CB 1013240
R°.- 2.453/F
Sig.: M(041)

CENTRO DE ANALISIS Y PREDICCION

-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-

Notas de Meteorologia Sinoptica

- 15 -

PROBLEMAS NO RESUELTOS SOBRE TIEMPO Y CLIMA. PRESPECTIVAS DEL CONTROL Y L. DICCION DEL TIEMPO

MADRID
Marzo 1.964

Estas Notas son de circulación limitada, exclusivamente para fines de información.

PROBLEMAS NO RESUELTOS SOBRE TIEMPO Y CLIMA. PERPECTIVAS DEL CONTROL Y LA PREDICCION DEL TIEMPO.

Por R.C. SUTCLIFFE, Director de Investigación del British Meteorological Office.(*)

INDICE

	Pág.
I)PROBLEMAS NO RESUELTOS SOBRE TIEMPO Y CLIMA	1
Circulación general	2
Monzones	3
Depresiones y anticiclones	4
Huracanes Tropicales	5
Chubascos y tormentas	5
La máquina térmica de la atmósfera	6
II) PERSPECTIVAS DEL CONTROL Y LA PREDICCION DEL TIEMPO	6
Perspectivas del control local del tiempo	6
Ideas para controlar el tiempo en gran escala	7
Predicción del tiempo	7
Progresos en predicción a corto plazo	8
Predicción a largo plazo	9
Algunos métodos importantes de predicción	9

I) PROBLEMAS NO RESUELTOS SOBRE TIEMPO Y CLIMA.

"No poseemos todavía una teoría básica sobre la circulación general, pero hay razones para pensar que esto puede conseguirse en cuestión de algunos años , con tal que un número suficiente de gente capacitada puede ser rescatada por nosotros del absorbente y deslumbrante campo de la investigación nuclear y de los espacios cósmicos"

El estudio de tiempo y clima constituye parte de la ciencia meteorológica, pero no la ciencia en total. La Meteorología es el estudio de la atmósfera terrestre en todos sus aspectos: su composición y su química; su radioactividad, natural e inducida por el hombre; el polvo atmósferico y el que le es agregado artificialmente por las chimeneas, automoviles e industrias, y el proceso de acumulación,desplazamiento y dispersión de este polvo con el transcurso del tiempo; la transmisión del sonido a través del aire y la transmisión de toda clase de radiaciones electromagnéticas desde la ultravioleta, visible e infrarroja del espectro, hasta las ondas de la radio; y los fenómenos especiales de la reflexión de las ondas de radar y radio en las nubes y las precipitaciones.

La ciencia meteorológica incluye también el estudio de una multitud de efectos opticos: color del cielo, halos y coronas, dispersión, refracción, difracción, etc.; fenómenos eléctricos -no solo el espectaculas relámpago, sino también los notables gradientes de potencial y las corrientes electricas, que son revelados por los instrumentos adecuados de observación cuando el tiempo parece estar completamente tranquilo; y, desde luego, el comportamiento especial de la alta atmósfera - por ejemplo los efectos fotoquímicos que produce una pantalla protectora de ozono situada a 25 Km. de altura por encima de nuestras cabezas, y todos los de ionización, auroras y efectos margnéticos y electromagnéticos que pertenecieron hasta el presente - al campo de aplicación de los ingenieros de radio, y están pasando ahora al dominio de los que utilizan los nuevos vehículos espaciales, cohetes y satélites artificiales. En fin, en plan cada vez más ascendente, la meteorología entra ya de lleno en los dominios de la ciencia del espacio.

Puesto que la atmósfera es un todo contínuo, con sus propiedades físicas tan relacionadas , muchas, - (por no decir todas) de estas más recónditas partes de la meteorología tienen un marcado efecto sobre el - tiempo y clima, directamente, en una relación de causa a efecto, e indirectamente, como medio de obtener - una útil información. No aparece así ninguna diferencia esencial entre el meteorológo (físico) y el hombre del tiempo (predictor) , pero debe resaltarse desde aquí la atención sobre estos obvios e interesantes -- problemas, que tanto afectan a cada habitante de nuestro planeta.

Como es natural, no se va a tratar aquí de toda la fauna meteorológica, sino que escogeremos de los - importantes seres que dominan en el conjunto. Concretamente y en primer lugar, nos referiremos a la circulación general de la atmósfera terreste considerada como un total, con los vientos y el tiempo ligados a e

(*) Adaptación al español por L. García de Pedraza, de dos artículos publicados en los números de Julio y Agosto de 1.961 en la Revista "DISCOVERY".

lla y enfocados en su más amplia escala. En segundo lugar haremos alusión a los monzones (vientos estacionales) palabra que en lenguaje técnico significa circulación en gran escala de verano a invierno, o de estación a estación, y no sólo en la India, sino en muchas partes de la Tierra. En tercer lugar, trataremos de las familiares depresiones y anticiclones de nuestros diarios mapas del tiempo, seguiremos con los fieros huracanes o ciclones de los océanos tropicales, que son responsables cada año de irresistibles daños y de lamentables pérdidas de vidas humanas, y por último, veremos los chubascos y tormentas, culpables de intensos aguaceros y destructivas granizadas. Una breve descripción de cada uno de estos fenómenos, hecha a la luz aportada por los más recientes trabajos e investigaciones nos muestra hasta que límites insospechados se extienden y cuales son las dificultades inherentes a ellos.

CIRCULACION GENERAL

Si mirásemos el problema en su mas amplia escala -es decir, como si la tierra y su atmósfera fueran - observados desde otro planeta- veriamos una capa de gases pegada a la superficie de la Tierra a causa de - la atracción de la gravedad, mostrando conplicados movimientos convectivos ligados al variable calentamiento del sol; también como la atmósfera está en contacto con la enorme superficie de agua de los océanos, una gran cantidad de agua se está agregando a la atmósfera por evaporación; mientras se deposita en otros puntos en forma de precipitación (lluvia, nieve, etc). Los movimientos son, en verdad, complicados, pero prescindiendo de las caracteristicas locales y tomando valores medios, se observa una notable organización del comportamiento de la atmósfera a escala planetaria, a ello se le llama "circulación general". Algo de esta disposición era ya conocido desde tiempos remotos, y el estudio de los vientos permanentes en superficie - adquirió gran auge cuando los barcos de vela comenzaron a circunnavegar la tierra. En tiempos recientes ,el uso generalizado de sondeos con globos y radiosondas nos ha proporcionado un buén esquema, en tres dimensiones,de la circulación en la troposfera, y también de la estratosfera; en la actualidad los cohetes están explorando notables altitudes, saliendo, incluso, de los límites de la atmósfera.

El diagrama de las fig. 1 explica, por si solo, la estructura de la circulación general tal como se - concibe al presente. Uno de los más notables caracteres, descubierto en la última década y todavía no bien conocido, es, quizás, la "corriente del chorro" (jet strean), especie de rios de intensos vientos que circundan la tierra justamente por debajo de la troopopausa. Ahora ha llegado a demostrarse que cuanto menor es el número y actividad de los frentes, menor es el número de chorros a ellos asociados, pero los chorros del frente subtropical y polar aparecen casi permamentemente a lo largo del año y de los años. Hay dos máximos troposféricos en cada hemisferio. Además, existe un chorro del W casi permamente en la estratosfera durante el invierno, pero ello va solo indirectamente relacionado con el tiempo.

