

LA CICLOGENESIS ARTIFICIAL (*)

Por JOSE SERRANO CAMARASA

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos.
Director de Investigación de INYPSA.

Recogiendo del acervo de conocimientos humanos principios elementales de mecánica de fluidos, termodinámica, energética, etc., conjugándolos y articulándolos adecuadamente con amplia visión, el autor de este artículo presenta una teoría coherente cuyas últimas consecuencias son la total desmitificación de la Meteorología, presentándola cual es: una de tantas ciencias cuyos fenómenos —sometidos al imperio de leyes físicas— resultan ya correctamente interpretables y cifrables por el hombre.

Esto va a permitir —de una parte— liberar a esta ciencia de ciertos vicios y prejuicios nacidos del uso y abuso de la estadística como principal y absoluto medio de análisis de sus procesos, clarificando totalmente los conceptos básicos y permitiendo el análisis cuantitativo de los fenómenos en juego.

De otra parte, nos va a ensanchar el camino, ya iniciado, de participación del hombre en procesos de modificación del clima de la Tierra.

Damos por seguro que determinados tratamientos de ciclones llevados a cabo por los norteamericanos están contribuyendo ya a cambiar las frecuencias, potencias y trayectorias de esos trompos erráticos que son los frentes depresionarios atlánticos, que, teniendo por origen los ciclones del Caribe, constituyen uno de los principales aportes de la precipitación pluviosa sobre Europa.

El tema, que a gentes de formación superficial pudiera parecer de ciencia ficción, es tratable con rigor técnico y merece por su trascendencia la atención de los órganos encargados de la administración de los recursos hídricos y de la economía, en general, de cualquier país desarrollado.

Antecedentes inmediatos.

En el número de diciembre de 1976 de la REVISTA DE OBRAS PUBLICAS se publicó, bajo mi firma, el artículo "La gran pantalla negra. Un reto a la alta investigación española". En su prólogo, que podría servir también al presente, se decía: "El autor de este artículo cree llegado el momento en que el hombre, sirviéndose de instrumentos simples, inteligentemente utilizados, estimule grandemente la lluvia sobre amplias comarcas de la Tierra, modificando a voluntad su clima y abriendo nuevos horizontes económicos hasta ahora insospechados."

Fiel a esta teoría, y en espera de acción por parte de los entes españoles que puedan decidir sobre la implantación de una meteorología operativa ya viable, en mi opinión, he ido facilitando a los órganos de información sucesivas notas técnicas que son otros tantos hitos en la evolución de mis ideas en este campo de actividad.

A continuación resumo y completo el contenido de las mismas.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta revista hasta el 31 de diciembre de 1977.

1. El proceso de funcionamiento de la máquina de la lluvia.

He descrito y detallado el funcionamiento de la gran máquina de la lluvia, cuyo ciclo completo se puede considerar descompuesto en las nueve etapas siguientes:

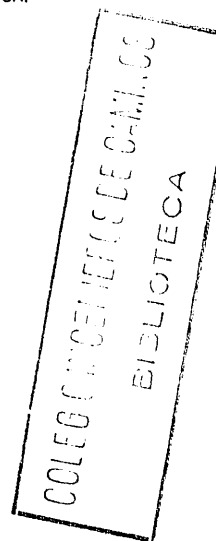
1. *Evaporación* en el foco caliente situado a nivel del suelo y principalmente en las masas de agua y órganos de transpiración de los seres vivos y máquinas de vapor.

2. *Primera fase de ascensión* del aire húmedo, con enfriamiento por expansión cuasiadiabática seca.

3. *Saturación del aire en ascensión* e inicio de la condensación de vapor en forma de gotas microscópicas, que se manifiesta por la formación de nubes y liberación de calor, ambos, motivos de depresiones.

4. *Segunda fase de ascensión* con enfriamiento por expansión cuasiadiabática húmeda y condensación acompañada de desprendimiento calórico.

5. *Congelación* en el foco frío con formación de cristales de hielo y nuevo desprendi-



miento calórico. Esta congelación puede realizarse a temperaturas comprendidas entre 0 y -40°C , función de muchas variables, pero puede catalizarse y centrarse a temperaturas próximas a los -3°C mediante inseminación de cristales de yoduro de plata.

6. *Dispersión* de los cristales de hielo en el ambiente invadido por nubes de agua líquida.

7. *Granización* o congelación esferocéntrica por depósito de vidrio-hielo en torno a los núcleos cristalinos originales a expensas de las nubes de agua líquida.

Esto tiene un efecto separador de agua del aire, propiciando la precipitación.

8. *Eventual fusión* de los gránulos de granizo en su caída al atravesar ambientes a temperatura superior a 0°C . Se favorece esta fusión si se consigue provocar la congelación de la etapa 5, a temperaturas lo más elevadas posibles, lo que provocará granización fina. (Efecto antigranizo del I.Ag.)

9. *Eventual evaporación*. En el proceso de precipitación de la lluvia ocurre, a veces, que las gotas en descenso se evaporan sin alcanzar el suelo. Esto no significa, en absoluto, que la máquina esté detenida.

Identifico plenamente las depresiones atmosféricas locales y singulares con procesos de liberación de calor sensible, consecuencia de las condensaciones de vapor (generación de nubes) que se producen durante el funcionamiento de la máquina de la lluvia.

2. Los motores de arranque del proceso de lluvia.

Identifico dos de los más típicos motores de arranque de la máquina de la lluvia. A saber:

A) Estancamiento en montañas.

La acción de vientos del sistema de circulación general atmosférica sobre las singularidades del relieve terrestre provoca ascensiones locales de aire húmedo, las cuales, al alcanzar su saturación, producen nubes y nieblas de estancamiento con liberación de calor sensible, que, a su vez, da lugar a depresiones en el aire capaz de cerrar el circuito de funcionamiento de la máquina de la lluvia y de conferirle autonomía de funcionamiento respecto de

los vientos generales y montañas iniciadoras del fenómeno. En adelante se asocian a los vientos preexistentes los propios que generan las depresiones, y el conjunto operacional resulta arrastrado por el viento generalmente contraalísio, actuante a nivel de los cerros que coronan la depresión.

B) Ciclones.

Los ciclones son corrientes ascensionales de aire singularizadas, originadas por contrastes térmicos producidos generalmente a la altura del suelo, o bien por insolación directa de las nubes calientes ya formadas, que determinan su elevación a un nivel o altitud superior. Estos motores de arranque ciclónico deben ser relativamente pequeños (en caso contrario no se producirían espontáneamente tormentas), de tal manera que el hombre puede sustituirlos utilizando medios muy simples con consumos de energía insignificantes en relación a los frutos y energías que pueden rendir.

