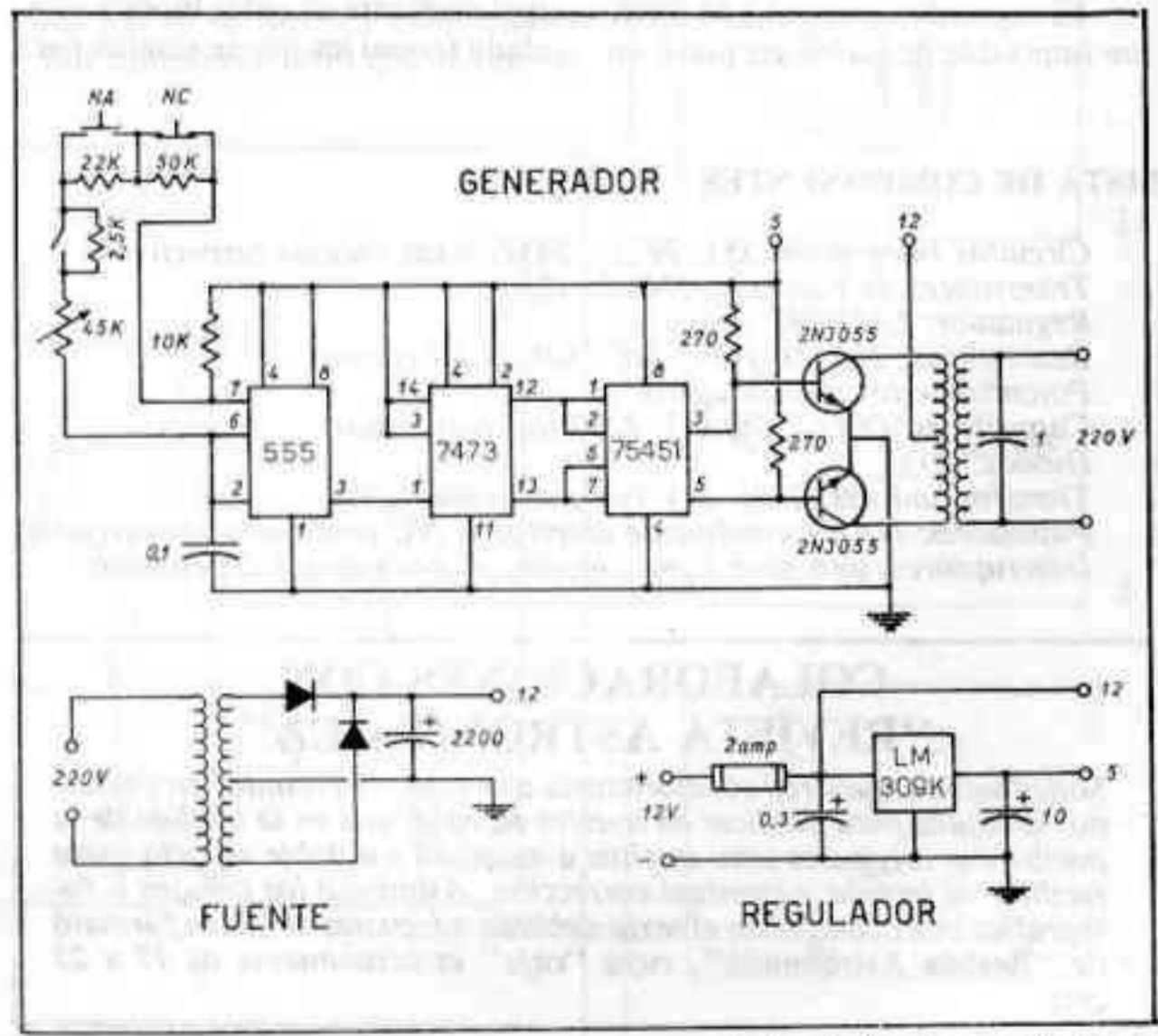
A menudo también, resulta imposible diseñar un sistema de engranajes viable que, partiendo de la velocidad nominal del motor, conduzca al giro deseado. En estos casos también lo más adecuado es utilizar los engranajes que más se aproximan a la solución deseada, y variar la velocidad de giro del motor para compensar la diferencia.