La exploración de la atmósfera en todas sus porciones y extensión puede traer la novedad de descubrimientos y características inesperadas que encierran una fascinación, en si, para cualquier amante de las - cosas del tiempo. Considerando la atmósfera como un conjunto, a escala planetaria, la circulación es -- ahora semejante a la del año pasado, tanto calor como se recibió se perdió, hubo tanta agua evaporada como precipitada y tanto momento angular se transfirió por fricción con el roce de la tierra como fué tomado de ella en otro punto. Para la atmósfera tomada como conjunto nada es más cálido, ni más humedo, ni fluye más deprisa que lo hiciera antes. En otras palabras, tenemos un estado de equilibrio, un balance. Un estudio completo sería el que nos hiciese ver como se mantiene ese estado promedio, cuando y como el calor, humedad o momento fué agregado a la atmósfera y donde y cuando es devuelto a la tierra, y cual es el mecanismo que lo transporta de uno a otro lugar para compensar cualquier desequilibrio. Se presisa, desde luego, un estudio e hipótesis científicas más completas para plantear este proceso mediante ecuaciones matemáticas, las soluciones de tales ecuaciones nos darían entonces una teoría fundamental de la circulación general y constituirían un primer paso para el estudio teórico del clima.

Puede establecerse categóricamente que mientras muchos libros de texto dan explicaciones más o menos - plausibles de la circulación general, no hay ninguno que brinde una teoría básica; aunque esto no implica que las explicaciones expuestas sean enteramente despreciables. Además, se aportó una gran ayuda a nuestros conocimientos referentes a tal mecanismo desde que Jeffreys (ahora Sir Harlod) y otros, probaron hace 35 años que la circulación media puede explicarse sólo si se tiene en cuenta cual es el origen de las fluctuaciones. Es decir, es imposible explicar los cambios de energía, humedad y momento de la circulación general sin tener en cuenta los movimientos en escala relativamente pequeña; como sería imposible explicar la dispersión del humo que sale de una chimenea sin tener en cuenta la turbulencia del aire en pequeña escala; - por tal razón, las depresiones, anticiclones y otros sistemas móviles del tiempo se les describe frecuentemente como "perturbaciones sinópticas" dentro de la circulación general. En consecuencia cualquier intento que se haga para mostrar que tenemos calmas ecuatoriales, alisios o intensos vientos del W, si no hace re-

ferencia a las irregularidades de los movimientos turbulentos, se puede decir que es papel mojado y necesita un acusado control y crítica.

El problema de encontrar una teoría básica para la circulación general es mirado, y con razón, como el más importante de la Meteorología y no faltan esperanzas de que pueda ser resuelto dentro de algunos años si conseguimos captarnos un número suficiente de gente capacitada, recuperada del absorvente campo de la investigación atómica y espacial. Fueron dados importantes pasos previos por los investigadores americanos, especialmente Phillips y Smagorinsky, pero los conceptos físicos son complicados, el planteo matemático difícil y el cálculo aritmético, en el que hay que manejar un gran volúmen de datos, requiere el empleo de computadores electrónicos.

MONZONES

La palabra "monzon" se deriva de la palabra árabe "estación" y originariamente se empleó para designar los vientos estacionales que se presentaban en el mar de Arabia -hoy día se la considera apropiada para designar, en términos generales, las variaciones estacionales en gran escala. Ha sido, incluso aplicada a los vientos que en la alta estratosfera circulan en el hemisferio Norte, de Oeste a Este en invierno y de Este a Oeste en verano, pero esto son circulaciones planetarias causadas por el hecho de que la estratosfera polar, en verano, está continuamente iluminada por el sol y es muy cálida; mientras la estratosfera polar en invierno está continuamente en sombra, y es muy fría. Muchos meteorólogos prefieren reservar la palabra monzón para cambios estacionales de caracter geográfico causados por diferencias térmicas entre continentes y océanos.

Las causas básicas de estos cambios estacionales son similares. Para los fines ordinarios del meteorologo, la presión atmósferica hidrostática y las diferencias de temperatura (o densidad) implica diferencias en la presión. El primer argumento intuitivo es que el aire cálido, siendo menos denso, producirá sobre la superficie de la tierra una presión más baja que el aire frío, pero ello no es más que la mitad de la cuestión. Si operamos con la hidrostática desde el fondo hacia arriba, deberiamos decir igualmente que el aire cálido daría la más alta presión arriba y el aire frío más baja presión arriba; ya que la densidad hidrostática vá ligada directamente no con la presión, sino con los cambios de presión con la altura. Falsas interpretaciones de esta fácil cuestión han dado lugar a muchos falaces argumentos en meteorología, y no cabem excusas cuando es sabido que la presión en superficie del aire cálido sobre los océanos tropicales es generalmente más alta que la del aire frío sobre los océanos polares. La distribución de presión en la atmósfera presenta, desde luego, un problema en el que el decrecimiento hidrostático de presión con la altura es solo una de las condiciones a satisfacer; como argumento, de hecho, es más fácil asociar alta temperatura con alta presión arriba que con baja presión abajo. Consecuencia de ello es que los vientos superiores de la troposfera (incluyendo el chorro) son por lo general del W, circulando ciclónicamente y bordeando las áreas de baja presión del aire superior en las regiones más frías próximas al polo.

Volviendo ahora a la circulación monzónica, nosotros necesitamos explicar como se producen los vientos con el cambio estacional que se opera con las diferencias de temperatura entre tierra y mar. Comparativamente, el océano cambia poco de temperatura a lo largo del año, pués la insolación extra del verano es almacenada y empleada en calentar una capa considerable de aguas superficiales. Sobre tierra, el calor del verano no es almacenado, sino que es devuelto al aire fácilmente, por lo que -en términos relativos- el aire sobre tierra es más cálido en verano y más frío en invierto. El efecto hidrostático en verano se traduce en una bajada de presión en superficie y una subida por los altos niveles, cuando se introduce la dinámica del viento la solución se complica; ambos la baja presión en superficie y la alta presión en altura se hallan centrados sobre la parte cálida de los continentes. Esta disposición permite que el aire converja en superficie hacia la baja presión y diverja por los altos niveles, dando un modelo dinámico que es satisfactorio. Es muy interesante estudiar la circulación del monzón de la India en verano a la luz de esta hipótesis. En las Fig. 2 y 3, se dan esquemas mostrando el flujo en superficie y a 200 mbs. (unos 40.000 piés de altitud en condiciones medias) en invierno y verano. Los fuertes vientos del E que soplan en verano por los altos niveles en la región de Aden, son tan genuinamente monzónicos como los vientos del SW que soplan en superficie en la India. La sección transversal N-s tomada a través de Aden en Abril, muestra claramente la notable naturaleza del cambio; los vientos del E. en altos niveles, y para el mes de Julio, presentan la estructura de un chorro.

Los cambios monzónicos sobre la Tierra son una representación del ritmo anual del tiempo y están ligados a consecuencias que se presentan en zonas muy abejadas , incluso el NW de Europa, y pueden ser directamente relacionadas con su influencia. De Uno a otro año se aprecian grandes diferencias en las carac-

terísticas del monzón de verano en la India,considerado en total. Si además de los datos de la India se -- tienen en cuenta los vientos del E de la alta atmósfera dobre Aden, se aprecian fluctuaciones muy notables con intervalo de variación de unas tres semanas. Además de ayudar a la consideración cuantitativa de la teo ría sobre la circulación general -probada por la física matemática- ello implica una gran ayuda para el -- problema de la predicción, y será preciso incorporar a él de alguna forma los cambios estacionales del monzón. Cuando podamos establecer, y tal vez predecir, porque un año difiere tanto de otro, habremos obtenido una gran victoria en la batalla contra el tiempo.

DEPRESIONES Y ANTICICLONES.