Partiendo del hecho de que el calor solar radiante sobre el suelo en nuestras latitudes es del orden de 1 kW de potencia por metro cuadrado y éste es el principal agente energético de los procesos naturales con efectos térmicos contrastantes, *admito apriorísticamente que la potencia de arranque requerida para la chimenea ascensional artificial sea también del orden de 1 kW/m² de superficie horizontal de chimenea*.

Por comparación con las chimeneas térmicas industriales que el hombre construye y del análisis de su eficacia para alcanzar los humos grandes alturas, establezco un predimensionamiento del calentador capaz de crear chimeneas ciclónicas. Este es:

Un millón de kilovatios de potencia térmica de impulsión y aproximadamente 1.300 m de diámetro para conseguir ascensiones de aire de 4.000 m de altura, o superiores, que son a veces, necesarias para alcanzar la isoterma de -3°C , crítica para la glaciación de las masas de vapor elevadas, contando con el efecto catalizador de los cristales de yoduro de plata y con los tropismos ascensionales.

Considero que —con este tipo de chimeneas— se podrá provocar lluvia en situaciones meteorológicas muy frecuentes en España.

3. Ejemplo de cálculo de la energía de arranque.

Como ejemplo simplificado de los primeros cálculos que convendrá realizar, para comprobar que una situación meteorológica dada es prometedora para su tratamiento y excitación de estaciones de ciclogénesis, presento en la figura 1 el gráfico "Energía de arranque. Hipótesis 1", que se refiere exclusivamente al instante crítico de arranque de una chimenea térmica ascensional supuesta, creada mediante el caldeo del aire con un calentador situado a nivel del suelo.

En la situación que se analiza se admiten las siguientes condiciones meteorológicas:

1. Temperatura del aire al nivel del suelo: 25° C (supuesto).

2. Gradiente de la curva de estado del aire. Temperatura-altura (1): — 7° C por cada 1.000 metros de ascensión, supuesto constante en el campo de aplicación a altitudes comprendidas entre 0 y 1.500 m.

3. Gradiente aproximado de la curva de ordenación estable y adiabática del aire en la parte inferior de la atmósfera de — 10° C por 1.000 metros de elevación. En realidad estará definida por la ecuación de transformación adiabática de gases, que para el aire seco tiene la expresión aproximada:

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{P}{P_0} \right)^{0,286}$$

Es decir, en rigor tendríamos que operar con otra curva auxiliar de presiones-alturas, de la que hemos prescindido para mayor simplificación del ejemplo.

4. Admitimos en el aire la ley de humedades relativas según la figura 2, es decir, del 60 por 100 de la saturación a cero metros de altitud y del 80 por 100 a 4.000 m, que corresponde simplemente a un ejemplo.

En cada caso habrá que utilizar las humedades relativas efectivas locales determinadas con la mayor precisión posible, porque aquí reside esencialmente la fiabilidad, rigor y grado de certidumbre del cálculo.

La ciclogénesis artificial sólo resultará económicamente viable cuando se acierte plenamente en la elección de los lugares más idóneos para implantación de centrales de electro-

génesis. Obsérvese que en principio asocio las estaciones a embalses o vegas próximos en los que se dan o pueden implantarse fuentes de vapor singulares muy acusadas que ayuden al proceso.

Cuanto mejor sean las condiciones naturales de los lugares elegidos, tanto más simples y baratas deberán ser las instalaciones y procesos de caldeo complementarios.

5. Utilizando la curva 2, la 1 y la ley de saturación del aire, supuesto a presión atmosférica, hemos dibujado la curva 3 que daría el contenido máximo de vapor en gramos por metro cúbico de aire (supuesto a la presión atmosférica) en función de la altitud, o bien gramos de vapor por 1,29 Kg de aire.

6. La curva 4 da el contenido efectivo de vapor en gramos por metro cúbico de aire (supuesto a la presión atmosférica) deducido de las curvas 2 y 3.

Poligonal A B C D E.

En el mismo gráfico se define una construcción lógica auxiliar de cálculo siguiendo la poligonal A B C D E.

Punto A.

Temperatura del aire en el suelo, según la curva 1: 25° C.

Punto B.

Contenido efectivo de humedad en el aire al nivel del suelo, según la curva 4: 14,2 g/m³.

Punto C.

Altitud en la que alcanzaría la saturación una masa de aire procedente del suelo con contenido inicial de 14,2 g/m³ de vapor a la presión atmosférica, siguiendo la curva 3: 1.030 m de altitud.

Punto D.

Temperatura que alcanzaría, en caso de ascensión adiabática seca, una supuesta gota errática de aire que partiera del nivel del suelo a 25° C y fuera elevada con proceso mecánico forzado siguiendo la curva 5: 25° C — 10,3° C = 14,7° C.