En ambos casos esto se logra variando la frecuencia patrón - normalmente de 50 ciclos- que alimenta el motor. Nuestro consocio Manuel López Álvarez publicó en REVISTA ASTRONÓMICA N° 194/5 el circuito de un generador de

frecuencia variable sobre la base de un oscilador R-C. El artículo que presentamos en esta oportunidad brinda un circuito alternativo mucho más simplificado que aprovecha la actual disponibilidad de circuitos integrados, esas diminutas maravillas producto de la revolución electrónica de las últimas décadas. El circuito descrito es una ligera modificación del diseñado por Richard M. Koolish, y publicado en SKY & TELESCOPE de diciembre de 1978. Las principales modificaciones consisten en un cambio de resistencias a los efectos de obtener 50

ciclos como frecuencia normal de salida en vez de 60 ciclos como la utilizada en USA. La figura 1 ilustra el circuito modificado.

Podemos dividirlo en las siguientes etapas. Primero, el transformador de entrada con el rectificador de onda completa provee 12V en corriente continua; a continuación el regulador entrega una tensión estable regulada de 5V para alimentar a los integrados. Los tres integrados 555, 7473, y 75451 generan una onda cuadrada; la frecuencia de la misma es regulada por la resistencia total entre las patas 6 y 7



del integrado 555; los dos transistores de potencia 2N3055 amplifican en potencia esta señal, y finalmente el transformador de salida eleva la tensión nuevamente a 220V para alimentar el motor.

Algunos detalles importantes

Como el generador propiamente dicho trabaja con una tensión de corriente continua de 12V, puede modificarse el circuito de modo que acepte directamente la tensión que provee una batería de auto (por ejemplo a través del toma del encendedor eléctrico del tablero) a los efectos de utilizarlo para un telescopio o astrógrafo portátil en el campo.

El transformador de salida debe ser de buena calidad, ya que debe brindar aproximadamente 220V de salida dentro de un rango de frecuencias variable. Transformadores de mala calidad suelen tener una dependencia muy fuerte de la tensión de salida con la frecuencia. En estos casos la tensión suele caer notablemente a bajas frecuencias, comprometiendo así la respuesta del motor.

Los integrados 555, 7473 y 75451 son fácilmente adquiribles en plaza. Conviene decididamente montarlos sobre una plaqueta mediante sus zócalos correspondientes. Ello elimina el peligro de dañarlos durante el soldado, a la vez que simplifica su eventual reemplazo en caso que alguno falle.

El regulador original LM 309K fue imposible de hallar en plaza en

el momento de construir el prototipo. De todos modos hay numerosos reemplazos. Lo importante es que provea +5V (cuidado!, hay reguladores que proveen -5V) estabilizados para alimentar los integrados, y que pueda afrontar los requisitos de corriente. El autor utilizó con éxito el regulador 7805CK.

Los dos transistores de potencia deben estar montados sobre elementos disipadores ya que generan abundante calor. Pueden adquirirse comerciales, o bien montarlos sobre chapas de aluminio. Cuidado, el cuerpo de estos transistores es normalmente el colector, por lo que el mismo debe estar aislado de tierra!

El capacitor de 1 mfd en el transformador de salida debe poder sobrellevar una tensión de ruptura del orden de los 600V (producto de la naturaleza cuadrada de la onda de salida). Por el contrario el capacitor polarizado de 2.200 mfd en el transformador de entrada debe resistir solamente 20V.

Calibración

Conviene armar el circuito principal en una caja metálica grande que contenga la plaqueta con los integrados y los dos transformadores. En su frente puede instalarse un interruptor maestro, y una luz piloto de neón. Por el contrario, las resistencias y los pulsadores que gobiernan la frecuencia de salida conviene armarlos en una pequeña caja de mano, conectada al cuerpo principal mediante un cable bipolar espiralado (como los que se venden para

teléfonos o guitarras eléctricas). En esta caja tendremos entonces como elementos de acceso exterior dos pulsadores para andar lento y rápido, una llave para periodo sidereo o lunar, y un potenciómetro para calibración.

La frecuencia de salida de la onda generada responde a la resistencia entre los bornes 6 y 7 según la siguiente ecuación:

$$f = 3600 / (R + 5)$$

donde f es la frecuencia resultante, y R es la resistencia total entre los bornes 6 y 7 medida en Kilohms.

