

Edita

Colegio Oficial de Físicos

Editor

Gonzalo Echagüe Méndez de Vigo

Director

Alberto Miguel Arruti

Consejo editorial

Gonzalo Echagüe Méndez de Vigo

Ángel Sánchez-Manzanero Romero

Alicia Torrego Giralda

M^a Victoria Albizu Etxebarria**Redacción y coordinación**

Susana Arines Rodríguez

Virginia del Olmo Becerra

Agradecemos la coordinación de la participación técnica del INM en esta revista a Rosario Díaz-Pabón, Subdirectora General de Programas Especiales e Investigación Climatológica del INM.

Proyecto gráfico

Vicente Gómez Alfonso

Administración y publicidad

Colegio Oficial de Físicos

P^o General Martínez Campos, 17 • 6^o izda.

28010 Madrid

Tel: 94 447 06 77 • Fax: 91 447 20 06

E-mail: correo@cofis.es

www.cofis.es

Fotomecánica e impresión

Gráficas SUMMA

Polígono de Silvota. Llanera. 33080 Oviedo

ISSN. 113-8953

Depósito Legal: M. 44286-1992

Fotografías

Salvo indicación expresa, las fotografías que aparecen en la revista han sido cedidas por el INM.

Nuestro agradecimiento por su colaboración a M^a Teresa Heras, Servicio de Documentación.

La revista Física y Sociedad no se hace necesariamente solidaria con opiniones expresadas libremente en las colaboraciones firmadas.

Queda autorizada la reproducción, total o parcial, siempre que se haga de forma textual y se cite la procedencia y al autor.

Esta revista se imprime sobre papel 100% reciclado RECIPLUS Print

Este número de la revista, como puedes ver, va dedicado, como tema monográfico, a la Meteorología. Se trata de una ciencia que se estudia en las Facultades de Física. Nadie puede dudar de la importancia de la misma. Los transportes, en especial las navegaciones aérea y marítima, la agricultura, el turismo, son actividades humanas, que se encuentran, en gran medida, condicionadas por el tiempo, y por tanto dependen de la Ciencia Meteorológica que, entre otras funciones, tiene la de predecir el tiempo. Esta ciencia tiene, de día en día, mayor importancia en el desarrollo económico y social de los países. Ha incorporado, en los últimos tiempos, la tecnología electrónica: radar, láser y sondeos espaciales constituyen hoy elementos, que sirven de apoyo y de ayuda a los importantes problemas que esta ciencia pretende resolver. La utilización de potentes ordenadores en los distintos organismos nacionales e internacionales, donde se manejan millones de datos en las labores de predicción, elaboración de mapas del tiempo y en la modelización, ha posibilitado avances sustanciales en el conocimiento del complejo entramado del tiempo atmosférico.

Desde antiguo, en el amplio campo de la Meteorología han tenido una presencia muy activa los físicos. En este número de la revista del Colegio, una serie de expertos y profesionales han abordado algunos de los aspectos que conlleva la Meteorología.

La climatología, disciplina que estudia el comportamiento medio del tiempo atmosférico en un área determinada necesita tratar una larga serie de datos de variables meteorológicas para definir con precisión el clima. Frecuentemente el término de cambio climático se utiliza mal, ya que se asocian al mismo variaciones de origen natural con las de origen antropogénico. Sin duda, el cambio climático originado por el incremento en la atmósfera de los gases llamados "de efecto invernadero", no es sólo hoy una preocupación científica, sino que además es una cuestión de debate político y social.

Los problemas relacionados con la conservación de la Naturaleza y con el medio ambiente se encuentran en el centro de las preocupaciones humanas. Todos los partidos políticos tienen un programa, en el que se intenta dar respuesta a una problemática. La mayoría de los Gobiernos tienen una cartera ministerial dedicada a estas cuestiones. Un mayor conocimiento de los procesos que gobiernan la circulación global de la atmósfera, nos ayudará a entender mejor lo que sucede con el efecto invernadero, con el ozono estratosférico y la distribución planetaria de la contaminación atmosférica. Los estudios, análisis y reflexiones sobre las repercusiones ambientales de la actividad humana, nos conducen a un nuevo modelo energético y de desarrollo sostenible. La búsqueda de nuevas formas de energías renovables y más limpias como la eólica, la solar, la biomasa, etc, donde el mundo de la Física deberá adquirir un alto protagonismo.