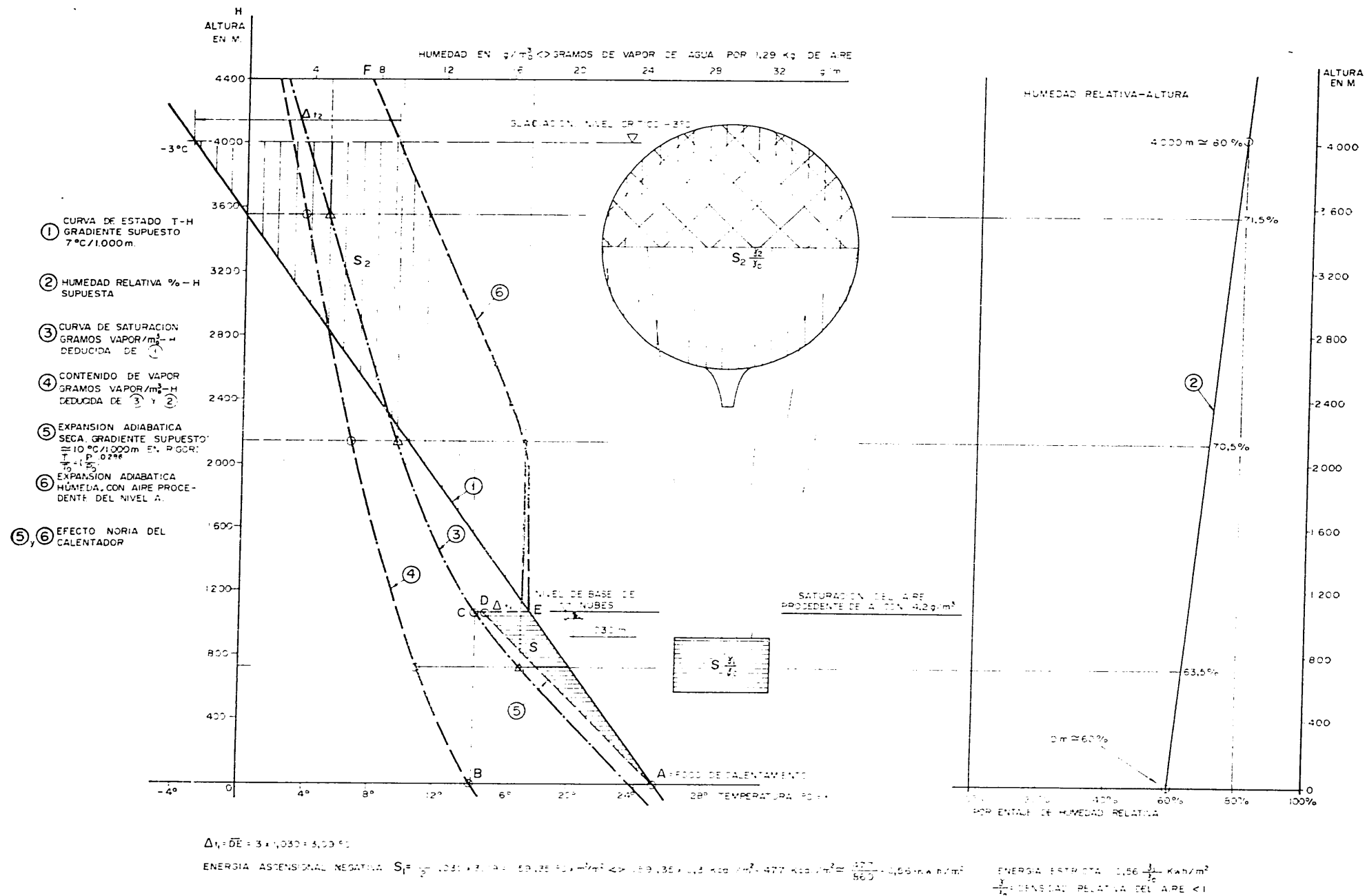


Figura 1.

Punto E.

Temperatura del aire ambiente a 1.030 m de altitud, siguiendo la curva 1 de estado: $20^\circ - 7^\circ \times 1,03^\circ = 25^\circ - 7,21^\circ = 17,79^\circ \text{ C}$.

Al hallarse el punto D a la izquierda del E la temperatura de la gota errática sería inferior a la del ambiente y, por tanto, tendría densidad mayor que la del aire ambiente, tendiendo a descender hacia su posición de equilibrio en el punto A —de partida— en el suelo.

Esto quiere decir que el aire en estas circunstancias es estable, y sólo se desplazaría espontáneamente hacia arriba la gota errática supuesta mediante la adición de energía que hiciera superar a cada nivel de la columna la diferencia Δt , existente entre el ambiente y la temperatura teórica de expansión adiabática.

Teniendo en cuenta: 1, que la densidad del aire γ_{11} es variable con la altura H ; 2, que el valor del calor específico a temperaturas normales es de aproximadamente 0,24 Kcal/Kg, y 3, que el peso específico del aire a la presión atmosférica γ_{10} es de 1,29 Kg/m³; la cantidad de energía que sería preciso añadir a un prisma recto de aire supuesto procedente del suelo de un metro cuadrado de base, limitado por los niveles cero (punto A) y H (puntos D y E) para que alcance posibilidades estrictas de flotación en el ambiente definido por la curva de estado 1, será:

$$Q_1 (\text{Kcal/m}^2) = \int_0^H 0,24 \times 1,29 \cdot \frac{\gamma H}{\gamma_{10}} \Delta t(H) \cdot dH \simeq \int_0^H 0,3 \times \frac{\gamma H}{\gamma_{10}} \Delta t(H) \cdot dH$$

En primera aproximación, si γ_1 es la densidad del aire en el centro de gravedad del triángulo ADE y γ_{10} la del aire a la presión atmosférica, resultaría en nuestro caso:

$$Q = \frac{1}{2} 1.030 \times 3,09 \times 0,3 \frac{\gamma_1}{\gamma_{10}} = 477 \frac{\gamma_1}{\gamma_{10}} \text{ Kcal/m}^2 = 0,56 \frac{\gamma_1}{\gamma_{10}} \text{ Kcal/m}^2 \quad (1 \text{ kW} < > 860 \text{ Kcal})$$

Según este cálculo sumario y simplificado,

teniendo en cuenta que $\frac{\gamma_1}{\gamma_{10}}$ es ligeramente inferior a la unidad, cabe admitir que, con un consumo de energía del orden de 0,60 kWh/m² de chimenea, se conseguiría —en el caso del ejemplo— elevar masas de aire del suelo hasta el nivel de 1.030 m.

Una vez alcanzado este nivel y la temperatura ambiente de 17,8° C en la parte superior del prisma, se va a producir en ella la saturación del aire y la entrega de calor sensible de condensación en la gota errática, elevándose la temperatura según la curva potencial 6, que, al estar a la derecha de la curva de estado 1, confiere a esta masa de aire capacidad de flotación hasta altura por encima de los 4.000 m, que resultaría crítica para alcanzar la glaciación, a —3° C, en el borde de la chimenea ascensional en que reina dicha temperatura ambiente.

El poder ascensional potencial en este caso estaría representado por el área S_2 rayada verticalmente en el dibujo, afectando cada abscisa por el factor de corrección de densidades $\frac{\gamma}{\gamma_{10}}$

Se comprende que si $S_2 \times \frac{\gamma_2}{\gamma_{10}}$ (capacidad potencial ascensional) superase ampliamente a $S_1 \times \frac{\gamma_1}{\gamma_{10}}$ (efecto de lastre), la continuidad del fenómeno de ascendencia estaría asegurada, lo que se manifestaría disminuyendo la presión barométrica en el suelo respecto de la del entorno. A partir de ese instante se modificarán las premisas de cálculo al participar en el proceso de elevación el aire procedente de distintos niveles (y no sólo del nivel del foco calórico del suelo) en la proporción que corresponda al grado de depresión relativo en función de la altura. La base de las nubes ascenderá y cambiarán considerablemente los parámetros que representen el fenómeno, pudiendo concebirse que se produzca el colapso de la chimenea, máxime si se apaga súbitamente el calentador que inició el tiro.

Si el contenido de vapor de agua del aire fuera bastante uniforme a distintas alturas y el apagado progresivo, ese riesgo sería menor.

