

# COLABORACIONES



En el pasado noviembre se celebraron en Santander las III JORNADAS CIENTIFICAS de la Asociación Meteorológica Española. El tema general fue EL MEDIO AMBIENTE ATMOSFERICO. Entre las documentadas conferencias que allí se dieron hubo una que tocó el tema al nivel de macro-meteorología, exponiendo ideas nuevas sobre la posible génesis de los ciclones tropicales. Dado el interés de estas terribles perturbaciones para la navegación marítima, sintetizaremos en nuestra Revista lo que nuestro compañero el Meteorólogo Dr. Mariano Medina, Jefe del Centro de Análisis y Predicción, dijo sobre el particular. Y lo haremos en tres partes, la primera de las cuales incluimos a continuación.

## LOS CICLONES TROPICALES, MECANISMO COMPENSADOR DEL MEDIO AMBIENTE ATMOSFERICO: UNA POSIBLE TEORIA SOBRE LA GENESIS DEL CICLON (I)

### I. EL CICLON TROPICAL EN LA CIRCULACION GENERAL

Los fenómenos naturales, por devastadores que sean, nunca son caprichosos ni son el resultado de un azar. Todos tienen su porqué; y ese porqué está incluido en un plan general de equilibrio que tienen un fin primordial: Mantener el planeta Tierra apto para la vida humana, tal como la conocemos.

La tormenta fue considerada, durante siglos, simplemente como un desastre, se echaba o no la culpa a algún dios vengativo y cruel. Pero llegó el siglo XIX y el francés Pedro Lemonnier encontró que podían obtenerse descargas eléctricas sin que hubiese nubes en el cielo. Se descubrió así el **campo eléctrico** terrestre. Ya conocen ustedes el símil: la Tierra con su atmósfera forma un gigantesco condensador, cuyas armaduras son el suelo y la capa ionosférica «E» de Heaviside-Kennelly, situada entre los 80 y 100 kilómetros de altura, con el aire como dieléctrico. La diferencia de potencial entre las armaduras se estima, como es sabido, en unos 200.000 voltios. En este campo eléctrico, permanente aunque variable, vivimos sumergidos, de donde se infiere que es necesario para que nuestra vida exista como es. Sin embargo, pronto apuntó alguien que el aire, por tener **iones**, no es del todo aislante; y no faltaron los estudiosos que echaron números y demostraron que, si no había un mecanismo de recarga, ese condensador se descargaría en menos de 15 minutos, desapareciendo el campo eléctrico terrestre. Fue Wilson, célebre por su cámara de ionización, quien sugirió la idea de que para evitar eso están las tormentas: «Las cargas negativas de la base de la tormenta atraen las positivas del suelo y las neutralizan, quedando la superficie terrestre cargada negativamente.» Pues bien, cada año, unos 16



millones de tormentas (casi 2.000 por hora) se encargan de mantener el campo eléctrico total de la Tierra. La obra del Creador no dejó cabos sueltos; las tormentas tienen una misión importantísima como acondicionadores ambientales de una Tierra habitable: nada menos que el mantenimiento del campo eléctrico en cuyo interior vivimos y que es del todo indispensable.

Ahora bien; esta acción beneficiosa de las tormentas sobre el medio ambiente, muy superior a los desastres que a veces provocan, ¿puede generalizarse a otros fenómenos catastróficos y, particularmente, a los ciclones tropicales? Creemos que sí. En efecto, sabido es que una de las tres aparentes paradojas que ha de explicar cualquier esquema de Circulación General Atmosférica es la siguiente: los vientos del E son de por sí más enérgicos y soplan sobre la superficie terrestre en áreas mayores que los del W. Aquéllos, al rozar, frenan más a la Tierra (que gira de W a E) que lo que la aceleran los ponientes, por lo que debería disminuir incesantemente la rotación terrestre. Sin embargo, ésta es, en promedio y para efectos meteorológicos, constante. Además está demostrado que si no existiese un mecanismo capaz de mantener y acelerar los vientos del W, éstos cesarían en quince días, y la Tierra sería incesantemente frenada por los vientos del E.