Finalmente, podemos contemplar cómo la Meteorología se encuentra en el centro de las preocupaciones del hombre medio, y los medios de comunicación, especialmente la televisión y la radio, dan, todos los días, información sobre el estado del tiempo. De este modo, el hombre del tiempo se ha convertido en un personaje popular, que todos seguimos con atención, cuando aparece en la pequeña pantalla.

De ahí se deriva la oportunidad de este número de la revista que, a través de una serie de artículos, nos pone en relación con una ciencia y con sus hombres que, día tras día, nos ilustran con una información tan importante, como es la del tiempo.

Para finalizar, quiero agradecer la colaboración en la elaboración de este número, del Instituto Nacional de Meteorología. Como no podía ser de otra forma, una revista dedicada a la meteorología en España debe reconocer la histórica labor de esta institución en nuestro país, y contar con la experiencia y conocimiento de los profesionales que allí trabajan.

25 AÑOS DEL COLEGIO DE FÍSICOS

Hace ya un cuarto de Siglo, por Ley 34 de diciembre de 1976, se creaba el Colegio Oficial de Físicos, que aparecía adscrito al Ministerio de Industria. Han sido 25 años de vida con un doble objetivo: proyectar al físico a las más altas cotas de desarrollo profesional y contribuir a divulgar su opinión sobre aspectos que contribuyen al desarrollo de nuestra sociedad. Su primer Presidente fue Jesús Sancho Rof, quien llegó a desempeñar altos cargos en la vida política española. El Colegio comenzó muy modestamente, incluso sin local propio. Poco a poco, con el esfuerzo de muchos, fue adquiriendo importancia y personalidad.

El Colegio apareció, gracias a la presencia, con veinticinco años de antelación, de la Asociación Nacional de Físicos de España (ANFE). Alma de la ANFE fue Leonardo Villena, que hoy ocupa la Presidencia de Honor del Colegio. Villena supo reunir en torno a la ANFE, a los principales físicos de aquel momento: Armando Durán, Carlos Sánchez del Río, García de Gudal, Jiménez Landi, Fernández Ferrer, Orellana y tantos otros. La ANFE fue el primer intento, serio y coherente, de definir la profesión del físico y de luchar por buscarle salidas profesionales, especialmente en la industria que comenzaba a tener un espectacular desarrollo.

A lo largo de estos años, el Colegio de Físicos se ha ido modernizando hasta llegar a ser lo que es hoy. Nuestra asociación dispone de un apreciable número de colegiados a los que presta asesoramiento. Edita un boletín mensual y esta revista dedicada monográficamente a distintos temas relacionados con la Física. Gestiona una Agencia de Colocación, especialmente dedicada a los colegiados que demandan su primer empleo. Hoy mantiene el Colegio relaciones con importantes instituciones políticas, económicas y científicas, tanto de España como del extranjero y especialmente de Hispanoamérica. Para muchas de ellas, el Colegio se ha convertido en un referente de opinión sobre muchos de los temas que preocupan al ciudadano. En todos ellos, los físicos y su entorno juegan un importante papel, en muchos casos ya consolidado, y en otros, aún por desarrollar.

Tecnologías de la Información, Medio Ambiente, Física Médica, Calidad, etc., son sectores de plena actualidad por los que el Colegio ha apostado consciente de que la profesión del físico es amplia en posibles actividades y cometidos. La figura del físico dedicado a la enseñanza y a la investigación ha reportado gran prestigio a nuestro colectivo, pero también ha sido un tópico extendido en nuestra sociedad que no nos ha ayudado a encontrar un puesto de trabajo en sectores, que como los expuestos, han estado ocupados tradicionalmente por otro tipo de profesionales. El Colegio ha hecho un gran esfuerzo para promocionar estos aspectos. Prueba de ello es el Congreso Nacional del Medio Ambiente, los foros de debate en los que ha intervenido, las publicaciones que ha editado, los recursos judiciales ante diferentes administraciones que ha promovido, los contactos, las reuniones y los debates mantenidos con agentes sociales e instituciones varias.

