

LA METEOROLOGIA EN EL TURISMO DE ALTA MONTAÑA

P O R

MANUEL PALOMARES CASADO

Meteorólogo Director de Programa del Instituto Nacional
de Meteorología y Profesor de Física del Aire
en la Universidad Complutense

INTRODUCCION

Continuamente se extienden por todos países, especialmente más adelantados, las aficiones al mar y la montaña a medida que aumentan las contaminaciones y tensiones urbanas e industriales y se amplían, mejoran y popularizan los distintos medios y vías de transportes y comunicaciones. Pues bien, en España hay posibilidades crecientes del turismo marítimo y montañoso, en cualquier época del año, a causa de nuestras latitudes medias y variedades costeras y orográficas. Sin embargo, es en el turismo de montaña donde tienen importancia especial los factores de altitud, forma, orientación y clase de terreno, que influyen decisivamente en elementos climáticos-turísticos básicos como insolaciones, visibilidades, temperaturas, presiones, humedades, precipitaciones, vientos y en general movimientos del aire, advectivos, convectivos y turbulentos.

INFLUJOS PSICOFÍSICOS

Así, los movimientos del aire, con bases termodinámicas, ejercen una serie de influencias, directas o indirectas, sobre los organismos, muy dignas de tenerse en cuenta al tratar de elegir lugares y épocas para las mejores posibilidades del turismo montañoso. En primer lugar, todos sabemos que las sensaciones de bienestar o confort climático, no sólo dependen de insolaciones, temperaturas y humedades del aire, particularmente, sino de sus tipos y órdenes de movimientos. Podemos mencionar conceptos y fórmulas que figuran en mis publicaciones (j) y (k) citadas en la bibliografía y en las Informaciones Mensuales sobre Climatología Turística de nuestro Instituto que incluyen, de alguna manera, la velocidad media del aire. Cuando queramos valorar debidamente la bondad climática de un lugar, que debe incluir en primer lugar, su salubridad, hemos de introducir correcciones debidas al viento y a la humedad

atmosférica y utilizar índices térmicos especiales, o bien el “poder de refrigeración”, que definen mejor las condiciones de bienestar climatológico.

Además, desde el punto de vista de este bienestar, hay que tener en cuenta que, en general, todos esos factores actúan conjuntamente sobre la termorregulación de los organismos a través de sus valores extremos y de sus oscilaciones y cambios. En particular, las sensaciones de frío o calor no sólo dependen de la temperatura real del aire, sino de su estado de pureza y transparencia, de sus movimientos, de su humedad e incluso, de sus grados y tipos de ionización. Para medir, por tanto, adecuadamente estas sensaciones, que no son sólo físicas sino psíquicas, hay que considerar muy bien la dirección y velocidad del viento, por sus mayores o menores enfriamientos al activar la transpiración y evaporación del sudor con los consiguientes consumos de calorías. Entonces, hay que hacer resaltar el poder de refrigeración del aire, el cual también depende de sus contenidos en vapor de agua, midiéndolo con aparatos especiales llamados catatermómetros y frigorímetros, cuyas determinaciones conducen a clasificaciones bioclimáticas, como la establecida por MÖRIKOFER, Director del célebre Observatorio Suizo de Davos, donde se hicieron las primeras investigaciones sistemáticas, aplicables a climatología sanitaria y turística de montaña, hace muchos años.

La atmósfera está constituida por muchas masas o cuerpos de aire, con características propias de sus regiones manantiales o de origen, pero sensiblemente modificadas a lo largo de sus recorridos y en sus contactos con otras masas muy diferentes, siendo distintas sus posibilidades de influencias psicofísicas sobre las personas con sensibilidades muy variadas. En las elevadas altitudes hay que tener muy en cuenta que al ir ascendiendo va disminuyendo, en general, la presión, la densidad, la temperatura del aire y, naturalmente, sus contenidos de oxígeno indispensables para la respiración, sobre todo con ejercicios violentos, como los que requieren el montañismo y los deportes de nieve, todo lo cual contribuye al conocido “mal de montaña”. Pero, además, no sólo suelen ser más importantes los vendavales y las precipitaciones atmosféricas sino las tormentas que generalmente van precedidas de fuertes ionizaciones positivas, las cuales provocan nerviosismos y situaciones de malestar muy peculiares, con especial peligrosidad para personas sensibles y sin debido entrenamiento que de modo creciente se aventuran, cada día más, por rutas e instalaciones montañosas.

Por otra parte, las superficies frontales, o capas de discontinuidad entre masas de aire muy diferentes y que van acompañadas por situaciones típicas de mal tiempo, es bastante frecuente que se observen claramente a partir de ciertas alturas y que se refuercen a causa de influencias orográficas, aumentando sus efectos con fuertes corrientes, cambios bruscos de la presión, de la temperatura, de la nubosidad, de las precipitaciones y de la electricidad atmosféricas que hacen aún más difícil la vida para muchas personas, sobre todo con prolongadas estancias o recorridos a la intemperie.