Pero la disposición natural de nuestra atmósfera está perfectamente diseñada. Así resulta que puede demostrarse matemáticamente y está comprobado experimentalmente, que en las capas altas de la Troposfera en general y con una intensidad máxima al nivel de la Tropopausa, los vientos dominantes son de poniente en toda la redondez de la Tierra. Estos ponientes de arriba frenan a los levantes y aceleran a los ponientes que tienen debajo, formando parte del mecanismo mantenedor de la rotación terrestre. Pero sólo parte. Porque el mecanismo acelerador de los ponientes es bastante complejo. A nuestro juicio consta de cuatro acciones principales; tres de ellas **regulares** y una **ocasional**. En primer lugar hay una acción continua, ejercida por los ponientes generales de la alta Troposfera. En segundo lugar, una acción **pulsante**, ejercida mediante las «corrientes en chorro». Hay una tercera acción **estacional**, ejercida en verano por el monzón del Indico. Y, por fin, una cuarta acción **ocasional**, ejercida por ciclones tropicales, que entran en acción en uno y otro hemisferio en cuanto las condiciones generales de equilibrio lo requieran.

La acción continua de los ponientes generales de la alta Troposfera, ya la hemos visto, bien que someramente.

Es complementada por la acción **pulsante** de las corrientes en chorro polares, que regulan el equilibrio entre levantes árticos y ponientes templados: cuando los levantes árticos arrecian, el frente polar, y con él el eje del chorro polar, se desplaza hacia el Ecuador, estrechando la zona de los ponientes al mismo tiempo que ensancha la de los levantes, amainando éstos y arreciando aquéllos. Si no es suficiente o si resulta excesivo, frente y chorro se ondulan empujados por el aire frío en el primer caso o por el aire templado en el caso segundo y aparecen en las capas bajas «borrascas ondulatorias» en las que se enrollan ciclónicamente los levantes árticos, originándose fuerte convergencia que transforma energía en lluvias; y si es necesario, se rompe el chorro y el aire polar penetra por la brecha hacia la Zona Templada, arremolinándose en «gotas frías» que gastan energía en hacer llover y nevar y mezclándose, al fin, con el aire templado. Si los que arrecian son los levantes intertropicales, es decir, los alisios, aumenta la convergencia en la Z.C.I.T. por abajo y la divergencia al nivel de la Tropopausa; surge entonces el chorro intertropical,



que acelera los ponientes en su nivel. La aparición de ese chorro va unido a fuertes tormentas que consumen enormes cantidades de energía, debilitando a los alisios.

A pesar de todas estas acciones, en promedio a lo largo de meses pueden más los levantes que los ponientes; y la Tierra, en promedio, es frenada. Surge entonces el monzón de verano del Indico como mecanismo **estacional** de compensación, **que no sólo destruye el alisio allí, sino que le sustituye por un fortísimo SW** que, además, saca aire de las zonas de los alisios **de ambos hemisferios** y lo mete en la Zona Templada o de los ponientes del hemisferio Norte.

Pues bien; normalmente, todo ello no basta, por lo que salta el mecanismo **ocasional** de disparo que genera los ciclones tropicales. Estos, actuando como descomunales batidoras, revuelven el aire de los alisios rompiendo la uniformidad de la corriente y consumiendo apocalípticas cantidades de energía. Hacen, además, de ciclópeas chimeneas que lanzan el aire a las alturas robándole a los propios alisios y dándoselo a los contralisios (que son de poniente), acabando aquéllos por amainar lo necesario al disminuir su masa y su energía. El número e intensidad de estoss ciclones es muy variable de unos años a otros. Porque, ya le hemos dicho, no es un fenómeno debido al azar; tiene un misión que cumplir: es un mecanismo compensador que forma parte del perfecto engranaje que hace de la Tierra ese **paraíso azul** de que hablaban los astronautas del «Apolo XII» desde su cápsula espacial.

Por ello, los intentos de modificar artificialmente los ciclones tropicales deberán ir precedidos de estudios minuciosos para no trastocar ese equilibrio general en forma grave, que traería consigo una modificación, quizá esencial, de las condiciones ambientales necesarias para que sea habitable nuestro planeta.