Nuestros planes de futuro pasan por seguir mejorando en todos los aspectos posibles. Queremos trabajar para que la Ciencia, y la Física, en particular, consigan ser modelos de conocimiento y desarrollo. Con ello lograremos, sin duda, aumentar la presencia de los físicos en nuestra sociedad; pues si bien es cierto que nuestro colectivo necesita esa presencia, no lo es menos que la sociedad nos necesita a su vez. Para conseguir este objetivo, el Colegio tiene la voluntad de integrar en su entorno al mayor número posible de instituciones, asociaciones y empresas relacionadas con la Física, destacando a la totalidad de las facultades de Física de España. La colaboración del Colegio de Físicos con el mundo universitario quiere ser el reflejo del compromiso que nuestro colectivo está asumiendo en la promoción de la enseñanza de la Física.

Somos conscientes de que la deficiente calidad de la enseñanza de la Física y de las Matemáticas en las Enseñanzas Medias es un problema de primer orden que está incidiendo de manera decisiva en la formación posterior, detectándose de manera notable una disminución en el número de estudiantes interesados por estas materias.

Por otro lado, la necesidad de facilitar la incorporación de los físicos al mercado laboral nos hace reiterar la oferta del Colegio hacia las facultades, para incorporar algunos contenidos a la licenciatura, de acuerdo a las necesidades y evolución del mercado.

En ambos sentidos el Colegio mantendrá una actuación activa y continuada, en coordinación con el Ministerio de Educación, las Consejerías de Educación, las facultades, la Real Sociedad Española de Física y otras instituciones comprometidas con esta problemática.

El portal FisicaySociedad, será nuestro proyecto más ambicioso. Es intención del Colegio crear el primer portal sobre Física en Español. Queremos constituir un instrumento aún más efectivo de promoción de la Física, tanto de sus aspectos profesionales, como de aquellos científicos y docentes. Queremos crear un elemento de servicio a la sociedad, que, lejos de afanes corporativistas, cumpla con la que pretendemos que sea nuestra meta para los próximos años: establecer una unión duradera de todos aquellos que nos dedicamos a la Física en España, que sirva para colocar a ésta en las más altas cotas de desarrollo y reconocimiento social.

Predicción y vigilancia meteorológica en el INM

Ángel Rivera Pérez

Jefe del Área de Predicción y Aplicaciones del INM

El proceso de la predicción meteorológica desde un enfoque científico es muy similar al que se utiliza en Medicina para tratar a los enfermos. Hace falta un análisis, cuyos datos, interpretados por especialistas, deben conducir a una correcta diagnosis. A partir de la misma, se debe establecer una prognosis sobre la posible evolución y, como paso final, se comunica a los interesados mediante lenguajes y formatos que posibiliten una comprensión adecuada.



Radar meteorológico.

El análisis meteorológico requiere realizar varias veces al día en todo el Globo una serie de medidas de variables atmosféricas (presión, temperatura, viento, humedad...) tanto en superficie como en los distintos niveles atmosféricos, alcanzando como mínimo los 10 o 12 Km. de altura. Estas observaciones se obtienen por radiosondeos, satélites, barcos, aviones, radares y estaciones de observación en superficie. Inmediatamente después de ser obtenidas, se distribuyen por líneas especiales de comunicación a los distintos Servicios Meteorológicos donde se procede a realizar varios tipos de análisis con el fin de construir con toda celeridad una especie de "retrato robot" del estado de la atmósfera, bien sobre grandes áreas geográficas o en zonas mucho más restringidas. Indudablemente, la

calidad y fiabilidad de este "retrato robot" va a depender en gran medida de la que posean las distintas observaciones realizadas así como del número de las mismas. El problema es si éstas, que son lógicamente bastante limitadas al menos en amplias zonas del planeta, han sido capaces de recoger las características fundamentales o críticas de la situación atmosférica en cuestión.