INFLUENCIAS EN CONSTRUCCIONES Y URBANIZACIONES

Los albergues, hoteles y refugios de montaña, por ejemplo, y las urbanizaciones turísticas en cotas elevadas, han de tener muy en cuenta, particularmente, los regímenes de movimiento del aire, muy peculiares, variados y extremados en las regiones montañosas, de acuerdo con sus altitudes, formas, orientaciones y tipos de terrenos, pues de dichos regímenes dependen en gran parte no sólo la seguridad y duración de las correspondientes edificaciones, sino la salubridad y confort en ellas y el mejor o peor aprovechamiento de instalaciones, especialmente de agua caliente y calefacción, básicas para el turismo de montaña.

Las ascendencias o descendencias del aire, forzadas por determinadas pendientes orográficas y ligadas frecuentemente al régimen alternativo de brisas, diurnas y nocturnas, suponen enfriamientos o calentamientos, respectivamente, bastante acusados. Los primeros, sin embargo, se pueden atenuar con orientaciones que aprovechen al máximo la insolación, pero por otro lado los segundos, ligados a las descendencias nocturnas del aire, pueden provocar bruscos y peligrosos aludes sobre todo después del invierno. En otro sentido, las direcciones de valles más o menos encajonados canalizan los vientos, aumentando su velocidades, que son más peligrosas con masas frías y húmedas por sus mayores posibilidades de provocar perniciosas formaciones de hielo, lo mismo que crecen sus aceleraciones en los puertos montañosos con fuertes turbonadas locales.

De cualquier modo, los materiales y orientaciones de muros y tejados, las situaciones y formas de chimeneas, aleros y huecos, los sistemas de aislamiento en conducciones hidrológicas o puertas y ventanas, han de proyectarse teniendo muy en cuenta la topografía en relación con las características de los vientos dominantes y de los posibles movimientos convectivos y turbulentos, todos los cuales pueden afectar a la seguridad, a la salubridad, al confort y a la duración y aprovechamiento racional de todos esos tipos de estructuras. Sin embargo, no se debe olvidar que esta salubridad y bienestar en los microclimas interiores, bien aislados de las corrientes externas, no sólo exigen temperaturas adecuadas, sino humedades relativas convenientes, y que el aire al fluir a través de conductos metálicos, en muchos sistemas de calefacción, pierde electrones con el consiguiente aumento en la proporción normal de iones positivos lo cual suele resultar perjudicial para los organismos humanos. Según todo esto, las instalaciones para el acondicionamiento del aire en hoteles, por ejemplo, de altas montañas, requieren conocimientos muy precisos de los factores y elementos climatológicos propios de sus climas extremados, pero, también, de índices de confort en interiores ya que sus condiciones ambientales deben compensar con buena calefacción de los fríos externos pero sin que sus temperaturas sean excesivamente altas, provocando humedades relativas demasiado bajas, y sin que el conveniente aislamiento induzca ionizaciones anormales que unidas, por ejemplo, a las bajas presiones y ruidos de vendavales, acentúen excitaciones nerviosas y descansos insuficientes, sobre todo en muchas per-

sonas con especiales sensibilidades o poco habituadas a estos factores climatológicos.

Además, los problemas de las contaminaciones atmosféricas en las zonas turísticas —que tratábamos con algún detalle en la publicación (I)— se agudizan muchas veces dentro del turismo de montaña, sobre todo en las temporadas invernales, cuando los focos para calefacción y agua caliente deben funcionar más tiempo y al máximo, si no se orientan las estructuras y chimeneas teniendo muy en cuenta vientos, movimientos verticales y turbulencias, normales, en relación con los factores topográficos, con las estabilidades verticales del aire y las frecuentes inversiones térmicas en cada lugar y momento.

Para finalizar este capítulo debemos decir que del conocimiento sobre las intensas insolaciones en muchas laderas montañosas, por una parte, y sobre los vientos dominantes normalmente fuertes y con periodicidades bastante definidas, por otra, pueden derivarse aspectos interesantes desde puntos de vista no sólo de salubridad, sino económicos, basándose en aprovechamientos de las energías solar y eólica, respectivamente, las cuales tienen bastante porvenir, sobre todo a las reducidas escalas de estos tipos de urbanizaciones, evitando contaminaciones producidas por los combustibles tradicionales y abaratando los sistemas clásicos de calefacción y agua caliente, por ejemplo.

INFLUJOS SOBRE LOS TRANSPORTES, COMUNICACIONES Y DEPORTES DE MONTAÑA

En nuestros trabajos (n) y (o), hemos hecho destacar los peligros meteorológicos e influencias climatológicas sobre los transportes terrestres, tratando de vientos y movimientos, en general, del aire, particularmente importantes por carreteras y caminos de montaña. Así mismo, hemos hecho resaltar los principales influjos sobre los vehículos y sobre los propios conductores y también los que se producen a través de contaminaciones atmosféricas dependientes de desplazamientos del aire, que pueden perjudicar a las visibilidades, a causa de nieblas o nubes, y provocar engelamientos a lo largo de muchas rutas montañosas. Estos engelamientos también afectan a otros medios mecánicos de transportes originando incrustaciones y manguitos de hielo en cables de teleseñales, ferrocarriles y funiculares, por ejemplo. Pero también las fuertes escarchas perturban las telecomunicaciones radioeléctricas afectando a hilos, aisladores y antenas que pueden llegar a romperse debido a "cencañadas" originadas por movimientos intensos de aire húmedo, interrumpiendo medios de transmisiones fundamentales como teléfono, telégrafo, radio y televisión, sobre todo para lugares montañosos más o menos aislados.