Los mapas del tiempo, tales como los mostrados en los textos y los que invariablemente aparecen en los diarios y la pantalla del televisor, cubren una extensa área en la que se observan zonas de baja y alta pre sión . Los artículos sobre el tiempo dan siempre la parte del león a las borrascas; pero los anticiclones - son tanto o más importantes e interesantes, si bién una región en la que subside aire relativamente seco - con poca lluvia y escasa nubosidad por altos niveles, es dinamicamente más sencilla. Lo primero que se cono ció fué el hecho de que las depresiones son regiones en las que se registran marcados cambios en la direc-- ción y velocidad del viento, con el aire frío y seco en su zona posterior. De esto hace ya muchos años, pués fué cuando los noruegos, durante la I Guerra Mundial, estudiaron sus famoso "ciclón-modelo" dando a conocer su estructura en 1.919, que ha venido siendo multiplemente reproducida en los libros de texto. En breves pa labras, en su modelo, el aire frío y cálido fluían uno al lado del otro; la corriente fría venía del polo ((aire polar) y la corriente cálida del ecuador (aire tropical), la separación de estas masas de aire aparecía marcada por un frente. El desarrollo del ciclón se materializaba como un torbellino en gran escala, en el que se metía una masa de aire cálido (sector cálido) que luego era empujada por el aire frío posterior; este aire frío forzaba a elevarse al aire cálido creando las nubes y la lluvia. Considerando en un total, el acceso forzado del aire cálido implica ascenso o convergencia hacia el centro, lo que debido a la conservación del momento angular, es la causa de que el aire tome parte en el giro de la Tierra, mostrando una mayor velocidad cuando su área se contrae. Consecuencia de ello es que el aire gire relativamente alrededor - de la Tierra en la misma dirección en que la Tierra gira alrededor de su eje, y así se define la circulación ciclónica. El modelo así creado permitió un análisis sistematico del tiempo y construyó entonces un maravilloso avance en las prácticas y rutinas de la predicción, pero no es un modelo dinámico completo con el que se pueda explicar plenamente toda la esencia del fenómeno.

El éxito que supuso encontrar en los años posteriores a la II Guerra Mundial un modelo de ciclón ver-- daderamente dinámico que sustituyese al anterior fué un paso decisivo y muy importante. Ello está contribuyendo mucho a modernizar la predicción, planteándola en términos de una predicción dinámica que puede lle-- varse a cabo con computadores electrónicos de alta velocidad. El modelo dinámico difiere sustancialmente del primer modelo de los frentes y masas de aire en que la rápida mutación entre el aire frío y cálido ha sido reemplazada por una amplia zona de transición -una zona baroclina-. De esta forma, puede usarse la dinámica de los medios continuos en vez de la de la superficie de discontinuidad, dando resultados más generales - (Si bién en algún aspecto menos precisos) y estableciendo un modelo de anticiclón como complemento al mode- lo del ciclón. Durante este último periodo de tiempo, tan reciente que todavía lo estamos viento, las téc-- nicas del análisis en tres dimensiones se han desarrollado empujadas por una amplia, extensa y completa red internacional, de forma que las oficinas sinópticas disponen ahora, además del mapa de superficie, de mapa de varios niveles tipo a 700,500,300,200 y 100 mbs. e incluso alguno más de cotas superiores.

El modelo dinámico incluye una perturbación del tipo de onda de el flujo de superficie y de las tra-- yectorias de presión, asociadas con una distorsión similarmente ondulada del campo de la temperatura que se mueve retardada en un semiperiodo detrás de aquéllas (es decir, más hacia el W). Puesto que, según la ecuación de la hidrostática, el campo de la temperatura representa la diferencia entre el campo de presión a dos ni- veles y también el cambio de viento, la diferencia de fase entre las ondas de presión y temperatura permite que la divergencia en altos niveles coincida con la convergencia en niveles más bajos y el sistema total - es un mecanismo que se autodesarrolla por si mismo y engloba todas las características esenciales de la de- presión. Además, en las zonas donde la distorsión de la onda hace coincidir una convergencia superior con - una divergencia en bajos niveles, se crea subsidencia, el aire se hace seco y cálido, y nos proporciona el típico modelo del anticiclón.

Aunque los modelos dinámicos simples nos prestan una gran ayuda para interpretar como ocurren las co-- sas y han permitido la predicción numérica, omiten los frentes, que siguen siendo fenómenos sustanciales.-- Estos frentes, sujetos a muchas observaciones y análisis críticos han revelado características muy interesan

tes relacionadas con la tropopausa, estratosfera y chorros de viento, y también con notables lenguas de aire seco cuya existencia era hasta el presente poco conocida. La estructura es la indica en la Fig. 4. El establecer la dinámica detallada de los frentes dentro de los carcteres generales de la dinámica baroclina, es un problema que queda todavía pendiente.

HURACANES TROPICALES.

La parte central y occidental de los océanos tropicales está sujeta a una violenta clase de depresiones o tormentas ciclónicas, que tienen diámetro más pequeños, pero mucha mayor intensidad que las vulgares borrascas de nuestras latitudes. Aunque, con frecuencia, son los portadores de lluvia a los lugares más necesitados; en cambio, pueden ocasionar desastrosos efectos en áreas muy limitadas. Los ciclones tropicales y las depresiones de nuestras latitudes tiene de común lo siguiente; un centro de baja presión y una circulación de viento que fluye invariablemente en el mismo sentido de la rotación de la Tierra (del W hacia el E por encima del ecuador); esto implica, según las teorías clásica, aflujo del aire por los bajos niveles con elevación hacia arriba, y muchas nubes lluvia. En otros muchos aspectos, sin embargo, son muy diferentes y precisan una explicación teórica completamente distinta.

Nuestras depresiones son producidas por el contraste entre aire frío y cálido que fluyen uno junto a otro en una región de transición que es inestable y está sujeta a crear una ondulación en forma de torbellino; el giro baroclino puede presentarse en una u otra dirección y dar lugar a una borrasca o a un anticiclón. Los huracanes tropicales son diferentes, vienen provocados por inestabilidad en la vertical y son alimentados por la energía del calor latente liberado por la lluvia; presentan un núcleo cálido y aparentemente requieren mares muy calientes para formarse (temperaturas superiores a 27º C). Estas tormentas son científicamente muy notables; donde el mas sepresenta solo algunos grados más grío no ocurren nunca, y si el agua está más cálida no solo son posibles, sino incluso más frecuentes, a igualdad de los demás factores. En este aspecto la atmósfera aparece sensiblemente equilibrada, la menor perturbación puede actuar de catalizador desencadenando insospechados efectos; existen, pués, posibilidades de cambios climáticos que aún no se han llevado a efecto.

El efecto que los ciclones tropicales pueden tener sobre el tiempo de nuestra latitudes no es nada despreciable. Como las trayectorias de cada ciclón se dirigen corrientemente hacia las costas occidentales, meten al Japón y Canadá dentro de su influencia directa. Más aún, algunas de nuestras propias depresiones (borrascas extratropicales) pueden tener su origen en los huracanes tropicales formados más hacia el Sur, de forma tal que en un núclec de bajas presiones cercano a Islancia, podría ser identificado por continuidad, con el huracán que una semana antes aparecía sobre la zona tropical. A veces, incluso, curvan mucho su trayectoria prabólica, llegando al área de Azores como borrascas de marcada intensidad. Para el teórico el problema es muy sugestivo y ha sido resuelto parcialmente; pero la curiosa estructura del ciclón tropical con corrientes en espiral y una zona interior de calma con aire seco subsidiendo (ojo del ciclón) no ha podido aún ser explicada mediante el cálculo.

Para las regiones que con frecuencia se ven sometidas a sus desastrosos efectos y daños -especialmente, aunque no exclusivamente, China, Japón, India, Filipinas y los Estados Unidos de Norteamérica- la predicción afinada del fenómeno constituye una misión en la que se vuelcan grandes esfuerzos y trabajos (vuelos de reconocimiento meteorológico, avisos especiales, intensificación de las observaciones por tierra y mar...). Quizás, una de las aplicaciones más inmediatas de los satélites artificiales sea el tomar fotografías,desde el espacio, de los ciclones tropicales, tan pronto como éstos se hayan formado.

CHUBASCOS Y TORMENTAS

Mientras que el ciclón tropical es una rara manifestación de la inestabilidad vertical desencadenada por el calor latente de condensación -tan rara que el número máximo de ellos que se registra en la totalidad de la Tierra en un día puede ser diez y el número mínimo puede ser cero- los chubascos vulgares y su más intensa variedad, la tormenta, estan ocurriendo constantemente en millares de lugares de la tierra y en cualquier época del año, y contribuyen en gran escala a la aportación total de todas las precipitaciones que se registran en el mundo.