(Continuará.)

**MARIANO MEDINA**



# COLABORACIONES

## LOS CICLONES TROPICALES, MECANISMO COMPENSADOR DEL MEDIO AMBIENTE ATMOSFERICO: UNA POSIBLE TEORIA SOBRE LA GENESIS DEL CICLON (II)

### II. ALGUNAS NUEVAS IDEAS SOBRE UNA POSIBLE GENESIS DEL CICLON TROPICAL

Acabábamos nuestro anterior artículo diciendo que los intentos de modificar artificialmente los ciclones tropicales deberán ir precedidos de estudios minuciosos para no trastocar el equilibrio general en forma grave, que traería consigo una modificación, quizá asencial, de las condiciones ambientales necesarias para que sea habitable nuestro planeta.

Parece que hay una saludable tendencia actual a incrementar el **diagnóstico precoz** de un ciclón para reducir sus catastróficos efectos previendo su trayectoria e incluso desviándola, en un futuro, de lugares habitados, en vez de tratar de modificarle o destruirle una vez formado. El principal obstáculo para ese diagnóstico lo ha explicado claramente el gran meteorólogo británico O. G. Sutton, al referirse a una de las características más notables que diferencian a la simple borrasca tropical, que tiene «ojo» frío, del ciclón tropical, que lo tiene cálido.

Dice Sutton: «El único mecanismo que puede originar tan altas temperaturas es la compresión adiabática del aire descendente. Fuera del «ojo» del ciclón, el aire asciende y condensa su vapor en nubes; dentro del mismo, el aire desciende y se calienta por compresión adiabática. La formación del **ojo cálido** es la fase final y más crítica de la transformación de una borrasca tropical en un ciclón. Una vez formado, no parece haber límite para la fuerza del viento... El defecto de esta teoría es (sigue Sutton) que no se propone ningún mecanismo que explique la formación del **ojo cálido**, por lo que no hay criterio para decidir si una borrasca tropical llegará, o no, a convertirse en ciclón.»

Las ideas que vamos a esbozar tratan de dar una posible explicación de tal mecanismo desconocido. No es más que una «primera idea», pues no hemos contado ni con tiempo ni con material adecuado para intentar una comprobación. Como tal, la exponemos aquí. Veamos los hechos:

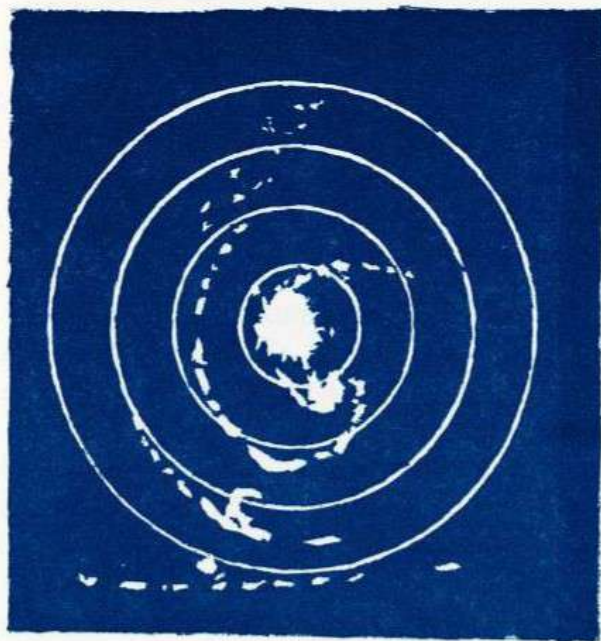
1.º Las fotografías desde satélites artificiales y desde cohetes, nos muestran una imagen del ciclón en forma espiral nubosa amazacotada, que parece confirmar el esquema clásico del ciclón: Un ojo central, sin nubes, rodeado por todas partes de espesas masas nubosas que, en conjunto, se despliegan en espiral.