Desde otro punto de vista, los deportes montañosos requieren unos medios estrechamente ligados al clima y a la meteorología para que sus instalaciones y organizaciones resulten seguras, atractivas y rentables. Primeramente en los de tipo invernal —como puede verse, por ejemplo, en mi publicación (m)— las elecciones y trazados racionales de pistas para esquiar exigen conocer con suficiente exactitud índices y regímenes nivométricos, con objeto de aprovechar los mantos de nieve durante los mayores períodos y en las mejores condiciones posibles, pero también hay que tener en cuenta los fuertes vientos que

producen ventiscas, nevascas o celliscas con los consiguientes inconvenientes y peligros. Además, cuando los vientos son bastante intensos y turbulentos las ventiscas pueden alcanzar enorme densidad y gran altura pues la nieve procede del suelo y de las nubes por tratarse de verdaderas tempestades que deben preverse mediante adecuados informes meteorológicos. Todos estos fenómenos dan lugar a las formaciones de dunas y depósitos más o menos grandes de nieve, según las formas, orientaciones e inclinaciones del terreno, en relación con los movimientos aéreos, acumulaciones que perturban el acceso a los edificios y dificultan el funcionamiento de todos los medios de comunicación y transporte, como telesillas, telesquíes y otras instalaciones fundamentales en el turismo montañoso.

Por otra parte, en las altas montañas, además de bruscos enfriamientos favorecidos por corrientes ascendientes de aire, se producen rápidos calentamientos y deshielos ligados, por ejemplo, a ciertos vientos descendentes, especialmente en primavera y verano, los cuales facilitan, en particular, con determinados regímenes pluviométricos, la formación, ya citada, de aludes y avalanchas de nieve. Ello ocurre, sobre todo, cuando las pendientes, orientaciones, clases de terreno y especies vegetales reúnen las condiciones más adecuadas, que pueden preverse muchas veces con bastantes probabilidades de acierto, no sólo para elegir instalaciones y rutas, sino a corto plazo para organizar competiciones y escaladas deportivas.

También, esas corrientes descendentes de aire relativamente cálido y seco, como el "foehn" de los Alpes, con frecuentes ionizaciones positivas, sobre todo en situaciones tormentosas, pueden afectar, como hemos dicho, a muchos montañeros y ser especialmente peligrosas para conductores de automóviles y, naturalmente, pasajeros o peatones. Además, los sistemas eléctricos de bastantes vehículos tienden a producir iones positivos más que negativos y, por otra parte, los rozamientos con el aire crean generalmente cargas positivas sobre sus carrocerías que atraen a los iones negativos y repelen a los positivos, los cuales quedan suspendidos en las atmósferas interiores, dentro de coches, autobuses y vagones de ferrocarriles, cuyas ventanillas suelen ir cerradas por las bajas temperaturas invernales o de las altas montañas en cualquier época. Así, son hechos comprobados en Austria y Suiza, por ejemplo, los aumentos en los porcentajes de accidentes de tráfico cuando soplan vientos descendentes del tipo "foehn" por las causas citadas, que afectan a conductores, pasajeros y peatones, sobre todo en estacionamientos y rutas de montaña con muchas aglomeraciones durante fines de semana, vacaciones y competiciones deportivas.

En fin, el turismo y los deportes de alta montaña cada día necesitan más de helicópteros como los mejores mecanismos de ayuda y socorro, en lugares inaccesibles y situaciones de emergencia, por lo cual también hay que tener en cuenta estos medios de transporte aéreo, cuyas características y posibilidades de despegue, vuelo y aterrizaje requieren bases bien fundadas, teniendo en cuenta los factores climáticos locales y pronósticos meteorológicos detallados con la mayor antelación posible.

OBSERVACIONES E INFORMACIONES ESPECIALES

He mencionado factores climáticos y elementos meteorológicos del turismo montañoso que tienen importancia creciente a medida que aumenta su popularidad y son cada día más y con mayor extensión las edificaciones, instalaciones deportivas y transportes de montaña. Además, en España hay que tratar de aprovechar, al máximo, este tipo de turismo, por nuestras abundancias y diversidades orográficas, en latitudes medias y con características geográficas aptas para alternar el montañismo con otras actividades turísticas, por ejemplo espeleológicas, fluviales, lacustres y marítimas, en todas las épocas. Hace años el montañismo, la espeleología y los deportes de nieve, en general, estaban ligados a grupos reducidos, por los menores desarrollos, económico, cultural y tecnológico que hacían difíciles y caros los transportes y las comunicaciones, por ejemplo. Había pocos y pequeños albergues o refugios, en lugares generalmente no muy elevados, las aficiones al "camping" estaban empezando y los escaladores y espeleólogos eran gente especialmente entrenada que se arriesgaban muchas veces, bastante a ciegas, sin posibilidades de conocer anticipadamente informaciones climáticas y predicciones meteorológicas, o sin medios ni preparación para recibirlas e interpretarlas.