4. Consideraciones sobre procesos de caldeo y rendimientos calóricos de las chimeneas ascensionales.

En el proceso lógico, gráfico y cálculo precedentes hay que considerar que la temperatura de saturación y, por consiguiente, el nivel de formación de nubes dentro de la gota ascensional se hallan referidos a la curva 1 de estado, temperatura-altura ambiente, supuesta inalterada por los procesos de caldeo artificial, y que el enfriamiento de la gota de aire en su ascensión por expansión adiabática, seca o húmeda, se realizaría también por definición sin intercambios de calor con el entorno, es decir, sin deteriorar ni alterar las condiciones del ambiente; excepto en la parte superior de la chimenea, en que se van a dar fenómenos singulares de intercambio calórico similares a los que se registran en el yunque de los llamados "cumulus hincus" al iniciarse la glaciación y precipitación.

Serán, asimismo, inevitables las fugas de calor en la proximidad del calentador hacia el suelo y ambiente, al tener que elevarse, en nuestro caso, en $\sim 4^{\circ}\text{C}$ la temperatura del aire al nivel del suelo (que alcanzará $20^{\circ} + 4^{\circ} = 24^{\circ}$), para lograr el ascenso del aire caliente en la chimenea. La fuga de calor hacia el aire, en torno al calentador, resultaría sólo apreciable en los primeros momentos de caldeo, antes de alcanzar el tiro velocidad apreciable; una vez regularizado el tiro, se producirán flujos centripetos de aire al nivel del suelo, que atraparán en el proceso al aire en torno a los calentadores, minimizándose así las presumibles fugas de calor por este concepto de dispersión y difusión.

En cuanto a las fugas de calor hacia el suelo hay que tener en cuenta que, en la inmediata proximidad de los mecheros que conformarán cada gran calentador, se van a producir elevaciones locales de temperatura superiores a 100°C , además de fuertes irradiaciones calóricas y luminosas. Para minimizar las fugas energéticas por ambos conceptos se piensa montar los mecheros a una altura mínima sobre el suelo del orden de 2 m y disponer inmediatamente debajo de cada uno de ellos pantallas individuales que interfieran las radiaciones devolviendo al aire de tiro de alimentación la mayor parte del calor que intercepten, aprovechando efectos termodinámicos similares a los que se dan en los mecheros Bunsen.

También es concebible perfeccionar la instalación sin más que tapizar el suelo con vegetación pratense que podrá ser humedecida con riegos por aspersión, con lo que se espera estimular el cebado del ciclón con la adición de vapor de agua, obtenido con calor que en caso contrario se habría perdido al ser absorbido por el suelo.

Dadas las dimensiones del calentador y los procesos calóricos previstos, que son esencialmente adiabáticos, *no es aventurado vaticinar rendimiento calóricos —en el proceso de lanzamiento— superiores al 90 por 100* en situaciones con viento en calma o de ligeras brisas, capaces de inclinar ligeramente la chimenea ascensional, siempre que se consiga ajustar y mantener la temperatura del aire ascendente.

5. Primera estación ciclogeneradora experimental.

Entendemos que sólo la experimentación a escala natural y en circunstancias reales de una estación ciclogeneradora como la que venimos propugnando nos rendiría, además de enseñanzas valiosísimas, evidencias irrefutables del verdadero alcance de estas ideas.

Esta primera estación debiera montarse en el lugar de España más idóneo, tanto desde el punto de vista de sus posibilidades de éxito como de la utilidad inmediata de las precipitaciones generadas.

Estimamos que una experimentación de este tipo exigiría una inversión, que podría estar comprendida entre 300 y 500 millones de pesetas, en equipos y técnicas principalmente españolas. Cantidades que son pequeñas si se comparan con los beneficios que cabría esperar de la puesta en práctica de un sistema operacional meteorológico de alcance nacional como el que vislumbramos, perfectamente viable con las enseñanzas derivadas de dicha experimentación.

Estamos convencidos de que un programa de investigación sobre esta base es el más prometedor, desde el punto de vista económico, de cuantos a costo comparable debieran abordarse por los españoles para aliviar la crítica situación económica que atraviesa nuestro país.

Baste para ello considerar que ciertas campañas de prospección petrolífera, que pocos discuten, exigen inversiones de este mismo orden

de magnitud y superiores y conducen, buena parte de las veces, a resultados totalmente estériles y a gastos de divisas onerosísimos.

6. Primer plan de estaciones ciclogeneradoras.

En anteriores escritos he dado algunas cifras estimativas, todavía poco precisas, *de los costes de instalación de estaciones ciclogeneradoras (unos 200 millones de pesetas por unidad, una vez experimentada y optimizada)*, así como *costos de explotación anual por estación, que pudieran estar comprendidos entre 9 y 50 millones de pesetas*, dependiendo de la intensidad de uso y del grado de accesibilidad de cada estación.

Un tanteo, asimismo preliminar, me ha conducido a estimar que *bastaría una red básica de unas 50 estaciones ciclogeneradoras para cubrir —con su efecto combinado— la mayor parte del territorio nacional.*

Según mis estimaciones, *un incremento selectivo (en tiempo y lugar) de lluvias, equivalente al 10 por 100 de la precipitación media anual sobre España, podría generar un incremento neto del producible anual agrícola del orden de 60.000 millones de pesetas anuales*, contra un incremento de gasto anual de apenas el 1 por 100 de esta cifra.

Estimamos que *todo el programa sería realizable en un plazo de cinco a diez años*, contados a partir de la fecha en que dispusiéramos de los resultados del primer año de explotación de la central ciclogeneradora experimental.

A mi entender, la realización del tal programa, sobre todo en sus fines agrícolas últimos, exigiría un proceso previo de estudios para la ordenación y adecuación de áreas de cultivos, habida cuenta de las posibilidades que se ofrecieran de estimulación de las precipitaciones en cada zona, por lo que sería conveniente lanzar *un programa de urgencia cuyo fin esencial sería incrementar en breve plazo el producible hidroeléctrico nacional*, actuando sobre todo en zonas de alta montaña y en forma poco discriminatoria en relación a épocas propicias de lluvias para los cultivos. De ello se derivaría la posibilidad y necesidad de forestación inmediata de nuestras montañas, *con incrementos sustanciales de producción, además de madera, de pastos y forrajes que contribuirían a ampliar la producción ganadera.*

En contrapartida habría que renunciar ya en las citadas zonas montañosas a cultivos marginales que pudieran afectarse negativamente por excesos de humedad.