La teoría básica del origen de la inestabilidad vertical en atmósfera húmeda fué dada a finales de siglo. Desde entonces, la estructura de las tormentas vino siendo activamente estudiada mediante el avión, radar y radiosondas, lo que ha revelado características insospechadas, especialmente en lo que se refiere

a la gran cantidad de agua existente en las nubes y a la naturaleza de las intensas corrientes descendentes que arrastradas por las cortinas de lluvias son lanzadas en cascada contra el suelo; este aire enfriado por evaporación y bastante seco, ocasiona intensas turbonadas en superficie. Usualmente se comenta que una gran variedad del viento con la altura debería destruir o distorsional los sistemas convectivos en gran escala; pero como las tormentas ocurren con frecuencia en regiones frontales, donde aparecen marcados cambios del - viento en la vertical, se ha llegado a la conclusión en un modelo dinámico reciente, que la existencia de - una tormenta puede necesitar, precisamente, de estos cambios de viento. El Dr. F.H. Ludlam del Imperial College, que se ha dedicado por su cuenta al estudio de las nubes, ve en esas cizalladuras del viento condiciones necesarias para que tengan lugar intensas granizadas pero, hasta el presente, no se han publicado resultados ni calculos que apoyen la creación de un modelo dinámico. El cálculo del tamaño del granizo teniendo en cuenta la velocidad de caida de las particulas y también los factores dinámicos y termodinámicos, pueden ser unos factores realmente formidables.

El granizo, es, tradicionalmente, el gran elemento devastador de las tormentas -incluso más importante que el rayo, exceptuando el riesgo de los incendios forestales - Pero en años recientes, el peligro potencial del rayo para las lineas electricas de alta tensión y las molestas y costosas interferencias en las emisiones de radio, ha puesto otra vez de actualidad las manifestaciones eléctricas de la tormenta. El descubrimiento de la radio-dirección; los detectores de relámpagos y quizás, las observaciones desde sátelites de la tierra, harán posible, en principio, llevar el control de todas las tormentas habidas en el mundo de una forma continua; incluso con el tiempo el procedimiento puede ser barato. Aunque la teoría de la electricidad de la tormenta está suficientemente constatada, aparece ahora una nueva teoría muy convincente preconizada por el Prof. B.J. Mason.

LA MAQUINA TERMICA DE LA ATMOSFERA.

Los sistemas dinámicos que hemos descrito brevemente, desde la circulación general en sí, hasta los chubascos en pequeña escala, son por así decirlo, piezas distintas del complicado mecanismo de apertura y cierre de la gran máquina térmica atmósferica.

En el proceso de degradación de energía, desde la entrada de la radiación solar de onda corta, hasta la salida de la radiación terrestre de onda larga devuelta al espacio, una pequeña porción se convierte eventualmente en la energía mecánica de circulación de viento que determina nuestro tiempo y clima.

El mecanismo de este juego, puede ser descrito con alguna exactitud, y la inventigación debería completarse ahora con un esquema dinámico satisfactorio y, sobre todo, con una teoría termodinámica. Mientras tanto, la Meteorología se contenta con ser una ciencia preeminentemente útil que nos pronóstica el tiempo dentro de unas limitaciones y sueña con llegar a controlarle. La realización y explicación de estos fines prácticos es el objeto del próximo artículo, titulado:

II) PERSPECTIVAS DEL CONTROL Y LA PREDICCION DEL TIEMPO.

La actitud de la humanidad para controlar su medio ambiente (físico y biológico) es, supongo yo, el secreto de su éxito sobre la Tierra; pero, a despecho del esfuerzo de profetas y hechiceros en el transcurso - de los años, no existe evidencia de que se haya obtenido nada importante para alterar o modificar el tiempo. La humanidad ha adoptado un papel pasivo, protegiéndose así misma contra las inclemencias atmósfericas o ha emigrado para sobrevivir, y éste es el estado actual en que nos encontramos.

PERPECTIVAS DEL CONTROL LOCAL DEL TIEMPO.

A pesar de todo, en años recientes se ha desencadenado una nueva campaña de atención a este respecto, - siempre por científicos de ponderada preparación y eficiencia, impulsados por el hecho de que, hasta el presente, todavía no se había conseguido nada que valga la pena. En muchas partes del mundo donde la lluvia es deficiente y un riego adicional vendría muy bién, ven pasar por encima de ellos los nubarrones sin recoger - más que algunas gotas aisladas.

La explicación profunda de esto puede obtenerse del campo de la ciencia meteorológica denominado física de las nubes. Las nubes, en plena atmósfera, como es obvio para cualquiera que haya volado a través de ellas, tienen el mismo aspecto físico que las que observamos cuando estamos dentro de una niebla de montaña o de una bruma que moja el suelo. Ellas están compuestas de finísimas gotitas (más de mil en el tamaño de un dedal) demasiado pequeñas para precipitarse a tierra individualmente y muy remisas para soldarse entre si y adquirir el tamaño de gotas de lluvia. Realmente, ellas chocan y se entremezclan entre si, primero lentamente y luego más rápidamerte; así, si la nube estuviese quieta más de media hora caerian de ella algunas gotas, pero mu--

chas nubes evolucionan y se extinguen antes de que tengan tiempo de producir lluvia.

Existe, sin embargo, un proceso mediante el cual se puede obtener alguna precipitación de las nubes, y es haciendo que su temperatura caiga varios grados por debajo de los 0º C. Las gotitas no llegan a congelarse, efectivamente, pero quedan en estado subfundido, y si se siembra la nube con partículas de hielo (provocadas por dióxido de carbono o yoduro de plata) se acelera el proceso de enfriamiento, formándose nucleos de hielo que caen a través de la nube (englobando en ellos a las gotitas de agua superenfriadas). Es así como se consigue estimular artificialmente la lluvia.

Esto puede hacerse con éxito en nubes aisladas, y por algún tiempo causó gran revuelo la idea de explotar el procedimiento a escala económica. En particular, en América, emprendedores hombres de negocios se brindaron pronto a ofrecer sus servicios como "fabricantes de lluvia", fijando para ello un precio; millones de dólares cambiaron de mano en algunos años, y si fué difícil probar los éxitos, fué igualmente difícil demostrar que las operaciones de siembra no habían tenido éxito. Se trabaja en un terreno de incertidumbre y, recurriendo a la venenosa estadística, el fabricante de lluvia puede intentar probar lo que a él le conviene. Lo difícil, como cualquiera puede imaginar, es saber distinguir entre la lluvia artificial y la lluvia natural que hubiese caido en cualquier caso. Desde antiguo se vino explotando esta posibilidad y siempre hubo incautos, más hoy día existen métodos de análisis estadísticos, que, cuidadosamente aplicados, pueden aclarar esta clase de confusiones: ensayando durante los últimos 15 años pruebas y métodos de muchos tipos, se ha llegado a resultados francamente decepcionantes.

Sobre regiones montañosas, donde pueden encontrarse nubes más apropiadas y convenientes con mayor frecuencia, se ha evidenciado que la siembra ha incrementado algo la lluvia, pero el valor económico del proceso no lo compensa, de forma que estos últimos años el procedimiento ha dejado de estar de moda. Sería prematuro excluir prometedoras ideas, pero la física de las nubes ha enseñado mucho en este intervalo de tiempo.

IDEAS PARA CONTROLAR EL TIEMPO EN GRAN ESCALA.

Las ideas para alterar el tiempo y el clima en gran escala, a base de desviar la trayectoria de las borrascas, derretir las áreas de hielo y nieve, (por calentamiento del Artico) y modificar la circulación general de la atmósfera han sido seriamente impulsadas o igualmente detractadas como irrealizables, pero no se ha sentado una doctrina definitiva al respecto.