Hoy día todo es diferente, pues existen posibilidades científicas y técnicas para poder conocer con adecuada antelación los lugares más idóneos al objeto de proyectar edificaciones, urbanizaciones, instalaciones deportivas o de recreo, rutas y medios de transportes y comunicaciones, soslayando o aprovechando, en lo posible, factores climáticos propios de los parajes montañosos. Pero también se pueden prever muchos bruscos cambios atmosféricos, más acusados en elevadas altitudes, que son decisivos a la hora de organizar competiciones deportivas, las cuales dependen estrechamente de la temperie en cuanto a economía de acuerdo con la proporción de medios que se necesitan y requieren. Por otra parte, en tiempos pasados los pequeños albergues, refugios o paradores de montaña se construían con pocos y pobres elementos previos de juicio atendiendo, en el mejor de los casos, a vagos datos climáticos, a informaciones locales proporcionadas por gente del campo y aficionados, o a indicaciones topográficas, geológicas y biológicas, como dunas arenosas, fenómenos de erosión, tipos de vegetación, o "abanderamientos" arbóreos indicativos de los vientos dominantes. Pero, además, estas pequeñas edificaciones no solían afectar a los principales fenómenos climáticos naturales, como ahora ocurre con grandes hoteles y sobre todo urbanizaciones que crean verdaderas "islas térmicas", interfiriendo en los regímenes de brisas, convecciones y turbulencias, estratificaciones térmicas verticales, formaciones de nieblas, nubes, engelamientos, tormentas, precipitaciones atmosféricas, particularmente nevadas, y provocando ionizaciones anormales y contaminaciones nocivas, no sólo por la respiración de aire viciado sino por sus interferencias en las radiaciones solares tan abundantes y benéficas en muchas regiones montañosas.

Merece pues la pena realizar observaciones especiales antes de proyectar edificaciones, urbanizaciones, medios de transportes o comunicaciones e instalaciones deportivas y recreativas, que supongan importantes inversiones si se

desea en todo lo posible, que resulten seguras y rentables económicamente. Ejemplos elocuentes de estos tipos de trabajos son, precisamente, los realizados por el Centro Meteorológico del Ebro, que se expusieron en el Salón de Actos de nuestro Instituto de Meteorología el día 10 de diciembre último, con una presentación de su Jefe *D. Alfonso Ascaso* y conferencias a cargo de *D. Javier Ferraz* y *D. Antonio Martí*. A lo largo de estas intervenciones, muy interesantes, pudimos conocer estudios y observaciones que se hacen por nuestros Pirineos, y no sólo propiamente meteorológicas, sino de sondeos en los mantos nivosos, seguidos de informaciones que se transmiten a dicho Centro con vistas a prevenciones de aludes, por ejemplo. También escuchamos, con gran satisfacción, que la estación de Goriz es tan completa y funciona tan bien (hasta con aprovechamiento de la energía solar), que sirve de ejemplo incluso para los franceses, los cuales disponen de muchos más medios que les permiten hacer predicciones valle por valle, en sus zonas de los Alpes y Pirineos.

En fin, precisamente observaciones sobre la extensión de estos mantos nivosos pueden hacerse ampliamente desde aviones y helicópteros, cuando la temperie lo permite, pero ya empiezan a realizarse desde los recientes satélites, e incluso hemos escuchado a nuestro compañero y amigo *Luis Aldaz*, a lo largo de su conferencia (a), en el Salón de Actos de nuestro Ministerio, con motivo de la celebración del "Día Meteorológico Mundial 1982", como los satélites geoestacionarios tienen la máxima efectividad observadora para fenómenos con períodos de horas y sólo dimensiones de decenas de kilómetros muy propios de regiones montañosas. Por estas regiones también es adecuado instalar estaciones automáticas de observación e información, en lugares estratégicos de difícil acceso y hacer sondeos y observaciones radáricas desde estaciones móviles. —Pues bien, en su conferencia nos decía *Luis Aldaz* que, por ejemplo, en la región norteamericana de Denver, donde las tormentas son particularmente intensas, se ha establecido un sistema piloto integrado para predecirlas, el cual está basado en integrar en un todo las observaciones satelitarias (geoestacionarias y polares) las de las estaciones automáticas superficiales y las radáricas, de manera que los datos recibidos se analizan, con ordenadores controlados por terminales inteligentes, para obtener la máxima información y se difunden también automáticamente los correspondientes avisos y boletines.

MODELOS A ESCALA Y PARÁMETROS ADIMENSIONALES BÁSICOS

Complementos indispensables, en muchos casos, de las citadas observaciones, son estudios experimentales y cálculos correspondientes, empleando túneles de viento o canales hidrodinámicos y modelos a escala, puesto que ahora se conocen parámetros adimensionales básicos para poder asegurar la semejanza física entre los resultados de laboratorios y los fenómenos naturales.