2.º No es este tipo de fotografías el procedimiento ideal para la observación de ciclones tropicales. Las cámaras de televisión de que va provisto el satélite o la película cine-



matográfica del cohete captan todo lo que refleja la luz, de manera que las nubes de gran desarrollo vertical quedan enmascaradas por espesos jirones de nubes que arrastra el viento. Es el «radar» meteorológico el instrumento adecuado. Nuestro compañero, recientemente jubilado, José María Jansá, escribía ya en 1956 en «Revista de Aeronáutica»: «Donde el radar ha demostrado de modo más brillante su eficacia ha sido en el campo de los ciclones tropicales. Estos meteoros encajan con toda propiedad dentro del dominio de la Meso-Meteorología; por sus cortas dimensiones **se escapan** a través de las mallas de la Red sinóptica, o por lo menos no se dejan captar con detalle; por otra parte, el fenómeno supera considerablemente las posibilidades de la observación local; en cambio, la pantalla del radar proporciona una visión panorámica, una imagen completa y magnífica...» Y añade después: «Hemos de recordar que los espacios vacíos en la pantalla PPI no significan carencia de nubes, sino ausencia de precipitación (interna o externa) y que, en general, hay que imaginárselos rellenos por nubosidad estratiforme». Y, a continuación, el párrafo del artículo de Jansá que consideramos fundamental para nuestro propósito: «La existencia de **dos** brazos espirales como elementos fundamentales de la estructura del ciclón, **debe reputarse como un hecho nuevo en Meteorología**, cuyo descubrimiento se debe exclusivamente al uso del radar».

La «radarscopia» con longitudes de onda entre 3 y 10 cm., sólo ofrece, según es sabido, la imagen de las nubes que son tormentosas, ya que sólo delata lluvia y granizo.



En la figura hemos reproducido la imagen del ciclón «Dolly», del 10 de septiembre de 1953, tomada del mismo artículo de Jansá. Imágenes como ésta no son fáciles de obtener, pues es evidente que está captada en las inmediaciones del ojo del ciclón, ya que dicho ojo aparece muy próximo al centro de la pantalla PPI, cuyo centro es la imagen del propio emisor del radar. En dicha imagen las manchas se alinean en dos ramas distintas de curva espiral, que parten en dos manchas espesas, grandes y nítidas, bien diferenciadas, **entre las cuales queda un espacio vacío que es el «ojo»**. Esto es, creemos, muy importante: El ciclón no es una chimenea vacía, rodeada por todas partes de cúmulonimbos, según el esquema clásico, sino que **hay dos núcleos principales de ascendencia** entre los cua-

les está el «ojo». Sólo vemos una posible interpretación: **El ciclón está formado por dos borrascas o depresiones tropicales** de ojo frío, muy próximas entre sí, separadas por un espacio (que no es cilíndrico) en el que hay descendencia **vertical** del aire, con compresión adiabática que lo calienta y deseca. Este espacio es el famoso «ojo cálido» sin nubes y sin movimiento horizontal del aire, es decir, **sin viento**. Hemos, pues, de concluir que: «El ciclón surge de la unión de dos perturbaciones tropicales menores». Obsérvese, en apoyo de esta conclusión, que la mancha a la que corresponde una «cola» corta es mucho más extensa y fuerte que la otra que tiene cola mucho más larga. Incluso es muy probable que los trozos de rama suelta que se ven a la izquierda de la figura, sean núcleos tormentosos viejos desgajados de dicha «cola» larga. La impresión es de que la mancha de cola corta corresponde a una perturbación mucho más joven y vigorosa que la otra, que parece vieja. ¿Cómo podrá ocurrir esta unión?

(Continuará.)

**MARIANO MEDINA**



# COLABORACIONES



## LOS CICLONES TROPICALES, MECANISMO COMPENSADOR DEL MEDIO AMBIENTE ATMOSFERICO: UNA POSIBLE TEORIA SOBRE LA GENESIS DEL CICLON (III)

### III. UN POSIBLE MECANISMO DE FORMACION DEL CICLON TROPICAL

En el número anterior de la Revista llegábamos a la conclusión de que «El ciclón surge de la unión de dos perturbaciones tropicales, menores, y acabábamos preguntándonos. ¿Cómo podrá ocurrir esa unión?».