El intento de cambiar directamente el tiempo por influencias sobre el control solar de nuestro clima es una vanidad y una locura. El costa de la energía despilfarrada por el Sol para evaporar el agua que mantiene el suministro de lluvia a la Tierra, supondría -al precio actual de la electricidad- aproximadamente un millón de libras para cada hombre, mujer y niño de la Tierra. Si intentaramos controlar esta colosal máquina de calor deberíamos estudiar su mecanismo, y esto es muy sutil y artificioso. Hasta el presente nadie ha sugerido nada que suponga el poseer una herramienta util para tal trabajo.

Algunos escritores americanos publicaron la noticia de que los rusos estaban trabajando febrilmente en un proyecto de calentamiento de las aguas del Artico y es cierto que planeó un esquema que consistía en el bloqueo del Estrecho de Bering -entre Alaska y Siberia- para después bombear el agua fría al Pacífico. Pero tal esquema fué abiertamente criticado y vigorosamente combatido en el país de origen con un doble argumento: primero, su gran dificultad; segundo, aún en el caso de que se pudiera llevar a efecto, supondría un desastre para muchas regiones de la propia Rusia.

Ciertamente, en nuestro estado actual de conocimiento cualquier modificación del clima en gran escala proyectado para beneficiar a una región, debería tener grandes probabilidades de no ser dañino para otras comarcas; más sabiendo que, hoy por hoy, los científicos no son todavía capaces de controlar su propia curiosidad, hay que seguir confiando en su pensamiento y experimentos, pués aunque la empresa es difícil no debemos desconfiar de conseguir el éxito. En plan humorista, se han dicho que más le valdría al meteorólogo que en vez de trabajar en predecir el tiempo, inventanse un medio para controlar la atmósfera o para combatir el tiempo adverso, pués así mataría dos pájaros de un tiro.

Por de pronto, sólo haremos una pequeña exposición de la predicción del tiempo real.

PREDICCION DEL TIEMPO .

Desde hace más de un sibio viene practicándose en los paises más avanzados una sistemática predicción del tiempo, que no requiere ninguna magia ni un sentido especial. Los primeros hechos dependieron del desarrollo del "telegrafo eléctrico" y han venido desarrolándose cada vez más con el invento de nuevos sistemas de comunicación: telégrafo, teléfono, radio, teletipo, radioteletipo, facsimile, televisión... La posibili-

dad de predecir con algunas horas de antelación las fluctuaciones del tiempo es simple, pués los sistemas de tiempo, especialmente depresiones y anticiclónes, se mueven lentamente a través del mapa, cambian frecuentemente de estructura y llevan implícitas consigo condiciones características. Si, en consecuencia, dedicamos el suficiente interés y dinero para obtener las observaciones del tiempo de una amplia zona, y estas observaciones son retransmitidas con rapidez en forma de mensajes cifrados, podemos, representar el tiempo en mapas conveniente, ver como evolucionan los sistemas y que trayectoria siguen y hacer un pronóstico por extrapolación. Aunque existen complicaciones, tales como las variaciones diurnas de los elementos del tiempo, los caracteres orográficos (valles y montañas), la distribución de tierras y mares, el polvo que el hombre aporta artificialmente a la atmósfera y una multitud de peculiaridades naturales inherentes al aire en sí, el simple hecho de conocer la estructura de borrascas y anticiclones (con exclusión de los trópicos) han hecho que la predicción sea posible. Simultaneamente, se van consiguiendo tales perfeccionamientos en la predicción, que casi parecen imposibles.

Simplificando, si estudiamos cualquier mapa del tiempo veremos sistemas de presión que presentan una razonable cohesión y continuidad durante dos o tres días, o quizás, en circunstancias favorables, para algo más de tiempo, pero luego desaparecen y nuevos sistemas ocupan su lugar, y hasta que comienzan a delimitarse e individualizarse, nosotros poco más podemos hacer que conjeturar su constitución y comportamiento.

BROGRESOS EN PREDICCION A CORTO PLAZO.

Los principales progresos de predicción en este siglo se han limitado a avances con un día o dos de antelación, prestando siempre gran atención al detalle. Forzados por la aviación cada vez ha habido que explorar zonas más altas de la atmósfera y abarcar mayores distancias horizontales, pues hoy día los modernos reactores vuelan en la estratosfera y se alejan de su base de origen por rutas que abarcan la mitad del mundo.

En este desarrollo de la predicción a corto plazo las técnicas han sido cuidadosamente preparadas y fundamentadas en los progresos de la estructura de la atmósfera; pero hasta finales de la II Guerra Mundial no se consiguío un avance espectacular.

La atmósfera es un fluido y puede ser bien estudiada en sus tres dimensiones si concocemos las temperaturas, presiones, vientos, etc., no solo al ras del suelo, sino en altos niveles.

Un globo que arrastraba en su ascenso un equipo de radio, el radio-sonda, llenó esta necesidad práctica del conocimiento de la atmosfera superior y dió lugar a un revolucionario avance en la teoría y técnica de la predicción. Hoy día pueden dibujarse para cortos intervalos de tiempo, y amplias regiones del mundo, mapas del tiempo a varios niveles, que se extienden hasta la estratosfera. Los teoricos pudieron comprobar de esta forma que las leyes teóricas y básicas que controlan toda clase de fluidos, desde las corrientes oceánicas al agua de las cañerías, se podían adaptar perfectamente para interpretar los modelos atmósfericos. Comprobado esto, es posible plantar ecuaciones matemáticas -que si saben resolverse- nos permitirán predecir el futuro a base de nuestros conocimientos del presente.

En física matemática, los problemas son de difícil solución cuando intervienen en ellos muchas variables relacionadas entre sí, y esto ha supuesto un grave inconveniente; sin embargo, los predictores del tiempo tienen la esperanza de que los físicos matemáticos sean capaces de calcular el mapa del tiempo futuro a pesar de todas las dificultades. Como cosa efectiva y real, su ejecución depende de dos circunstancias muy afortunadas: En primer lugar, por algo que fué poco menos que una inspiración sobrenatural -una chiripa científica- parece ser que el factor dominante que controla el movimiento de anticiclones y depresiones (con el que los predictores han estado preocupados durante más de cien años) no es ni más ni menos que la velocidad media del viento desde el suelo a la estratosfera. Si a esto añadimos la temperatura media, tenemos con solo dos variables la posibilidad de una atmósfera baroclina, bastante semejante a la real para intentar establecer el pronóstico mediante el cálculo.

La segunda circunstancia afortunada fué el invento de los computadores electrónicos de alta velocidad que permite que los cálculos penosos se lleven a cabo rápida y correctamente -tutilizando el propio lenguaje de esta técnica de los computadores: en un "tiempo efectivo"- lo cual constituye una frase de gran valor para el predictor del tiempo, pues si un método no es lo suficientemente rápido para ir de acuerdo con el reloj no es de valor práctico. El pronóstico del tiempo es una lucha contra el reloj y hay que tomar la ventaja a los anticiclones y depresiones, diciendo de antemano su probable posición e intensidad.

En resumen, si se logra simplificar las hipótesis físicas para hacer los cálculos lo más facil posible y se dispone de computadores electrónicos que hagan estos calculos con rapidéz y eficacia, pueden hacerse pronósticos utiles y realistas.

En América, los mapas calculados y previstos han pasado a ser un elemento más de ayuda en el pronóstico diario, y en otros varios paises los estudios de inventigación van ya muy avanzados. En Inglaterra la rutina diaria del pronóstico numérico no espera ya más que las máquinas adecuadas; aunque la decisión de gastar de 100.000 a un millón de libras esterlinas, debe meditarse cuerdamente.

Es obvio que en el futuro se harán aún mayores progresos: la predicción numérica por calculadores electronicos tienen evidentemente que imponerse, pero los complicados detalles del tiempo local seguirán y serán precisos todavía bastantes años hasta que el predictor experto, conociendo como ha de reaccionar ante el genio o caracter de cada tipo de tiempo pueda imponerse a ellos sin temor.

PREDICCION A LARGO PLAZO.