Ya en nuestras dos primeras publicaciones sobre análisis dimensional (f) y (g), que citamos en la bibliografía, expusimos los cálculos para deducir los siguientes Números Fundamentales de dimensión nula:

— *Número de Prandtl*:

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k} \quad (1)$$

— *Número de Reynolds*:

$$Re = \frac{l U \rho}{\mu} = \frac{l U}{\nu} \quad (2)$$

— *Número de Froude*:

$$Fr = \frac{U^2}{g l} \quad (3)$$

— *Número de Grashof*:

$$Gr = \frac{g \alpha (\Delta T) l^3}{\nu^2} \quad (4)$$

— *Número de Eckert*:

$$Ec = \frac{U^2}{c_p (\Delta T)} \quad (5)$$

Para llegar a ellos, partíamos de la ecuación de continuidad, las ecuaciones fundamentales del movimiento y la ecuación energética, suponiendo variaciones despreciables de la viscosidad cinemática y de la conductividad térmica y condiciones aproximadas de fluidos perfectos, después de introducir en dichas ecuaciones variables con dimensiones nulas empleando términos de referencia a base de las condiciones límites. Por ejemplo, las longitudes l se pueden representar en función de una longitud característica del sistema estudiado, las velocidades U referidas a la del fluido libre, es decir, no afectado por la perturbación de la superficie sólida sobre la que se mueve (fuera de la capa limítrofe considerada) que en la atmósfera se puede identificar con el “viento geostrófico”, y las temperaturas en relación con las diferencias térmicas ΔT entre dicha superficie y el fluido por encima de esta capa fronteriza. Entonces los *Números Adimensionales* indicados contienen, además, de estas variables, los coeficientes de viscosidad dinámica μ y cinemática ν , el calor específico a presión constante c_p , el coeficiente de conductividad térmica k , la densidad ρ , la aceleración de la gravedad, g , y el coeficiente de dilatación α .

Además, decíamos que puede ser interesante hacer intervenir distintos “factores de forma y de posición”, resultantes de agrupar magnitudes que tienen iguales dimensiones, obteniendo, por ejemplo, el

— *Número de Euler*:

$$Eu = \frac{\rho U^2}{p} \quad (6)$$

donde p es la presión atmosférica.

También son “factores” de estos tipos las relaciones entre la temperatura superficial y la del fluido que circula sobre esta superficie —dentro de nuestros

casos el suelo y el aire— es decir, los llamados *Números de Temperatura*; así como las fracciones cuyos términos son dos superficies o longitudes típicas del sistema estudiado, como por ejemplo una sección vertical y una sección horizontal o la altitud y el diámetro medio de una montaña.

A veces, es conveniente utilizar determinadas combinaciones de aquellos *Números Fundamentales*, como el

— *Número de Peclet* :

$$Pe = \frac{\mu c_p l U}{k v} = (Pr) \cdot (Re) \quad (7)$$

o el:

Número de Gravedad :

$$G = \frac{l^3 g}{v^2} = (Re)^2 \cdot (Fr)^{-1} \quad (8)$$

Así, en estudios de muchas turbulencias, formaciones nubosas y tormentas figura con frecuencia el

Número de Rayleigh :

$$Ra = \frac{\beta g \alpha h^4}{\frac{k}{c_p \rho} \cdot v} = (Pr) \cdot (Gr) \quad (9)$$

tomando como longitud característica el espesor de la capa considerada de aire, y siendo $\beta = \frac{\Delta T}{h}$ el gradiente vertical aproximado de temperatura en dicha capa.

Bastante conocidas son las aplicaciones a estudios convectivos y turbulencias con la utilización de una forma muy frecuente y práctica del

Número de Richardson :

$$Ri = \frac{g \cdot \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)}{\theta \cdot \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2} \quad (10)$$

donde aparecen el gradiente vertical de la temperatura potencial θ y de la velocidad U en su numerador y denominador, respectivamente. Pues bien, este *Número*, con sus valores críticos, hemos dicho que puede depender de los *Números de Reynolds* y de *Froude*, cuando se estudian estabilidades o inestabilidades verticales dentro de capas limítrofes de aire por ejemplo, y también es

cribirse en función de los Números de *Grashof* y *Reynolds*, mediante la expresión aproximada :

$$Ri \simeq \left(\frac{g}{\theta} \cdot \frac{\Delta \theta \cdot h^3}{\nu^2} \right) \cdot \left(\frac{\nu}{U h} \right) = (Gr) \cdot (Re)^{-2} \quad (11)$$

donde hemos introducido en lugar de derivadas relaciones entre diferencias finitas correspondientes a los espesores h de dichas capas.