A partir de los análisis anteriores se desarrolla un doble camino. Por una parte los predictores establecen a partir de ellos, utilizando sus conocimientos científicos y técnicos, la diagnosis de la situación atmosférica, es decir, la conclusión en cuanto a qué mecanismos y de qué modo están actuando en la atmósfera sobre una zona geográfica concreta. Ello permite, a través de la utilización de modelos conceptuales y de técnicas más o menos complejas de extrapolación, tener una idea muy aproximada de cómo debe ser la evolución detallada de la misma en las próximas una a tres horas y con menos detalle entre las tres y doce siguientes. Por otra parte, y ya de modo objetivo y automático, a través de ordenadores, se establece otro tipo de análisis que asigna a cada punto de una rejilla geográfica, tanto en superficie como en altura, valores interpolados a partir de los datos anteriormente obtenidos. A continuación, se aplican a todos esos valores las fórmulas físico-matemáticas que representan las leyes atmosféricas y se comienza a calcular su evolución con el paso del tiempo mediante sucesivas integraciones. Una estimación de la gran cantidad de operaciones a realizar puede obtenerse si se considera que

un proceso normal de este tipo tiene en cuenta varios miles de puntos de rejilla para cada uno de los posibles 30 a 50 niveles atmosféricos y considerando para cada punto 5 o 6 variables. Si se tiene también en cuenta que estos cálculos deben ser realizados en muy poco tiempo, - el que media desde que se reciben los datos hasta que el predictor requiere los resultados para preparar a horas fijadas los productos para los usuarios-, se comprenderá fácilmente la razón por la que los Servicios Meteorológicos desarrollados requieren potencias de cálculo muy altas. El resultado de todo ello es la obtención de un gran número de matrices de números que representan los nuevos campos previstos a horas o días de las distintas variables atmosféricas. Estas matrices pueden utilizarse directamente o modificadas por los predictores para un número creciente de productos pero, en general, se transforman en los mismos ordenadores en campos gráficos mucho más conocidos y accesibles para el trabajo de los predictores o para su difusión pública. Todo este proceso científico y técnico, que se acaba de describir, se denomina predicción meteorológica a corto y medio plazo mediante modelos numéricos.

La calidad de los resultados de estos modelos depende por una parte de la resolución espacial de los mismos, es decir del tamaño mínimo de las estructuras atmosféricas que son capaces de "ver" y de manejar, así como de la fidelidad con que sean capaces de representar los distintos y complejos procesos atmosféricos que intervienen en su evolución. Sin embargo, la mayor limitación proviene de la calidad del análisis inicial del cual parten. Si el análisis no es correcto, la evolución prevista por el modelo se puede apartar con gran rapidez de la evolución real y conducir a pre-

dicciones erróneas. Por ello, una parte importante del trabajo de los predictores consiste en realizar un estudio crítico del modelo o modelos de que dispone comparando las evoluciones que presentan en las primeras horas de evolución con los criterios



Garita meteorológica.

obtenidos por ellos mismos a través de la realización del proceso de diagnosis anteriormente descrito. Todo ello, junto con los conocimientos previos que poseen sobre el comportamiento de los modelos en distintas situaciones y con los resultados obtenidos por otras técnicas de predicción tales como la predicción por conjuntos o "ensemble prediction", que da

"El análisis meteorológico requiere realizar varias veces al día en todo el Globo una serie de medidas de variables atmosféricas (presión, temperatura, viento, humedad...) tanto en superficie como en los distintos niveles atmosféricos, alcanzando como mínimo los 10 o 12 Km. de altura."

una idea sobre las distintas evoluciones posibles y su grado de fiabilidad, conduce a una toma de decisiones en tiempo real sobre cuál va a ser la evolución atmosférica más probable y a partir de ahí desarrollar las predicciones para los distintos usuarios.

La predicción mediante modelos puede abarcar desde un punto de

vista práctico los períodos de tiempo que van entre las 8 o 10 horas en avance hasta los ocho o nueve días en el mejor de los casos, y ello con serias limitaciones dependiendo de la situación atmosférica concreta y de la época del año. No son muy raras las situaciones para las

que es muy difícil ir más allá de las 60 o 72 horas. Por lo que respecta a las predicciones de carácter mensual, estacional o anual debe quedar claro que no se realizan todavía en Europa con carácter operativo, si bien existen varios modelos experimentales que todavía ofrecen resultados bastante pobres para Europa. En cualquier caso, es muy posible

que, aún siendo conscientes de sus fuertes limitaciones para España, próximamente el INM comience a generar algunos productos de este tipo, dada la creciente demanda de los mismos y la difusión que a través de Internet se está produciendo ya de algunos de ellos.