Cuando la llave sidereo-lunar está cerrada, la resistencia total es de 67 K, y como resultado $f = 50$ ciclos. En la práctica se calibra esta salida accionando suavemente el potenciómetro de 45 K variable, hasta que el telescopio guie correctamente sobre las estrellas. Habiendo hecho esta calibración, al abrir la llave sidereo-lunar, la resistencia total pasa a ser de 69,5 K con lo que se obtiene una frecuencia de salida de 48,3 ciclos, la que representa un buen promedio para el desplazamiento lunar.

El pulsador NA (normalmente abierto) permite puentear la resistencia de 22 K, con lo que la resistencia total disminuye a 45 K y la frecuencia aumenta, a 72 ciclos, proporcionando una velocidad mayor para ajustes en el guiage. Inversamente al pulsar NC (normalmente cerrado), se intercala una resistencia de 50 K en serie, llevando la frecuencia a 30 ciclos, con lo que se disminuye momentaneamente la velocidad del mecanismo, posibilitando también correcciones en el guiage.

El circuito descrito es sumamente sencillo, y puede ser encarado con éxito incluso por aquellos aficionados sin ninguna experiencia previa en electrónica. Todo lo que se requiere es adquirir los componentes, un pequeño soldador eléctrico, y mucha prolijidad y meticulosidad en el armado, ya que si se procede desprolijamente, es muy posible omitir alguna conexión, o lo que es peor, conectar mal algún borne.

El prototipo construido por el autor ha resultado eficiente, brindando buenos servicios por la inversión relativamente baja que representa.

Lic. Alejandro Di Baja (h)
REVISTA ASTRONOMICA

LISTA DE COMPONENTES

Circuitos Integrados: 555; 7473; 75451, y sus zócalos respectivos

Transistores de Potencia: 2N3055 (2)

Regulador: LM309K

Resistencias: 270 (2); 10K; 22K; 50K; 2,5K (ohms)

Potenciómetro: de 50K aprox.

Capacitores: 0,1; 1; 10; 0,3; 2200 (microfaradios)

Diodos: (2)

Transformadores: 220V-24V con punto medio (2)

Pulsadores: NA (normalmente abierto), y NC (normalmente cerrado)

Interruptores: uno para Luna-Sidereo, y otro general del circuito

COLABORACIONES CON "REVISTA ASTRONOMICA"

Solicitamos a nuestros colaboradores que estén interesados en enviarnos artículos para publicar en nuestra Revista, que en la medida de lo posible los originales sean escritos a máquina y a doble espacio, para facilitar su lectura y eventual corrección. Asimismo los dibujos o fotografías que acompañen el texto deberán adecuarse al nuevo formato de "Revista Astronomía", cuya "caja" es actualmente de 17 x 25 cms.

Actividades Observacionales

Conducido por la Comisión de Observatorio

RESULTADOS DE LAS OBSERVACIONES DEL SOL: DEL 1/6/83 AL 31/8/83

Los resultados aquí presentados se obtuvieron por reducción y promedio de las observaciones realizadas por:

Miembros de la Subcomisión, con el telescopio Zeiss-Mannent de 160 mm, en la A.A.A.A., mediante Helioscopio de Colzi.

Observatorio de Capricornio (Brasil) con refractores de 56,50 y 117 mm.

Asociación Sigma Octantis (Bolivia) con un reflector de 200 mm.

W. Villar con un refractor de 40 mm.

M. Montemurro con un reflector de 100 mm.

En el gráfico 1, como de costumbre, se muestra la evolución del número de Wolf (NW, trazo continuo) número de manchas (NM, trazo de puntos) y del número de grupos (NG, trazo de líneas).