Este primer plan debiera simultanearse con actividades reforzadas de repoblación forestal y obras de corrección de torrentes, ya que cabría esperar fuertes incrementos localizados en las escorrentías, que en algún caso podrían llegar a duplicarse en zonas privilegiadas.

Entre tanto, cabía montar ya las primeras estaciones en zonas agrícolas de mesetas, con apremiantes necesidades de agua, en las que una política cauta de explotación de las centrales ciclogeneradoras hiciera innecesaria la transformación inmediata de las explotaciones y tipos de cultivos existentes.

Este primer período de prueba serviría, asimismo, para la evolución y ampliación del mercado de productos agrícolas, necesario para colocar en buenas condiciones las nuevas producciones complementarias, que cabe obtener con la transformación total prevista, evitándose así incurrir en situaciones de producción agrícola excedentaria, que serían contraproducentes y nefastas para la evolución de la economía nacional y en particular para la agraria.

En la figura 2 se sitúan aproximadamente las estaciones ciclogeneradoras que cabría incluir en este primer plan nacional, con indicación de las zonas del probable alcance de sus efectos. Obsérvese que, salvo muy limitadas excepciones, suelo asociar las estaciones ciclogeneradoras a los grandes embalses, porque creo que la eficacia de cada estación va a depender muy estrechamente de las disponibilidades singulares de vapor que pueda involucrarse en su tiro.

Los grandes embalses son, en definitiva, surtidores de energía, de potencial enormemente superior a la que es dable obtener económicamente al hombre con medios de caldeo artificiales. Cabe incluso utilizar áreas contiguas a los embalses para el montaje de trampas de calor, instalando balsas negras poco profundas con sistemas selectivos de convectividad calórica en sus aguas, de tal manera que se pueda disponer de fuentes de vapor reforzadas en el momento requerido, inmediato anterior al encendido del ciclogenerador.

A falta de grandes embalses podríamos conseguir efectos de concentración calórica con

pantallas negras solares similares a las que sirvieron de idea matriz a estos procesos lógicos que vengo desarrollando.

Por último, quiero señalar que determinados cultivos, como pudiera ser la alfalfa y las prateses, en general, cabría asociarlos a estaciones ciclogeneradoras, como antes he apuntado en el apartado 4, como fuentes trascendentes de vapor estimulantes del tiro, sin perjuicio de su explotación agrícola bastante normal, cubriendo en estos casos la misión que atribuimos a los grandes embalses.

7. Distintos tipos de estaciones de ciclogénesis.

En la figura 2 se señalan con distintos símbolos cuatro tipos diferentes de estaciones ciclogeneradoras concebidas para satisfacer cometidos distintos.

A saber:

Tipo P.

Estación ciclogeneradora principal en la cordillera de que se trate. Sería el foco calefactor situado más a Occidente (en el hemisferio Norte) del sistema dado.

Deberá tener potencia suficiente para el arranque de la máquina de la lluvia y presumimos convendría en ellas un funcionamiento prolongado en el tiempo, si se desea conseguir inercia bastante en los vientos alimentadores de la situación, para que después la depresión generada alcance autonomía de funcionamiento y propagación en su marcha hacia el Este.

La estela de efectos se orientará en la dirección predominante del contraalísio (Oeste-Este en nuestro hemisferio y latitud geográfica), pero tenderá a pasar por las cumbres dominantes del sistema de que se trate. El rendimiento esperable en cuanto a precipitación será reflejo de la topografía local, alcanzándose presumiblemente sus máximos a distancias entre 2 y 10 Km al Este del foco calórico, sobre las cumbres más elevadas.

Tipo R.

Estación Relais, reforzante de las estelas provocadas por las estaciones principales tipo P.

Deberán situarse al Este de las estaciones P

correspondientes al mismo sistema, en lugares en que se acusase ya el debilitamiento del efecto de estela de la estación principal. Posiblemente quepa sustituirla por sistemas insemadores de yoduro de plata distribuidos en el suelo, que, en cualquier caso, deberían ser complemento de las estaciones de ciclogénesis.

Tipo D.

Estación descontaminadora. Se ha concebido para resolver problemas de contaminación ambiental del aire en proximidades de grandes núcleos de población que por sus especiales circunstancias adolezcan, esencialmente en situaciones anticiclónicas, de medios naturales de renovación del aire ambiente (ausencia de brisas terrestres o marinas, fondos de valles con salidas contra el viento dominante, llanuras y mesetas sin flujo permanente de vientos, etc.).

La única estación de este tipo que figura en el primer plan se supone en Madrid, a la altura de la Casa de Campo, con ánimo de que le sirva de apoyo en su funcionamiento el lago allí existente, el cual, en nuestra opinión, cabría y se debería ampliar con fines múltiples. En principio se sitúa al oeste de Madrid con propósito de que su efecto ciclónico se propague hacia el este, siguiendo el valle del Manzanares, succionando a su paso el aire de las áreas centrales de la ciudad, que son las más afectadas por la contaminación.

Concebimos en principio su funcionamiento a base de fuertes descargas calóricas de corta duración, puesto que habrá de funcionar en situaciones críticas de altas presiones y con escasa humedad en altura que resultarán muy desfavorables para la continuidad de los ciclones generados.

En este caso concreto acaso conviniera utilizar como combustible el hidrógeno, sin efecto contaminante propio y gran estimulante del tiro por el vapor de agua que añade al aire.

Tipo A.

Estaciones antihielo, concebidas para paliar los eventuales efectos de heladas, en períodos muy críticos de invierno y primavera, especialmente sobre plantaciones de árboles frutales. Se pretende en este caso crear previamente, a la llegada de bajas temperaturas, un ambiente húmedo protector.