Para casos de particular interés, desde nuestros puntos de vista, como los estudios de remolinos estacionarios, descubiertos por Von KARMAN y que se pueden formar con vientos débiles, a barlovento y sotavento de elevaciones orográficas, puede ser útil hacer intervenir el

Número de Strouhal :

$$S = \frac{U}{r n} \quad (12)$$

en el cual r representa el radio medio de la sección horizontal correspondiente a la montaña considerada y n la frecuencia con que se forman dichos remolinos.

Cuando no se pueden despreciar las fuerzas desviadoras de Coriolis, habrá que tomar valores iguales del

Número de Rossby :

$$R_0 = \frac{U}{l \Omega} \quad (13)$$

en la realidad y en el modelo, siendo Ω la velocidad de rotación correspondiente. También en estos casos se puede hacer uso del

Número de Taylor :

$$T = \frac{l^4 \Omega^2}{\nu^2} \quad (14)$$

utilizando modelos en régimen aproximadamente laminar.

Después, en la publicación (g) dedicamos un capítulo al intercambio convectivo de calor entre sólidos y fluidos, el cual se puede expresar por medio de un coeficiente de transmisión τ , que indica la cantidad de energía calorífica que pasa, en cada unidad de tiempo, a través de la unidad de área de la superficie sólida considerada, cuando entre ella y el aire hay una diferencia de temperatura igual a la unidad, y llegamos a representar dicho intercambio, por medio de un coeficiente adimensional llamado generalmente :

Número de Nusselt :

$$Nu = \frac{\tau l}{k} \quad (15)$$

al cual, en la literatura francesa, aún llaman *Número de Biot*. Pues bien, el

valor medio de este monomio es función, en general, de los primeros cinco *Números Fundamentales* citados, es decir, que podemos escribir:

$$\overline{Nu} = f_1 (Pr, Re, Fr, Gr, Ec) \quad (16)$$

Luego, consideramos situaciones no estacionarias, más o menos transitorias o periódicas, con lo cual hemos de introducir como nueva variable el tiempo t , de manera que aparece otro monomio sin dimensiones llamado:

Número de Fourier (modificado):

$$Fo_t = \frac{\nu t}{l^2} \quad (17)$$

característico de estos casos no estacionarios. Entonces, ese *Número Medio de Nusselt* será una nueva función:

$$\overline{Nu} = f_2 (Fo_t, Pr, Re, Fr, Gr, Ec) \quad (18)$$

A veces, en lugar de emplear como coeficiente de transmisión del calor sin dimensiones, en situaciones estacionarias o no, el valor de Nu se utiliza el llamado ahora:

Número de Stanton:

$$St. = \frac{Nu}{Pe} = \frac{Nu}{(Pr) \cdot (Re)} \quad (19)$$

que los franceses, principalmente, también designan con el nombre de *Número de Margoulis* (llamándose antes *Número de Stanton* al inverso del *Número de Prandtl*).

En fin, el último capítulo de (g) está dedicado a los fenómenos de difusión, desde puntos de vista del análisis dimensional, la cual también puede ser libre o forzada, y laminar o turbulenta, con leyes análogas a las que gobiernan, unas u otras clases de convección térmica, por lo cual en muchos de sus problemas intervienen *Números sin dimensiones* ya considerados. En otros, conviene introducir tres nuevos monomios principales que vamos únicamente a citar, aplicables, por ejemplo, a la difusión del vapor de agua en el aire. Para ello, tendremos que empezar por definir el coeficiente K_D de difusión por medio de la relación general:

$$N = -K_D \left(\frac{\partial \rho'}{\partial z} \right) \quad (20)$$

siendo $\frac{\partial \rho'}{\partial z}$ el gradiente vertical de la densidad de vapor de agua en la capa fronteriza de difusión. Entonces, si ρ_s' y ρ_l' son los correspondientes valores de

la citada densidad en la misma superficie de evaporación y en un punto del límite superior de esta capa fronteriza, llamaremos:

Número de Difusión, a la expresión de dimensión nula.

$$D = \frac{N}{(\rho_s' - \rho_t') U} \quad (21)$$

En segundo lugar, puede convenir introducir el

Número de Schmidt:

$$Sch = \frac{\nu}{K_D} \quad (22)$$

o mejor, el

Número de Lewis:

$$Le = K_D \cdot \frac{c_p \rho}{k} \quad (23)$$

en cuyas expresiones aparece el coeficiente de difusión K_D con iguales dimensiones que la viscosidad cinemática ν .

DISCRIMINACIÓN ESPACIAL Y APLICACIONES

Por otra parte, en mi publicación (h) se aplican los métodos del análisis dimensional al estudio de diversos fenómenos atmosféricos, considerando distintas dimensiones espaciales y determinando nuevas formas de monomios sin dimensiones importantes en posibles estudios experimentales y aplicaciones prácticas. Así, empezamos por problemas con triple discriminación espacial, que son los más generales, después tratamos de movimientos en planos verticales y al final de sistemas con un eje de simetría.