El número de Wolf promedio de este período es de 70, correspon-

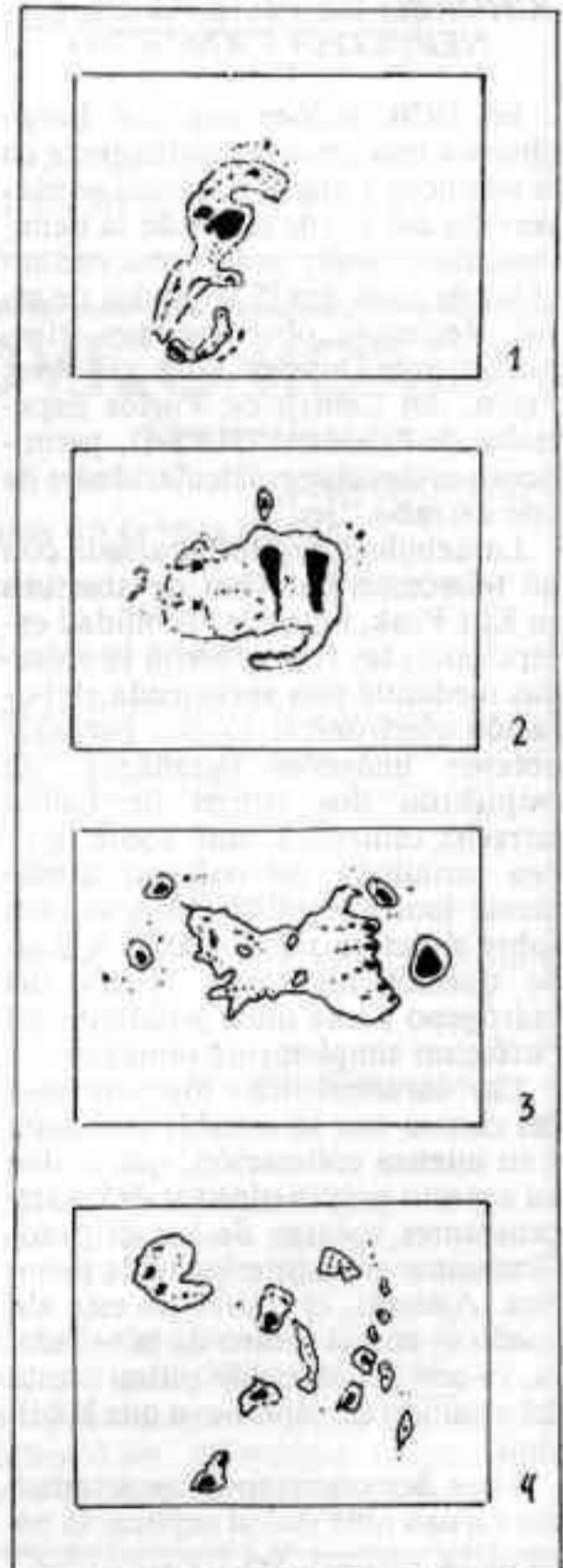
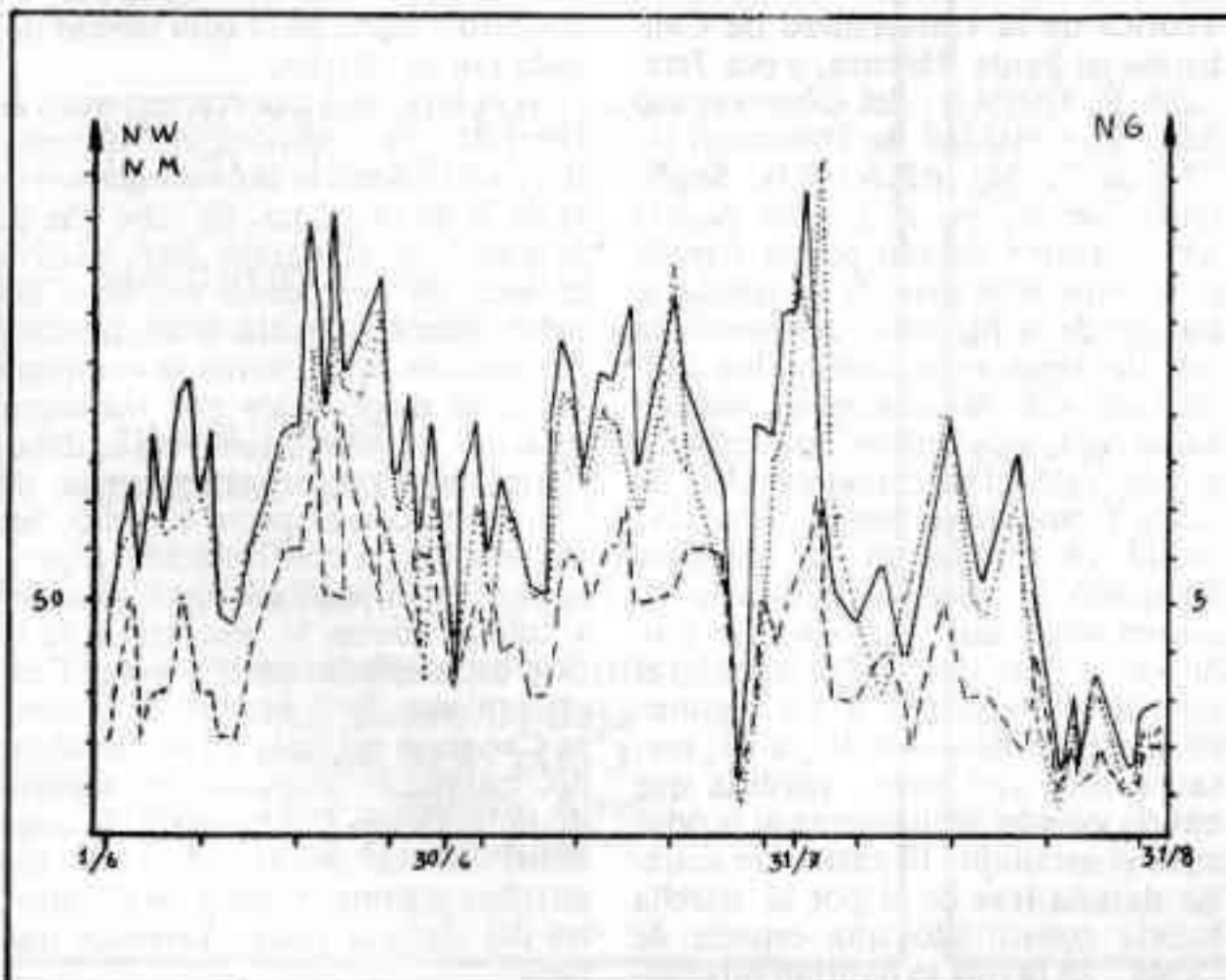
diendo 79 a Junio, 81 a Julio y 50 al mes de Agosto.