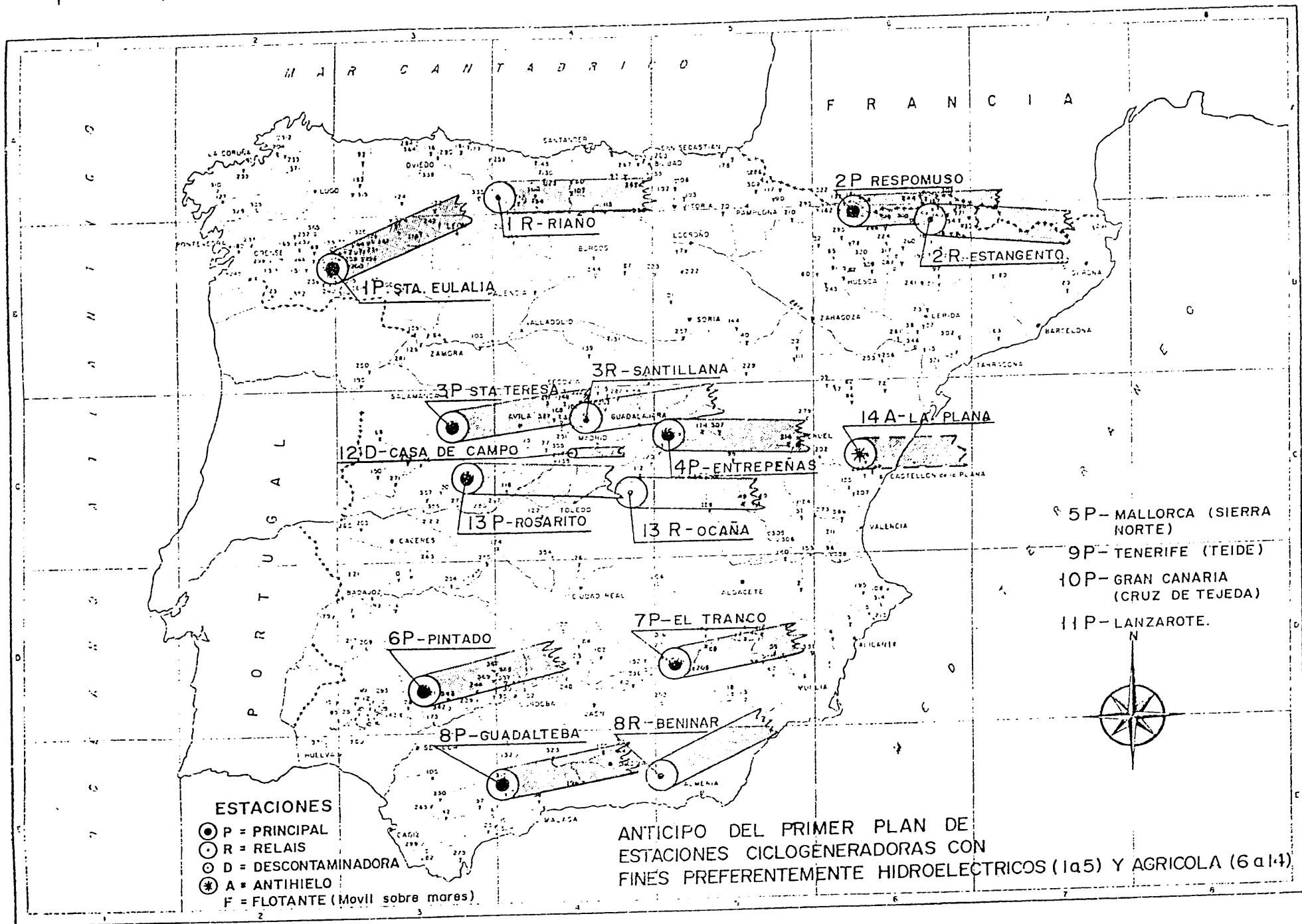


Figura 2.

La localización en nuestro plan de una central ciclogeneradora de este tipo en la Plana de Castellón es sólo orientativa de una de las comarcas más características a defender, y deberá ser objeto de un estudio muy minucioso de varias de las alternativas allí posibles:

Una de ellas consistiría en montar la barrera protectora al nivel de los grandes embalses actuales y futuros del bajo Ebro (Mequinenza, Ribarroja, Flix, Cherta), con objeto de que corte la trayectoria normal de los flujos de aire frío (cierzo) hacia la Plana.

Una segunda posibilidad consistiría en utilizar en dichos períodos críticos la humedad del Mediterráneo, generando al este de España (en el cabo de San Antonio, por ejemplo) un ciclón que provocaría la entrada de aire húmedo sobre la zona de Levante a proteger, adelantándose a la previsible invasión de aire nórdico.

En cualquier caso se hace imprescindible la realización de estudios muy detallados que tengan en cuenta la circulación de vientos locales en estas circunstancias.

Tipo F.

Estaciones flotantes. Cabe concebir un tipo de estación ciclogeneradora móvil formada por redes articuladas de quemadoras flotantes que podrían ser trasladadas y operadas, auxiliándose de parejas o tríos de remolcadores.

Presentaría la ventaja de su movilidad, de tal manera que cabría siempre situarla a barlovento de la costa sobre la que se quisiera operar, aprovechándose para la ascendencia de las montañas litorales, de la energía de los vientos naturales y del gran contenido de vapor de aire marino. Tal dispositivo creemos sería de gran utilidad en España para operar en la costa cantábrica, Baleares, costa catalana y costa mediterránea del sur y sureste. Y cabría ensayarle, asimismo, en las Canarias, en períodos en que el viento alisio, allí dominante, no fuera muy intenso o racheado.

Tendría, asimismo, la gran ventaja de suplir —con un solo equipo de material y de personal, bien dotado y en funcionamiento semipermanente— buen número de estaciones fijas alternativas, pudiendo acudir en cada caso al lu-

gar en que fuera más acuciante la escasez de precipitación natural.

Si esta estación fuera excepcionalmente potente, del orden de 10 ó 20 millones de kW térmicos, según estimo, podría utilizarse sobre el Atlántico, contando con su movilidad en operación, para crear situaciones meteorológicas similares a los frentes de presión natural, que cubren con sus efectos toda la España peninsular, o bien el archipiélago canario.

Aun cuando consideramos que todos estos tipos de estaciones son viables, sólo la experimentación nos probaría su grado real de eficacia y, sobre todo, la potencia necesaria para conseguir el grado óptimo económico de funcionamiento que perseguimos.

8. Juicio crítico de esta teoría.

Buena parte de los comentarios surgidos de las publicaciones parciales de estas teorías son constructivos y apoyan de alguna manera sus tesis, aportando pruebas y nuevos argumentos confirmatorios.

Otros, los dogmáticos, se escudan para rechazarlas en antiguos conceptos, de alcance limitado, que se han mostrado estériles o paralizantes para el progreso y evolución de la Meteorología.

Hay terceros que esgrimen para objetar mis teorías omisiones o lagunas en mis exposiciones que ellos consideran trascendentes.

Los más cautos consideran mis ideas como meras intuiciones insuficientemente demostradas y algunos de ellos tratan de refutarlas con intuiciones propias generalmente menos fundadas.

Como es natural, todos poseemos una parcela de la razón, y se justifican las actuales opiniones contradictorias por el imperfecto conocimiento que tenemos todavía del tema, por el limitado intercambio de conocimientos e insuficiente debate de los mismos y por la rémora que representa la carga de prejuicios que los iniciados en cada tema inevitablemente padecemos. Considero por ello que sólo conseguiremos la plena luz cuando dispongamos de pruebas irrefutables, sólo obtenibles mediante la experimentación sistemática que vengo propugnando.