Cuando el predictor intenta mirar más allá de un plazo de dos días, muchas de sus depresiones y anticiclones se han esfumado practicamente en el aire ante sus mismos ojos, en vez de ocupar el lugar que parece ser les correspondía, y entonces sus métodos de extrapolación o cálculo fracasan. Estas dificultades son de orden distinto, ya que hablando en términos figurados -antes de decir como se va a comportar el caballo en la carrera debe saberse de que raza es y de que cuadra procede.

El predictor puede usualmente decir algo util para un periodo de 4 a 5 días, con tal que sea bastante con decir que el tiempo, en general, permanecerá inseguro o estable, o que tiende a ser más cálido o más frío. Tales persistencias generales o "tender les" que pueden ser descubiertas con frecuencia, son la base del pronóstico a plazo medio, ya que un pronóstico a largo plazo implica siempre periodo más extensos, del orden de un més a una estación, aunque no matice mucho en detalle.

Hayindividuos en el mundo que han pretendido que ellos pueden dar una predicción precisa del tiempo con un día, un més e incluso un año de antelación -y algunos, incluso han aceptado una paga por sus servicios, pero uno puede decir -respaldado por el sincero desinterés de ni criterio científico- que este tipo de predicción no es mejor que aquél que pudiera hacer cualquier persona que tuviese conocimiento del tiempo típico de un lugar en cada estación del año. Y en muchos lugares del mundo, incluida Inglaterra, se presenta tal variedad de tiempos en el transcurso del año, que el pronóstico sería practicamente ineficaz.

Sin embargo, a despecho de todas estas dificultades, en bien cierto que el tiempo se presenta en situaciones o remesas caracteristicas, estos periodos de tiempo uniforme duran una o dos semanas, a veces el ciclo se extiende a más de un mes. Por ejemplo, en Inglaterra el verano de 1.959 fué suave y agradable y en el 1.960 no existió el verano como tal. Hay algunas caracteristicas que nosotros no comprendemos, tales como que sería lo más util a predecir, en el supuesto que pudieramos hacerlo, y si la cosa vale la pena, nos debemos esforzar en hacerlo oportunamente.

Pronósticos a largo plazo dedicados a pronosticas el caracter general de un mes o una estación en total, se practican en varios paises por personas responsables, generalmente por servicios oficiales, y tal vez con un modesto grado de éxito. Pero hay también indiscutibles fracasos y debiera pensarse que los métodos utilizados no estan bién furdamentados en teoría o no se pueden realizar practicamente.

ALGUNOS METODOS IMPORTANTES DE PREDICCION

Acaso, el método más usado sea el de la "analogía" que se basa en comparar la situación presente con otras pasadas similares a ella en uno o varios aspectos. Multanovsky alcanzó reputación en la predicción a largo plazo antes de la última guerra, trabajando a base de periodos sinópticos naturales y ciclos de tiempo en longitud variable que presentaban caracteristicas dominantes en algún aspecto particular, pero ello sólo era valedo para algunos días; además, recientemente, los tratadistas rusos han puesto en duda su anterior reputación.

El profesor Baur, que introdujo en Alemania hace treinta años el concepto de "Grosswetterlagen", en estrecha afinidad con los periodos naturales propugnados por los rusos, continua publicando de vez en cuando pronósticos a largo plazo y para periodos variables con antelación de más de tres meses y en ellos atribuye una gran importancia a las llamadas "manchas solares" cuyo número sabemos que es variable en un periodo que abarca un ciclo promedio de unos once años.

Apoyándose en este hecho, Baur relacionó el tiempo en Europa con el ciclo de manchas solares, y extrapola conclusiones para la misma época del año y presentación de caracteristicas semejantes y coincidencia de igual fase de manchas solares, comparando las circunstancias de años pasados basa en ellos el pro[illegible]

Debemos decir que el afecto de las manchas solares sobre el tiempo no está aún claramente establecido aunque su efecto sobre la ionización de la alta atmósfera está estrechamente relacionado con el prol[illegible]ma de

la radiocomunicación.

Aún más, Baur, tiene dificultar para correlacionar satisfactoriamente sus años, pues la Naturaleza nunca se repite así misma en cuestiones de detalle, sino como un total. Aunque de una manera imprecisa y cuidadosa los pronósticos se van aventurando y hasta han llegado a ser bastante satisfactorios en muchos casos.- Namias, del Weater Bureau de U.S.A., es otro nombre famoso en este campo; predice las condiciones medias con un mes de antelación (y lleva haciendo este trabajo de una forma regular y rutinaria durante un cierto número de años). Las predicciones las hace sobre mapas del hemisferio Norte, mostrando sobre ellos las áreas que presentarán condiciones más cálidas o más frías, más secas o más húmedas que las condiciones medias, y las basa en un repertorio de indicaciones, tendencias y trayectorias normales y además en cálculos dinámicos. - Pero su exactitud, para Europa al menos, está resultando de escaso valor. En Francia se emplea una técnica especializada basada en una extrapolación de la curva tiempo-presión; también en Inglaterra se vienen preparando predicciones experimentales de mes en mes, basadas en el mismo procedimiento; pero de forma análoga, sólo se logran éxitos marginales, por cuyo motivo los pronósticos no han sido ofrecidos al público.

Este es, lealmente expuesto, el estado insatisfactorio en que actualmente se encuentra el problema. El valor práctico de los pronósticos a largo plazo sería de una importancia enorme para las empresas agrícolas y comerciales y su proyectos; ello justifica que se le siga dedicando los mayores esfuerzos. La cuestión fundamental es llegar a establecer si el comportamiento de la atmósfera es realmente previsible para largos periodos de antelación. Podremos contestar a esto cuando tengamos una buena y adecuada teoría de la circulación general.

Volvemos a recalcar que la circulación es una especie de mecanismo accionado por la energía solar, al que se opone el freno del rozamiento terrestre, si la circulación es distinta de un año a otro - y ciertamente lo es- debemos suponer razonablemente que o bien la energía aportada o bien el rozamiento ham sido - distintos; es decir, el sol, allá arriba, o bién la tierra aquí abajo, son el asiento y la causa de las variaciones. Este argumento, bastante bién plausible, hace que volvamos nuestra vista hacia las manchas solares, temperatura del mar, hielo de los polos, áreas nevadas.... como una guía para el pronóstico a largo plazo; aunque existen una serie de dificultades como las que los matemáticos llaman caracter no-lineal y los ingenieros denominan realimentación. Cerca de la mitad de la energía solar es devuelta al espacio inmediatamente, sin emplearla en ningún trabajo, y mucha es reflejada por las nubes. Por lo tanto una variación notable de la nubosidad puede afectar los cambios de tiempo, tanto o más que cualquier cambio apreciable en el Sol mismo.

También, mirando hacia más bajos niveles, el calor y la humedad son aportados a la atmósfera cuando el aire está seco y frío respecto a la temperatura del mar. Sin embargo, pueden ocurrir mayores cambios por diferencias dentro de la misma circulación que por estos pequeños cambios en la temperatura del agua del - mar.

Así sería posible -puesto que los cambios estacionales y la circulación del aire llevan un ciclo anual incluyendo los monzones y el cambio en intensidad de los chorros- que cada año el comportamiento sea distinto, mostrándonos diferencias secundarias, que no presentan causa clara, excepto en el sentido de que cada sorpresa es una herencia que nos ha legado el pasado.