La distribución de los grupos desprendida de las observaciones realizadas en la A.A.A.A. es la siguiente: tipo A: 9%, tipo B: 10%, tipo C: 21%, tipo D: 14%, tipo E: 12%, tipo F: 10%, tipo G: 15%, tipo H: 6%, tipo I: 3%.

En el gráfico 2 se representan cuatro de los más notables grupos observados en este período. Los tres primeros fueron vistos en particular por M. Montemurro y el último desde nuestra Asociación. El primero y el segundo se registraron el 6/6, resultaron tener un área de 4.10₉ y 3.10₉ Km₂, respectivamente. Ambos grupos se encuentran en la etapa E de su desarrollo (una antes de la de máxima extensión, F). En el tercer dibujo se observa nuevamente el segundo grupo cuatro días después; nótese los grandes cambios que ha sufrido en su forma y complejidad. Por último el cuarto que se registró

el 13/8 es del tipo G, éste fue uno de los pocos grupos de gran tamaño observado en la última parte del período.

Agradecemos a todos los que contribuyeron con sus trabajos y nuevamente volvemos a invitar a quienes lo deseen a colaborar con nosotros.



ECLIPSE PARCIAL DE LUNA

por Flavio Del Val
y Ricardo Hil Hutton

Esta fotografía fue tomada durante el eclipse del 25 de junio de este año, a las 8 hs. 22 min. de TU con película sensible al infrarrojo (de 9.000 a 11.000 Angstroms), con un telescopio de 30 cm. de diámetro.

Algo interesante para hacer notar es que, como la Luna no tiene atmósfera, durante los eclipses la zona oculta por la sombra terrestre se enfría muy rápidamente y pierde gran cantidad de radiación infrarro-

ja; en cambio la parte que queda iluminada mantiene su alta temperatura, y su emisión en infrarrojo. Por lo tanto, analizando la fotografía, puede verse que de izquierda a derecha la temperatura decrece rápidamente.