En la publicación (i) aplico la semejanza física y el análisis dimensional al estudio en planos horizontales y verticales, particularmente, de fenómenos meteorológicos a escala media. Considerando que en la atmósfera los movimientos y los intercambios de calor suelen ser turbulentos, se hallan nuevas formas de monomios sin dimensiones con posible interés en estudios experimentales relacionándolos con otros conocidos y ya empleados prácticamente. Así, en lugar de los componentes del *Tensor de Viscosidad Dinámica* μ debemos emplear los componentes del *Tensor de Rozamiento Turbulento* A_r , sustituyendo en las distintas expresiones correspondientes a la atmósfera la viscosidad cinemática $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ por $\frac{A_r}{\rho}$, haciendo de este modo posible imitar los movimientos medios atmosféricos por medio de modelos en régimen laminar, como ya decía el *Profesor Morán Samaniego*, hace muchos años.

Lo mismo, en lugar de la *conductividad* $\chi = \frac{k}{c_p \rho}$, que mide las corrientes caloríficas dentro del fluido en el modelo, debo figurar para el aire el adecua-

do valor de $\frac{A_c}{\rho}$, en donde A_c es la componente del *Tensor de Intercambio de Calor por Turbulencia*, tomando como magnitud *conservativa*, equivalente a la entalpía, el producto $c_p \cdot \theta$ del calor específico a presión constante por la temperatura potencial, θ .

Finalmente, en los fenómenos donde las variaciones de humedad tengan efectos importantes, habría que sustituir el *coeficiente de difusión molecular* del vapor de agua —o de otra materia— K_D , válido para aire en reposo, por el correspondiente *coeficiente de intercambio por turbulencia* A_D , todo lo cual es válido naturalmente, para estudios experimentales relacionados con las contaminaciones atmosféricas.

Por último, debo decir que resulta imposible, por falta de tiempo, comentar y citar todos los trabajos experimentales destacados que se han realizado con modelos a escala, tratando de conocer las principales influencias orográficas que más pueden interesarnos dentro de las relaciones entre la Meteorología y el turismo de montaña.

Como ejemplos, cito en la bibliografía desde el libro de Hidy (c) donde se mencionan diversos trabajos empíricos y quizás los primeros estudios prácticos sobre formación de ondas gravitatorias detrás de las cordilleras, que fueron estudiadas por medio de un afortunado modelo hidrodinámico, con aplicaciones a la Sierra Nevada de Norteamérica, hasta la reciente publicación (b) del "Global Atmospheric Research Programme" (GARP), acerca de influencias orográficas sobre flujos planetarios, con interesantes trabajos y una abundantísima bibliografía en relación con el tema. En fin, hay otros estudios recientes como los de Neumann y Mahrer (d) y (e), el de Simpson Mansfield y Milford (r) y el de Pearson (q) dedicados a trabajos experimentales y prácticos de brisas y vientos locales, que son verdaderamente interesantes y sugerentes, aunque estén principalmente referidos a regiones costeras, por las posibilidades de aplicarlos a zonas montañosas, puesto que existen analogías muy marcadas entre circulaciones atmosféricas sobre unas y otras configuraciones.

CONCLUSIONES

Como hemos visto las ayudas de los datos climáticos y los pronósticos meteorológicos, basados en observaciones e informaciones especiales y en cálculos teóricos y trabajos empíricos, son importantísimas para el turismo de montaña, el cual se está fomentando rápidamente por todos los países y debemos incrementar dentro de España, teniendo en cuenta nuestras variadas posibilidades orográficas y lo que significa para el desarrollo cultural, económico y social. Sin embargo, para proyectar y llevar a cabo adecuadamente dichas labores, hacen falta una serie de medios, materiales y de personal, que aún no posee nuestro Instituto.

Desde mi punto de vista creo que lo ideal sería el que este Organismo pudiese funcionar como autónomo, lo cual facilitaría, no sólo las citadas imprescindibles ayudas meteorológicas a esta y otras facetas del turismo, sino a gran

parte de actividades también de importancia científica, económica y social que dependen estrechamente de elementos atmosféricos y factores climatológicos y que figuran incluidas como objetivos básicos entre los distintos Servicios, Secciones, Programas y Dependencias del Instituto Nacional de Meteorología. Con nuestra autonomía se podrían obtener ingresos como contraprestaciones para servicios o estudios especiales y trabajos de investigación que nos fueran encomendados por Entes públicos y privados. Por ejemplo, si nos limitamos al tema de esta conferencia, cualquier empresa turística consciente necesita estudios prospectivos basados en fundamentos serios antes de decidirse a proyectar y realizar fuertes inversiones en construcciones, urbanizaciones, medios de transporte y comunicaciones, e instalaciones deportivas y recreativas, sobre todo en los climas extremados de alta montaña, para asegurar sus posibilidades y rentabilidades. Pues bien, los asesoramientos a través de distintos Servicios y Dependencia de nuestro Instituto podrían ser básicos a dichos efectos, puesto que contamos con personal preparado debidamente, si dispusiéramos de subvenciones por parte de Entidades públicas o privadas que nos permitieran ampliar las actuales edificaciones para montar, por ejemplo, laboratorios con túneles de viento, e instalaciones adecuadas, a fin de realizar los fundamentales estudios experimentales con modelos a escala que hemos citado.