La Naturaleza se halla plagada de cuestiones tan complicadas que desafían al detallado análisis y a - la predicción. Sabemos que cada ola viene a mover la arena de la playa, pero, ¿quien sería capaz de decir como vá a comportarse la próxima ola?. Los temblores de tierra son especialmente comunes en algunas regiones del globo por razones que están bién establecidas, pero ¿quien sabe si el año que comienzo va a ser anormalmente malo en una u otra parte?. Tal vez se pueda predecir, en principio la trayectoria de una gota de agua que resbala por el cristal de la ventana o de un guijarro desprendido de una montaña; pero ¿serían predecibles en la práctica, si necesitasemos realmente conocerlos? Nadie puede hablar con certeza, pero en la ciencia es siempre difícil probar que una cosa no puede ser hecha. Nadie puede demostrar mediante un - experimento que la predicción a largo plazo sea imposible de todo punto; en cambio, podemos acumular conocimientos y experiencias que avalen esa posibilidad. Estos pueden ser de tres clases :

Primero, tomaando la Naturaleza tal cual se nos presenta, podemos ensayar varios métodos y aprovechar la experiencia que saquemos de ello; esto es lo que se ha venido haciendo hasta el presente y sólo se han obtenido pequeños progresos.

Segundo, nosotros podemos tratar de imitar la circulación atmósférica construyendo en el laboratorio modelos a pequeña escala; ello se ha hecho con mucha ingenuidad usando recipientes giratorios que contenían líquidos desigualmente calentados y coloreados y se han obtenido resultados muy sugestivos; las foto-

grafías de corriente en un disco giratorio son muy análogas a las isonífneas de un mapa circumpolar, pero al salir de la microescala del laboratorio y enfrentarse con la totalidad de la Tierra, los caracteres gravitatorios y atmósfericos presentarán formidables dificultades.

Tercero, nosotros podemos construir modelos matemáticos -que son sistemas de ecuaciones matemáticas que formulan muchos (no todos) de los procesos físicos esenciales-y mediante el cálculo tratar de resolver los y probar si encajan las hipótesis en la realidad de los fenómenos atmósfericos. Trabajos recientes, en especial los de Smajorinsky en América, utilizando la ayuda de computadores electrónicos, han alcanzado resultados espectáculares y prometedores, y puede que, con el tiempo, constituyan otra interesante aportación al crédito y confianza en los físico-matemáticos.

En realidad, es sólo un problema de tiempo y esfuerzo el que queda para alcanzar la meta de una predicción a largo plazo, correctamente establecida; sin embargo, los cambios del tiempo día a dia, y en cuestiones de detalle, seguirán dependiendo de muchas cosas. No será nunca posible decir con varios días de antelación como se va a comportar el tiempo, al detalle, pero si podremos dar un caracter medio del próximo invierno o del futuro verano; eso es cosa que alcanzaremos y no tenemos razón para desesperar de que no pueda conseguirse.

Echando una mirada retrospectiva a cien años de predicción, vemos que en el último lustro se ha hecho casi más que en un siglo. Los resultados alcanzados han sido revolucionarios, pues en este último periodo la ciencia del tiempo ha tenido la oportuna ayuda de la mecánica de fluidos, materializada en el sensacional avance que ha supuesto incorporar a ésta los medios y técnicas de cálculo de la física-matemática.

Los problemas actuales son complicados y difíciles, pero se irán resolviendo gradualmente, sólo falta disponer de una oportuna ayuda económica, que no se estima escesiva, pués con 100 millores de libras anuales se calcula que podrán hacerse mapas y estudiar detalladamente día a día, hasta 500 millones de kilómetros cuadrados de la superficie terrestre y su correspondiente atmósfera.

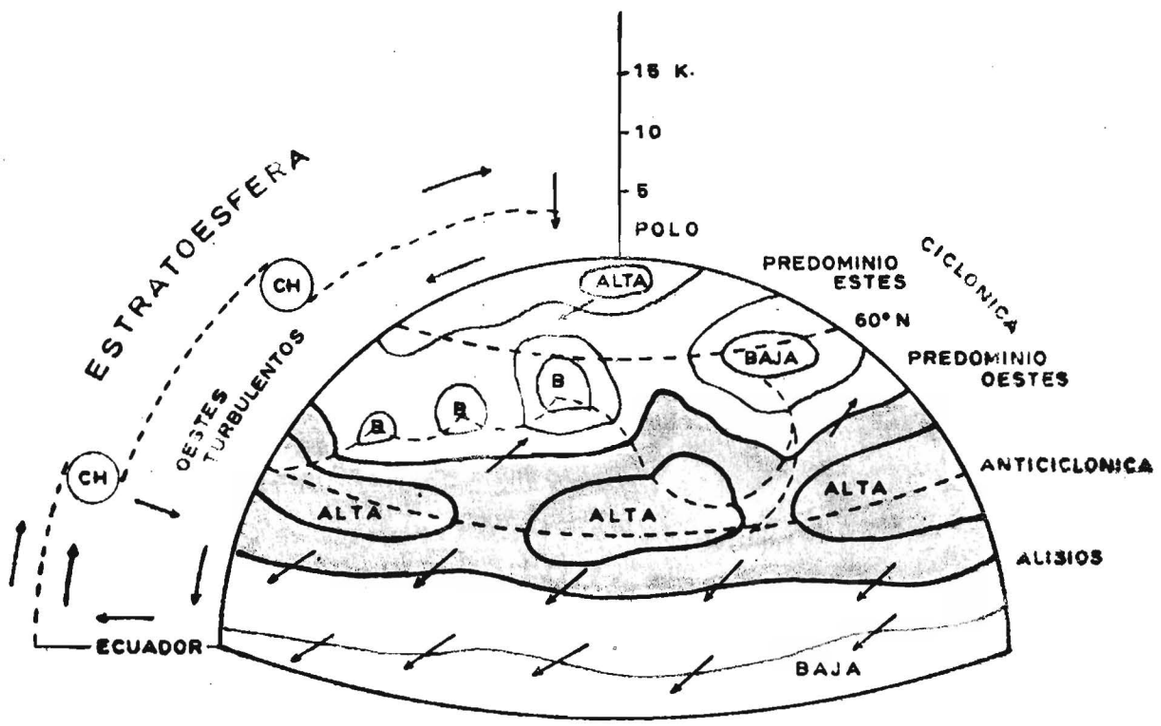

Figura 1): CIRCULACION GENERAL DE LA ATMOSFERA.