Fotografía tomada desde nuestra Asociación, con el telescopio Cancela, de 30 cm. de diámetro, F/D=6 en foco primario, con película Kodak High Speed Infrared, con un filtro CM90 y 1/30 Seg. de exposición, revelada con D-76 Dis. 1:1



Noticiero Astronómico

CHORRO DE PLASMA EN LA NEBULOSA CANGREJO

En 1970, Sidney van den Bergh observó una tenue protuberancia en la nebulosa Cangrejo, la que se proyectaba del borde norte de la nebulosa, mostrando una forma rectangular de unos 45x75 segundos de arco. Recientes observaciones efectuadas por Theodor Gull y Robert Fesen, del Centro de Vuelos Espaciales de Goddard (NASA), permitieron evidenciar particularidades de este extraño "jet".

La nebulosa fue fotografiada con un telescopio de 90cm de abertura en Kitt Peak, lugar de visibilidad excepcional; las fotos fueron procesadas mediante una sofisticada elaboración electrónica, lo que permitió obtener imágenes detalladas. Se emplearon dos filtros de banda estrecha centrados, uno sobre la línea prohibida del oxígeno doblemente ionizado (5005 Å), y el otro sobre el entorno de los 6563 Å donde quedan las rayas H-alfa del hidrógeno y una línea prohibida del nitrógeno simplemente ionizado.

Las características más curiosas del chorro son su notable extensión y su intensa colimación, que le dan un aspecto muy distinto al de las serpenteantes volutas de los delgados filamentos en el interior de la nebulosa. Además, el chorro no está alineado ni con el centro de la nebulosa, ni con su conocido pulsar, resto del estallido de supernova que la originó.

Tales desconcertantes características tornan muy difícil explicar la naturaleza y origen del chorro. Gull y

Fesen, en su artículo del "Astrophysical Journal Letters" consideran tres posibilidades: 1)- una emisión anómala de materia a velocidad particularmente elevada por la supernova originaria; 2)- un evento explosivo completamente independiente de la supernova; 3)- una inestabilidad en el plasma que compone la nebulosa Cangrejo, hipótesis que parece la más interesante, aunque encuentra algunas dificultades para explicar la forma del chorro y las características de su espectro.

Otra idea interesante ha sido propuesta recientemente por Roger D. Blandford, Charles Kennel y Christopher McKee del Instituto de Física Teórica de la Universidad de California en Santa Bárbara, y por Jeremiah P. Ostriker, del Observatorio de la Universidad de Princeton (v. "Nature", 301 p586-1983). Según estos científicos, el chorro podría ser un rastro dejado por la estrella cuya explosión generó la nebulosa. Parten de la hipótesis de que dicha estrella haya transcurrido los últimos años de su existencia como gigante roja, moviéndose en el espacio a una velocidad cercana a los 30 km/s (compatible con la velocidad radial observada en la nebulosa Cangrejo y con su distancia al centro galáctico). En esta fase evolutiva las estrellas pierden masa en el espacio circundante a un régimen bastante elevado —de 10_4 a 10_5 masas solares por año— pérdida que habría cesado súbitamente al producirse el estallido. El rastro de materia dejado tras de sí por la estrella habría constituido una especie de "cola" en la que se habrían difundi-

do al comienzo las ondas de choque de la explosión y luego un frente de ionización debido a la emisión U.V. de la nebulosa. La onda de choque habría destruido parte de la citada "cola" y lo que vemos hoy es sólo el muñón final de la misma, que los científicos aludidos estiman separado del borde de la nebulosa unos 5 pc., aunque parecería salir de ella sólo por un efecto de perspectiva.

¿Cómo explicar entonces la falta de alineación entre el chorro y el centro de la explosión? Los autores de la hipótesis atribuyen esto a diferencias de velocidad en el flujo del medio interestelar a lo largo del rastro, que habrían "soplado de costado" parte de la cola de gas dejada por la estrella.

Si la hipótesis que comentamos es correcta, la composición química del chorro debería diferir ligeramente de la de nebulosa. Se sabe que en la nebulosa Cangrejo hay relativa escasez de hidrógeno respecto del helio, mientras que son abundantes los metales. Si el chorro se compone de gases dispersados por las capas externas de una gigante roja, debería acusar mayor abundancia de hidrógeno con respecto al helio. Sería una buena confirmación experimental de la hipótesis de Blandford y colaboradores la revelación de la diferencia citada; pero si se verificara la misma, la "cola" de la nebulosa Cangrejo no sería un hecho aislado, habiendo sugerido los autores de la hipótesis la búsqueda de tales colas en la proximidad de las estrellas gigantes rojas y en el entorno del sistema solar. Veremos qué pasa.