Veamos: Las perturbaciones atmosféricas más frecuentes, en las regiones intertropicales, son las «ondas del Este»; que, naturalmente, se propagan hacia el W, aunque con menos velocidad que el alisio. Estas «ondas del E» originan nubes tormentosas que rompen la «inversión» típica del alisio. La «convergencia» ocurre en la parte oriental de la onda, **detrás del surco**, mientras que al otro lado hay divergencia; por eso las tormentas se forman detrás de la onda (fig. 1). Esta casi siempre se ahonda y llega a independizarse un vórtice cerrado de baja presión, que se suele llamar «depresión tropical» si los vientos no superan los 20 nudos y «borrasca tropical» si superan los 20, pero no los 65 nudos (118 km/h.) Sólo se superan notoriamente los 65 nudos si se trata de un ciclón tropical. Pero éste ya tiene una estructura esencialmente distinta de la «onda», de la «depresión» y de la «borrasca» tropical. ¿Cómo se formará?



Fig. 1

Partimos de la base que toda corriente del E lleva en sí misma, latente, el germen de su propia destrucción. Basta que se forme una ondulación acusada, para que los tramos de corriente meridiana se enrollen y rompan la circulación. En efecto: si en la co-



riente del sur consideramos un rosario (curva cerrada) de partículas en un plano paralelo al suelo, su traslación hacia el N hace disminuir el área de la proyección de la curva cerrada sobre el plano del Ecuador, lo que provoca (por el segundo teorema de Bjerkness) una circulación anticiclónica de las partículas. Por el contrario, toda traslación hacia el sur (tramo de onda con vientos de componente N) provoca una circulación ciclónica: La onda tenderá a hacerse más pronunciada y pronto se romperá, formándose dos remolinos: Uno anticiclónico al E y otro ciclónico al W. El primero será absorbido por el anticiclón tropical que hay en latitudes inmediatamente superiores a la zona de los alisios. El segundo quedará como una perturbación aislada, entre la cual y el Ecuador se rehace la corriente uniforme del alisio (fig. 2), ya que la causa que origina ésta no cesa jamás (primer teorema de Bjerkness). Este vórtice ciclónico es de ojo frío, evidentemente; es decir, es una «depresión tropical», o en su caso, una «borrasca tropical», origen de nubes de gran desarrollo vertical.



Fig. 2

Lo más frecuente es que no pasen de ahí las cosas. Pero si el alisio está recibiendo un exceso de energía, es decir, si es generado **demasiado deprisa**, aumenta el caudal y las líneas de corriente se deforman abriéndose en delta y apareciendo «un vientre entre dos nodos», es decir, iniciándose una nueva onda, que si es suficientemente marcada para que sea apreciable el efecto del segundo teorema de Bjerkness se repetirá el proceso antes descrito y la onda se romperá, volviendo a quedar suelto un nuevo remolino ciclónico. Nada especial ocurrirá si el tiempo transcurrido entre la aparición de dos de éstos remolinos ciclónicos es inferior a la **vida** del primero. Pero si no sucede así se encontrarán dos o más de ellos sueltos y aproximadamente en la misma latitud. Y entonces todo es cuestión de medidas: Si se independiza uno nuevo a una distancia de otro viejo, tal que pueda surgir una interacción entre ellos, el ciclón tropical puede nacer, pues ambos remolinos tenderán a aproximarse como atraídos el uno por el otro, y sin que, normalmente, se aprecie el proceso en los mapas sinópticos, entre cuyas mallas puede perfectamente escaparse uno de los vórtices, quizá el más joven, pasando desapercibido.

El modo de realizarse esa «interacción» no es difícil de imaginar, ya que se trata del conocido problema de **dos torbellinos que se acercan** y, según la Cinemática, ambos tenderán a dilatarse y a retrasar su marcha, de modo que se acercan sin cesar, pero sin poder llegar a juntarse. En el espacio que queda entre ambos, se enfrentan las descenden-



cias de los correspondientes bordes de las depresiones, reforzándose el movimiento vertical de descenso, por lo que será un espacio sin nubes ni viento horizontal y con aire caliente: nace así el «ojo cálido» del ciclón.