Por otra parte, el Instituto Nacional de Meteorología ya tiene establecidos Convenios de colaboraciones, por ejemplo, con la Secretaría de Estado de Turismo, el Ministerio de Industria, el de Agricultura, la Universidad Complutense y el Ayuntamiento de Madrid, los cuales podrían ampliarse basándose en dichos medios técnicos, que servirían para asegurar y ampliar nuestras ayudas mediante las compensaciones correspondientes. Particularmente, el Convenio con la Universidad Complutense facilitaría las necesarias ampliaciones de nuestras Dependencias Centrales —ubicadas dentro de sus terrenos— puesto que los citados laboratorios e instalaciones también serían útiles a efectos de docencia e investigación, especialmente para su Facultad de Ciencias Físicas que tampoco dispone de dichos medios.

En fin, mientras se consiguen las imprescindibles ayudas materiales para la adquisición, montaje y entretenimiento al menos de parte del material e instrumental que asegure los tipos de observaciones e informaciones especiales, citadas en el capítulo tercero, y los trabajos experimentales últimamente mencionados, cabría suscribir otros acuerdos con Organismos que ya disponen de instalaciones básicas adecuadas como el Instituto de Técnica Aeroespacial —con sus túneles de viento— y el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo —con sus instalaciones hidrológicas de experimentación— que también podrían servir para entrenamiento de nuestros técnicos y para fines particulares de Meteorología Aeronáutica y Urbana, o cometidos específicos relacionados, por ejemplo, con las contaminaciones ambientales en general, que corresponden precisamente a este último Departamento.

BIBLIOGRAFIA

- (a) ALDAZ, L.: *Observando el tiempo desde el espacio*. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid, 1982.
- (b) GLOBAL ATMOSPHERIC RESEARCH PROGRAMME: *Orographic Effects in Planetary Flows*. GARP: Publications Series, núm. 23, 1980.
- (c) HIDY, G. M.: *The Winds* (D. Van Nostrand Comp, Inc., 120 Alexander Street, Princeton, N. J.), 1967.
- (d) NEUMANN, J. and MAHRER, Y.: *A Theoretical Study of the Land and Sea Breeze Circulation*. Journal of Atm. Sciences. Vol. 28, núm. 4. May, 1971.
- (e) NEUMANN, J. and MAHRER, Y.: *A Theretical Study of the Sea and Land Breeze of Circular Islands*: Journal of the Atm. Sciences. Vol. 31, núm. 8. Nov., 1974.
- (f) PALOMARES, M.: *Análisis dimensional y fisico de la transmisión general del calor por convección*. Revista de la Universidad de Madrid. Vol. VI, núms. 22 y 23. Madrid, 1957.
- (g) PALOMARES, M.: *El análisis dimensional en Aerotermodinámica subsónica*. Revista "Las Ciencias", año XXIV, núm. 2. Madrid, 1959.
- (h) PALOMARES, M.: *La discriminación espacial y el análisis fisico-dimensional de problemas de mecánica atmosférica*. Revista de Geofísica, núm. 73. Madrid, 1960.
- (i) PALOMARES, M.: *La semejanza física y el estudio bidimensional de fenómenos meteorológicos en escala media*. Revista de Geofísica, núm. 80. Madrid, 1961.
- (j) PALOMARES, M.: *Problemas meteorológicos de la urbanización de zonas turísticas*. Instituto de Estudios Turísticos. Madrid, 1964.
- (k) PALOMARES, M.: *Problemas físicos de las urbanizaciones turísticas*, Instituto de Estudios Turísticos. Madrid, 1965.
- (l) PALOMARES, M.: *El problema de la contaminación atmosférica en las zonas turísticas*. Instituto de Estudios Turísticos. Madrid, 1966.
- (m) PALOMARES, M.: *Problemas meteorológicos de las Estaciones para deportes de invierno*. Instituto de Estudios Turísticos. Madrid, 1968.
- (n) PALOMARES, M.: *Meteorología y seguridad en la carretera*. Informaciones de la Ciencia y la Técnica: Diario "Informaciones". Madrid, 24 de noviembre de 1976.
- (o) PALOMARES, M.: *Influencia climatológica sobre los transportes terrestres*. Coloquio Internacional sobre Enseñanza y Formación Profesional en Meteorología. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. Madrid, marzo de 1979.
- (p) PALOMARES, M.: *Meteorología y Turismo*. Simposio sobre Meteorología, Sociedad y Periodismo. Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. Madrid, 1982.
- (q) PEARSON, R. A.: *Local Flows: Atmospheric Planetary Boundary Layer Physics* (Elsevier Scientific Publishing Company), 1980.
- (r) SIMPSON, J. E., MANSFIELD, D. A. and MILFORD, J. R.: *Inland Penetration of Sea-Breezes Fronts*. Quart. J. Roy. Met. Soc., 103, 1977.
- (s) SNYDER, W. H.: *Similarity Criteria for the application of fluid Models to the study of Air pollution meteorology*. Boundary Layer Met., Vol. 3, núm. 1, 1972.