9. Réplica a las primeras objeciones.

A determinados expertos en máquinas calóricas puede resultarles a primera vista inconcebible que los fenómenos termodinámicos, que se desarrollan en una atmósfera sin barreras aparentes, puedan identificarse con los que se dan en las máquinas calóricas construidas por el hombre, en las cuales los fluidos agentes se hallan confinados en vasijas herméticas y fluyen por circuitos bien compartimentados por paredes, cilindros y válvulas que aíslan sus distintas etapas.

Dudan de que las difusiones presumibles en el vasto espacio atmosférico, del calor y vapor de agua, permitan establecer cualquier parangón real entre la termodinámica atmosférica y la de las máquinas comunes. Nada más lejos de la realidad: el hombre, para concebir, comprender y calcular los procesos de las máquinas calóricas que fabrica, se ha visto obligado a idealizarlas, acudiendo a conceptos abstractos puros, como son las transformaciones: adiabática, isoentrópica, isotérmica, isobárica, etc., concebibles a veces en fluidos ideales y/o para condiciones ideales del entorno.

En la atmósfera se dan circunstancias más próximas a esas ideales de partida que en cualquier otra máquina situada en el ámbito terrestre.

A ello contribuyen:

La ausencia de paredes sólidas o líquidas distintas del suelo, con horizontes aparentemente ilimitados.

La conformación geodésica reinante en la atmósfera, con sensible geometría central, que confiere al aire una típica estratificación poco distinta de la esférica.

Las cualidades específicas del aire, con su fluidez, elevado poder aislante y gran amplitud del campo térmico de su fase gaseosa (excepto para el vapor de agua que contiene), campo que abarca el ámbito de temperaturas de los procesos naturales que se dan normalmente en la corteza terrestre.

Por otra parte, las grandes masas de aire involucradas en cada proceso, frente a la pequeña influencia de las masas materiales del suelo, eleva los rendimientos específicos de los procesos atmosféricos a niveles muy altos, inalcanzables en otras máquinas.

Todo ello acerca el comportamiento atmosférico a los procesos teóricos ideales de las máquinas calóricas.

Precisamente el mejor ajuste al ideal calórico en el comportamiento de la máquina atmosférica es la causa determinante de su divorcio funcional respecto de ciertas máquinas comunes. Puede servir de ejemplo la necesidad de cubrir la función de separador del condensado líquido que realizan en las máquinas comunes las paredes frías de los condensadores —inexistentes en la atmósfera— por los cristales de hielo producidos en el segundo cambio de fase de líquida a sólida, que se describe —como etapa imprescindible— en el proceso de funcionamiento de la máquina de la lluvia.

Apartado A. Etapas 5.^a a 7.^a

Un segundo ejemplo reside en la sustitución de las tuberías sólidas de circuitos de las máquinas comunes, inexistentes en la atmósfera, por conductos ciclónicos constituidos por líneas conductoras singulares erráticas, con cierto grado de vacío, en las que la estanquidad relativa de paredes es conseguida por efecto dinámico, de tal manera que es posible la circulación axial de aire entre dos niveles diferentes con distintas características físicas, atravesando un tercer nivel separador sin que se produzcan apenas flujos calóricos o de vapor al nivel intermedio. Con la particularidad de que estos conductos ciclónicos presentan una aceleración compuesta o de Coriolis distinta, función de la latitud geográfica.

Estas y otras singularidades de la atmósfera apartan también, sin embargo, su comportamiento del ideal esperable en un medio más homogéneo e isótropo, justificando muchos de los fenómenos que se observan en la atmósfera, entre los cuales se hallan las propias nubes.

En el proceso de formación de nubes, con liberación de calor sensible, se producen flujos centrípetos del aire de entorno hacia la nube en formación, para cubrir los vacíos de presión dejados por el vapor en proceso de condensación; esto presenta un frenado en la difusión del calor generado, en su propia fuente, y justifica la aparición singular —con perfilado nítido y densidad uniforme— de las nubes en proceso de formación.

La localización en nuestro plan de una central ciclogeneradora de este tipo en la Plana de Castellón es sólo orientativa de una de las comarcas más características a defender, y deberá ser objeto de un estudio muy minucioso de varias de las alternativas allí posibles:

Una de ellas consistiría en montar la barrera protectora al nivel de los grandes embalses actuales y futuros del bajo Ebro (Mequinenza, Ribarroja, Flix, Cherta), con objeto de que corte la trayectoria normal de los flujos de aire frío (cierzo) hacia la Plana.

Una segunda posibilidad consistiría en utilizar en dichos periodos críticos la humedad del Mediterráneo, generando al este de España (en el cabo de San Antonio, por ejemplo) un ciclón que provocaría la entrada de aire húmedo sobre la zona de Levante a proteger, adelantándose a la previsible invasión de aire nórdico.

En cualquier caso se hace imprescindible la realización de estudios muy detallados que tengan en cuenta la circulación de vientos locales en estas circunstancias.

Tipo F.

Estaciones flotantes. Cabe concebir un tipo de estación ciclogeneradora móvil formada por redes articuladas de quemadoras flotantes que podrían ser trasladadas y operadas, auxiliándose de parejas o tríos de remolcadores.

Presentaría la ventaja de su movilidad, de tal manera que cabría siempre situarla a barlovento de la costa sobre la que se quisiera operar, aprovechándose para la ascendencia de las montañas litorales, de la energía de los vientos naturales y del gran contenido de vapor de aire marino. Tal dispositivo creemos sería de gran utilidad en España para operar en la costa cantábrica, Baleares, costa catalana y costa mediterránea del sur y sureste. Y cabría ensayarle, asimismo, en las Canarias, en periodos en que el viento alisio, allí dominante, no fuera muy intenso o racheado.

Tendría, asimismo, la gran ventaja de suplir—con un solo equipo de material y de personal, bien dotado y en funcionamiento semipermanente— buen número de estaciones fijas alternativas, pudiendo acudir en cada caso al lu-

gar en que fuera más acuciante la escasez de precipitación natural.

Si esta estación fuera excepcionalmente potente, del orden de 10 ó 20 millones de kW térmicos, según estimo, podría utilizarse sobre el Atlántico, contando con su movilidad en operación, para crear situaciones meteorológicas similares a los frentes de presión natural, que cubren con sus efectos toda la España peninsular, o bien el archipiélago canario.