El conjunto, entonces, es ya una sola perturbación y, según la teoría del desarrollo de Sutcliffe, marchará en seguimiento del viento térmico y hacia donde éste sea más fuerte, con lo que cambia el problema cinemático al caso de «dos torbellinos próximos que marchan en el mismo sentido».

La solución, también conocida por Cinemática, es complicada y muy curiosa: El torbellino de delante se ensancha y retarda y el de detrás se contrae y acelera hasta «enhebrarse» con el primero, pasándole y adelantándose, invirtiéndose entonces los papeles y repitiéndose indefinidamente el juego del adelanto alternado. Según el segundo teorema de Bjerkness, al dilatarse el de delante surge en él una aceleración de la circulación anticiclónica; mientras que al contraerse el de detrás, se acelera su circulación ciclónica. Cuando el torbellino delantero se dilata, el efecto del segundo teorema de Bjerkness frena el movimiento ciclónico, y hasta es posible que se inicie una débil circulación anticiclónica.

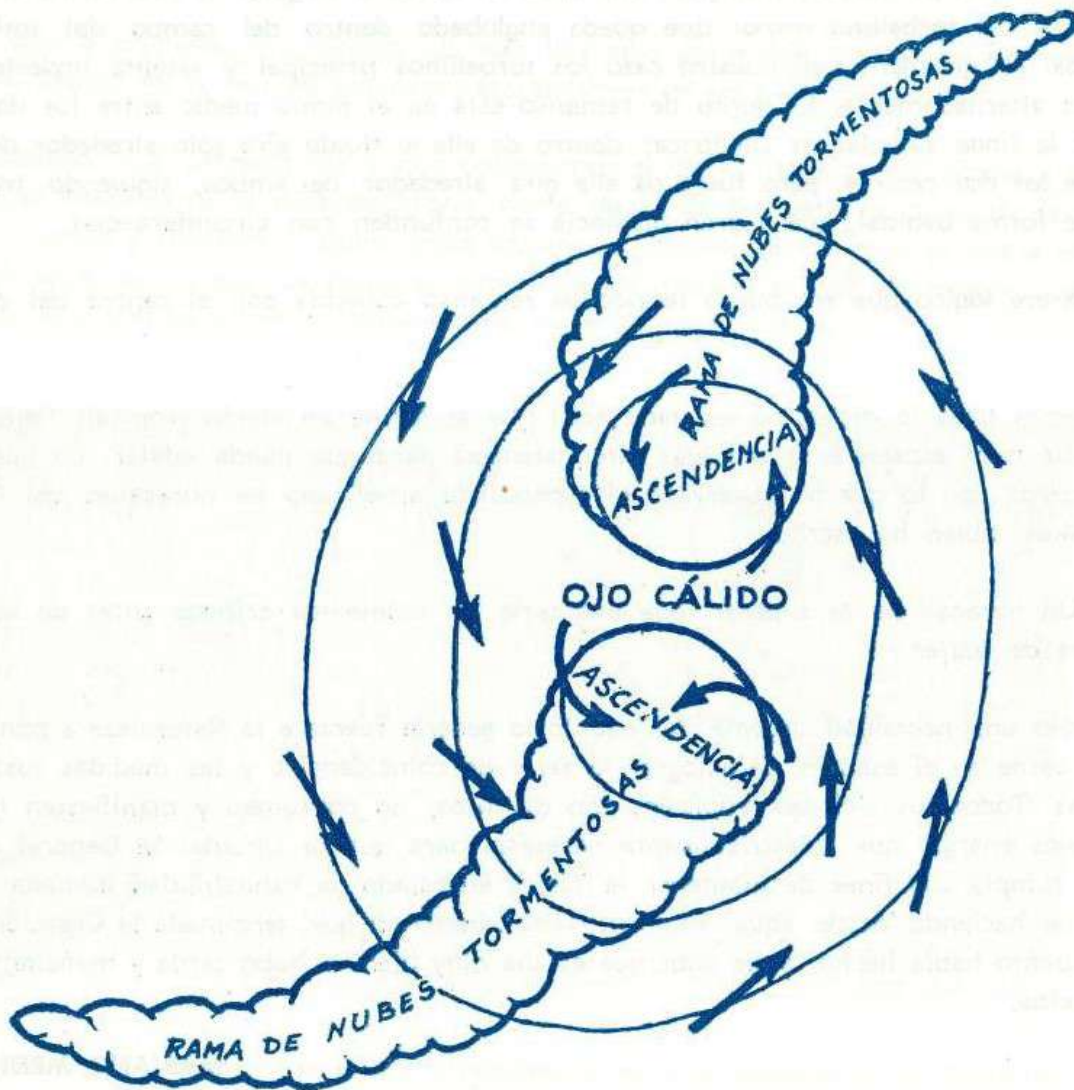


Fig. 3



En cualquier caso, esa tendencia permite el acercamiento y «enhebrado» del de detrás, que se ha acelerado en su movimiento ciclónico al contraerse, convirtiéndose en un torbellino circular en el que el viento penetra según líneas de corriente, que son espirales logarítmicas. Resultan, pues, un torbellino enérgico y otro débil. El resultado es como si al mismo tiempo que el conjunto avanza, ambos vórtices **rodaran** alrededor del ojo cálido, que debe angostarse al máximo y prácticamente desaparecer en el momento del adelanto (en algunas fotos desde satélites no llega a distinguirse el ojo, mientras en otras se le ve claramente); y manteniéndose siempre los dos sistemas de nubes tormentosas en puntos diametralmente opuestos del borde que mira al ojo cálido (donde hay descenso y divergencia) (fig. 3). Según esto parece que las dos ramas tormentosas deben girar anticiclónicamente alrededor del ojo cálido. Y sólo cuando la línea que une sus centros está perpendicular a la trayectoria de traslación del conjunto, ambos vórtices tendrán circulación ciclónica por