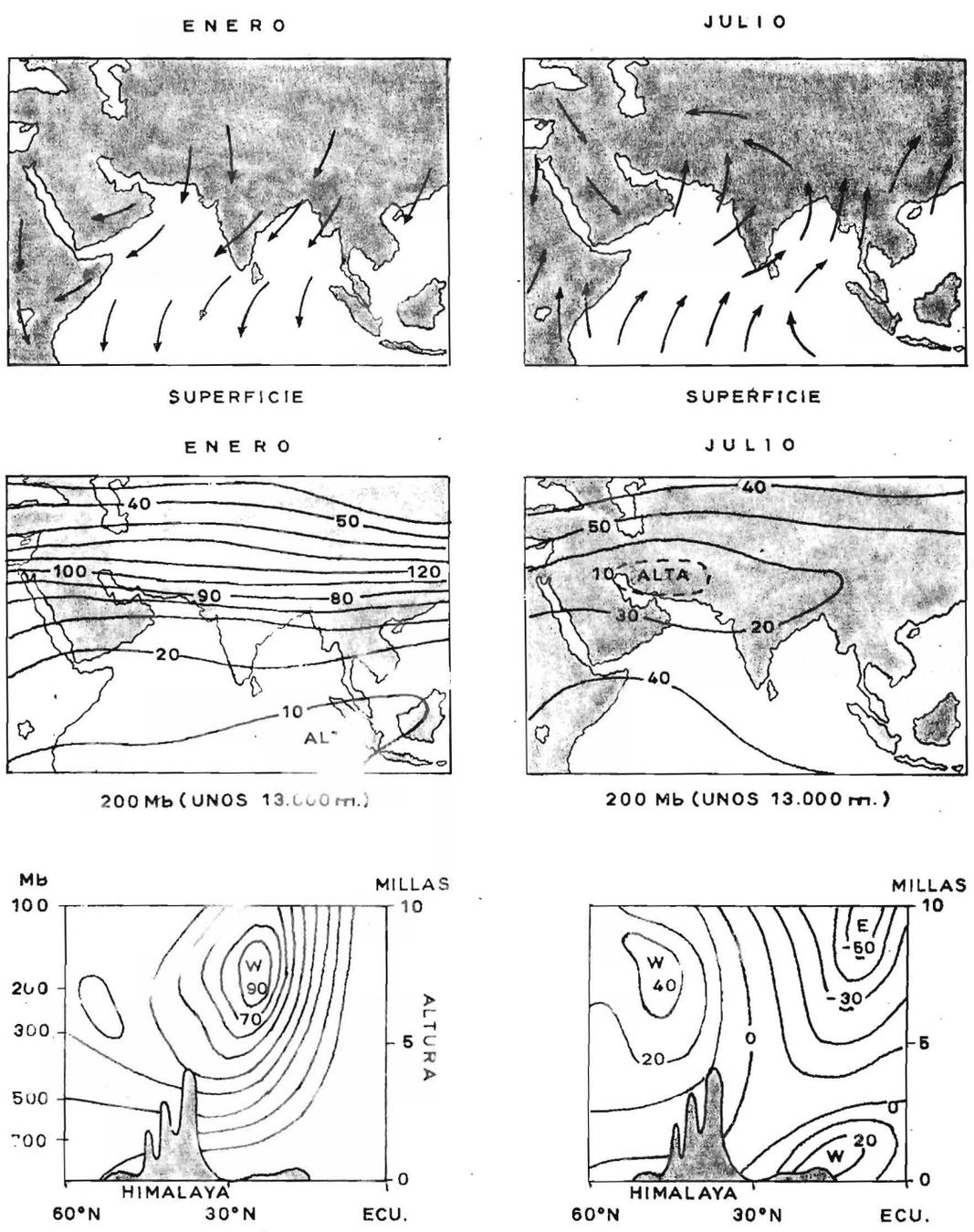

Figura 2): ESQUEMA, EN TRES DIMENSIONES, DEL MONZON.

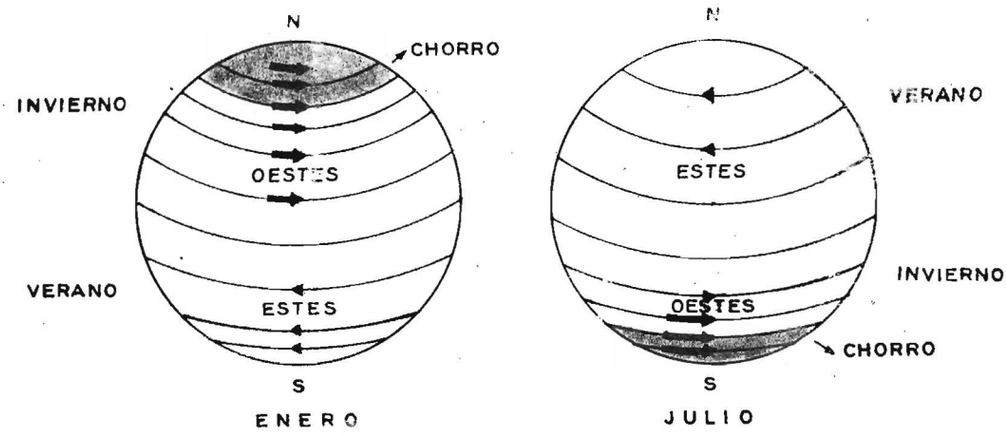

Figura 3): MONZONES EN LA ESTRATOSFERA.

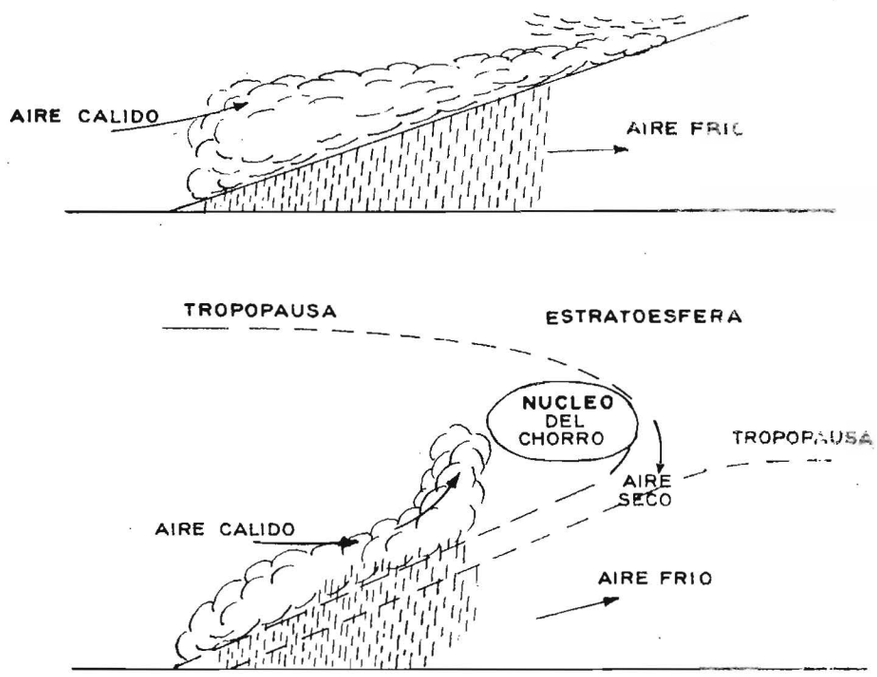

Figura 4): MODELOS ANTIGUO Y MODERNO DEL FRENTE CALIDO.

EXPLICACION DE LAS FIGURAS:

Fig. 1)
Circulación General de la atmósfera.

Representación esquemática de la distribución de presión y viento en la superficie de la Tierra sobre el hemisferio Norte. A la izquierda de la figura se ha dibujado una sección vertical (con escala aumentada 100 veces) que muestra la dirección de la circulación media en el plano vertical. En la zona de los vientos turbulentos del W, la dirección de la circulación aparece incierta y no está bien definida. Las tropopausas, superficies de discontinuidad que separam la baja atmósfera del W en altos niveles -es decir, los núcleos de los "chorros"- aparecen indicados también en el dibujo.

Fig. 2)
Esquema, en tres dimensiones, del monzón.

Los mapas de Enero y Julio muestran la diferencia entre el régimen de viento del invierno al verano. Las cartas de superficie indican los vientos típicos del monzón junto al suelo, apareciendo completamente opuestos de una a otra estación en el área del Océano Indico. Hacia los 12.000 metros de altura se observa, del invierno al verano, un marcado cambio del viento, que del W (con 100 nudos en las proximidades del chorro) salta hacia el E en verano, mientras que, simultáneamente, comienza a soplar en el suelo del monzón del SW. La sección NN-S. indica claramente el núcleo del chorro. En invierno, el chorro del W está al Sur del Himalaya, pero en verano los Oestes están al Norte de la cordillera, apareciendo al sur un chorro del Oeste. Obsérvese como, en niveles superiores, el chorro del E aparece en altura justamente por encima de los vientos del Oeste en bajos niveles.

Fig. 3)
Monzones en la estratosfera.

En altos niveles, de 30 a 50 Km. por encima de la Tierra, existe un completo cambio de una a otra estación: viento del W en el hemisferio invernal y viento del E en el hemisferio estival. Próximo a la oscura y fría zona del invierno polar se desarrolla un chorro estratosférico, que desaparece luego rápidamente en primavera, debido al brusco calentamiento de la estratosfera.

Fig. 4)
Modelos antiguo y moderno del frente cálido.

La figura superior muestra una sección del frente cálido convencional, con la antigua hipótesis del aire cálido deslizándose sobre el aire frío.
La figura inferior es una sección esquemática basada en las nuevas ideas obtenidas a la luz de recientes informaciones. Muestra una tropopausa rota por un núcleo del chorro, lo que crea un complicado proceso dinámico, que envía por subsidencia aire seco delante del aire húmedo que se desliza y de la cortina de nubes a él asociada.