Aun cuando consideramos que todos estos tipos de estaciones son viables, sólo la experimentación nos probaría su grado real de eficacia y, sobre todo, la potencia necesaria para conseguir el grado óptimo económico de funcionamiento que perseguimos.

8. Juicio crítico de esta teoría.

Buena parte de los comentarios surgidos de las publicaciones parciales de estas teorías son constructivos y apoyan de alguna manera sus tesis, aportando pruebas y nuevos argumentos confirmatorios.

Otros, los dogmáticos, se escudan para rechazarlas en antiguos conceptos, de alcance limitado, que se han mostrado estériles o paralizantes para el progreso y evolución de la Meteorología.

Hay terceros que esgrimen para objetar mis teorías omisiones o lagunas en mis exposiciones que ellos consideran trascendentes.

Los más cautos consideran mis ideas como meras intuiciones insuficientemente demostradas y algunos de ellos tratan de refutarlas con intuiciones propias generalmente menos fundadas.

Como es natural, todos poseemos una parcela de la razón, y se justifican las actuales opiniones contradictorias por el imperfecto conocimiento que tenemos todavía del tema, por el limitado intercambio de conocimientos e insuficiente debate de los mismos y por la rémora que representa la carga de prejuicios que los iniciados en cada tema inevitablemente padecemos. Considero por ello que sólo conseguiremos la plena luz cuando dispongamos de pruebas irrefutables, sólo obtenibles mediante la experimentación sistemática que vengo propagando.

9. Réplica a las primeras objeciones.

A determinados expertos en máquinas calóricas puede resultarles a primera vista inconcebible que los fenómenos termodinámicos, que se desarrollan en una atmósfera sin barreras aparentes, puedan identificarse con los que se dan en las máquinas calóricas construidas por el hombre, en las cuales los fluidos agentes se hallan confinados en vasijas herméticas y fluyen por circuitos bien compartimentados por paredes, cilindros y válvulas que aíslan sus distintas etapas.

Dudan de que las difusiones presumibles en el vasto espacio atmosférico, del calor y vapor de agua, permitan establecer cualquier parangón real entre la termodinámica atmosférica y la de las máquinas comunes. Nada más lejos de la realidad: el hombre, para concebir, comprender y calcular los procesos de las máquinas calóricas que fabrica, se ha visto obligado a idealizarlas, acudiendo a conceptos abstractos puros, como son las transformaciones: adiabática, isoentrópica, isotérmica, isobárica, etc., concebibles a veces en fluidos ideales y/o para condiciones ideales del entorno.

En la atmósfera se dan circunstancias más próximas a esas ideales de partida que en cualquier otra máquina situada en el ámbito terrestre.

A ello contribuyen:

La ausencia de paredes sólidas o líquidas distintas del suelo, con horizontes aparentemente ilimitados.

La conformación geodésica reinante en la atmósfera, con sensible geometría central, que confiere al aire una típica estratificación poco distinta de la esférica.

Las cualidades específicas del aire, con su fluidez, elevado poder aislante y gran amplitud del campo térmico de su fase gaseosa (excepto para el vapor de agua que contiene), campo que abarca el ámbito de temperaturas de los procesos naturales que se dan normalmente en la corteza terrestre.

Por otra parte, las grandes masas de aire involucradas en cada proceso, frente a la pequeña influencia de las masas materiales del suelo, eleva los rendimientos específicos de los procesos atmosféricos a niveles muy altos, inalcanzables en otras máquinas.

Todo ello acerca el comportamiento atmosférico a los procesos teóricos ideales de las máquinas calóricas.

Precisamente el mejor ajuste al ideal calórico en el comportamiento de la máquina atmosférica es la causa determinante de su divorcio funcional respecto de ciertas máquinas comunes. Puede servir de ejemplo la necesidad de cubrir la función de separador del condensado líquido que realizan en las máquinas comunes las paredes frías de los condensadores —inexistentes en la atmósfera— por los cristales de hielo producidos en el segundo cambio de fase de líquida a sólida, que se describe —como etapa imprescindible— en el proceso de funcionamiento de la máquina de la lluvia.

Apartado A. Etapas 5.^a a 7.^a

Un segundo ejemplo reside en la sustitución de las tuberías sólidas de circuitos de las máquinas comunes, inexistentes en la atmósfera, por conductos ciclónicos constituidos por líneas conductoras singulares erráticas, con cierto grado de vacío, en las que la estanquidad relativa de paredes es conseguida por efecto dinámico, de tal manera que es posible la circulación axial de aire entre dos niveles diferentes con distintas características físicas, atravesando un tercer nivel separador sin que se produzcan apenas flujos calóricos o de vapor al nivel intermedio. Con la particularidad de que estos conductos ciclónicos presentan una aceleración compuesta o de Coriolis distinta, función de la latitud geográfica.

Estas y otras singularidades de la atmósfera apartan también, sin embargo, su comportamiento del ideal esperable en un medio más homogéneo e isótropo, justificando muchos de los fenómenos que se observan en la atmósfera, entre los cuales se hallan las propias nubes.

En el proceso de formación de nubes, con liberación de calor sensible, se producen flujos centrípetos del aire de entorno hacia la nube en formación, para cubrir los vacíos de presión dejados por el vapor en proceso de condensación; esto presenta un frenado en la difusión del calor generado, en su propia fuente, y justifica la aparición singular —con perfilado nítido y densidad uniforme— de las nubes en proceso de formación.

Por otra parte, la liberación local de calor sensible confiere al aire de la nube una capacidad de flotación en el ambiente y un tropismo ascensional irreversible que rompe la homogeneidad y el isotropismo, antes algo más aparentes.

Siguiendo similares procesos lógicos se explican las leyes de distribución real —en cada circunstancia— del vapor y de la temperatura, en función de la altitud y situación de cada punto en la atmósfera, y los procesos de acumulación de energía y descarga discontinua local que protagoniza la máquina de la lluvia.

Estos fenómenos se hallan en discordancia con ciertas imágenes o principios de difusión

calórica y vapor en medios ideales. Por ello carece también de todo valor cualquier argumentación que, para refutar nuestro planteamiento, alegue ignorancia u olvido por nuestra parte de esos principios elementales, que no son rigurosamente aplicables a la atmósfera.

Al mismo tiempo se pone en evidencia el riesgo que presenta la posible sustitución de una experimentación real y a escala natural, como la que propugnamos, por modelos matemáticos, siempre artificiosos, idealizados e incompletos, que pueden conducir a resultados engañosos, además de provocar pérdidas de tiempo por suscitar probablemente nuevas cadenas de dudas.