igual. En las demás posiciones uno es enérgico y el otro débil. Y ¿cómo circulará el aire en la perturbación así obtenida? Tampoco esto parece ofrecer mayor dificultad, pues es un problema también resuelto por la Cinemática: es el caso de «doble giro irrotacional», aplicable a una depresión principal acompañada de otro mínimo barométrico satélite. La solución muestra la existencia de un punto de remanso entre los dos torbellinos, por cuyo punto pasa una línea de corriente singular, la cual forma un bucle alrededor del torbellino menor que queda englobado dentro del campo del torbellino principal. Naturalmente, en nuestro caso los torbellinos principal y satélite invierten sus papeles alternadamente. El punto de remanso está en el punto medio entre los dos centros y la línea singular es simétrica; dentro de ella el fluido gira sólo alrededor de cada uno de los dos centros, pero fuera de ella gira alrededor de ambos, siguiendo trayectorias de forma ovoidal, que a gran distancia se confunden con circunferencias.

Parece lógico que ese punto teórico de remanso coincida con el centro del ojo cálido.

Según todo lo dicho, no es nada fácil que se forme un ciclón tropical; tienen que coincidir muy especiales y medidas circunstancias para que pueda cuajar. Lo cual está de acuerdo con lo que ha observado el especialista americano en huracanes del Caribe, J. Malkus, quien ha escrito:

«Un huracán ha de superar toda una serie de momentos críticos antes de adquirir nombre de mujer.»

Sólo una necesidad urgente del equilibrio general fuerza a la Naturaleza a poner «toda la carne en el asador» para lograr la serie de coincidencias y las medidas justas necesarias. Todos los ciclones tropicales son distintos; no consumen y manifiestan ni más ni menos energía que la estrictamente necesaria para que la Circulación General Atmosférica cumpla sus fines de mantener la Tierra en estado de habitabilidad humana. Como lo viene haciendo desde aquel momento del Génesis en que, terminada la Creación, «vio Dios cuanto había hecho; y he aquí que estaba muy bien. Y hubo tarde y mañana; era el día sexto».

**MARIANO MEDINA**