Para períodos de tiempo inferiores a las cuatro a seis horas, que no son adecuadamente resueltos todavía por los modelos numéricos, es preciso utilizar otras técnicas denominadas de predicción inmediata o de muy corto plazo y que se desarrollan a partir de extrapolaciones más o menos complejas de los datos obtenidos con gran resolución espacial y temporal mediante teledetección (radares, satélites, redes de detección de rayos...) y estaciones automáticas de superficie. Ello requiere también una vigilancia continuada de la evolución atmosférica y una rápida toma de decisiones sobre posibles envíos de avisos o de rectificación de predicciones. Debe tenerse en cuenta que, aunque la posible ocurrencia de fenómenos adversos tales como tormentas o lluvias intensas pueden ser previstos por los modelos numéricos con ca-

rácter general, para una amplia zona geográfica, y para un período de tiempo relativamente amplio, la determinación mas concreta del lugar y momento de ocurrencia sólo puede ser aproximado, y no siempre, por este tipo de técnicas y de actividades.

Si bien el predictor realiza una única predicción básica cada seis u ocho horas, ésta debe traducirse en gran cantidad de productos adecuados a las necesidades y características del gran número de usuarios. Aunque durante muchos años los destinos básicos de las predicciones meteorológicas eran las actividades aeronáuticas y marítimas, el aumento en la calidad registrado en los últimos años ha conducido a que la cantidad de usuarios haya crecido espectacularmente en número y diversidad. Debe reseñarse, en cualquier caso, el carácter de usuario prioritario que, junto con la Aeronáutica, representan los organismos



Jardín meteorológico en el que se reúnen varios instrumentos de medida

responsables de la Protección Civil, ya que la protección de vidas y bienes es la prioridad más alta de cualquier Servicio Meteorológico.

Las singularidades españolas en relación con la predicción

El área geográfica de la Península Ibérica se caracteriza desde el punto de vista atmosférico por ser

una zona de frecuentes y complejos contactos entre circulaciones de carácter subtropical y de latitudes medias. A ello se suma la acción del mar Mediterráneo con una gran capacidad de acumular y de proporcionar energía para los procesos atmosféricos

“El área geográfica de la Península Ibérica es una zona de difícil predicción, caracterizada por el frecuente desarrollo de fenómenos adversos o violentos como lluvias torrenciales, tormentas severas, vientos fuertes, olas súbitas de calor o de frío, etc.”

cos que se desarrollan en esta zona, así como la compleja y abrupta orografía de la Península. Todo ello configura un entorno de difícil predicción caracterizado por el frecuente desarrollo de fenómenos adversos o violentos como lluvias torrenciales, tormentas severas, vientos fuertes, olas súbitas de calor o de frío, etc.

La situación expuesta conduce a la consideración de que en esta zona geográfica deben utilizarse las mejores técnicas de predicción que se encuentren disponibles. Sin embargo, cualquiera de estas técnicas, y

muy en especial los modelos numéricos, presentarán graves deficiencias si los análisis de partida, a los que se hacía referencia más arriba, también las presentan, debido a la escasez o a la falta de calidad de los datos de observación. Pues bien, éste es un grave problema en esta zona si se tiene en cuenta que gran parte de las perturbaciones que la afectan provienen de África o del

Atlántico subtropical donde la cobertura de datos es muy escasa.

Una consecuencia muy significativa, aunque no única, de esta situación es la dificultad de predicción de las lluvias intensas mediterráneas ya que a los problemas propios de este tipo de situaciones se suma, de modo muy significativo, la dificultad que sufren los análisis para ubicar correctamente la situación de la borrasca de niveles altos ("gota fría") que interviene parcialmente en buena parte de este tipo de situaciones. Debe tenerse en cuenta que, un pequeño error en la localización u orientación de esta perturbación, puede conducir a un error muy serio en la predicción para el área Mediterránea, que puede pasar de tiempo soleado a lluvias torrenciales o viceversa.

Debido a este tipo de problemas, el INM ha apostado desde hace varios años por utilizar intensivamente datos y técnicas de teledetección que permitan al menos paliar la falta de otro tipo de datos en el entorno geográfico de interés y que posibiliten al mismo tiempo una vigilancia adecuada de los distintos fenómenos adversos que nos afectan. Es obvio decir, para finalizar, que todo lo anterior requiere necesariamente, para ser útil, un esfuerzo continuado de formación especializada y de entrenamiento de los predictores.

Las actividades de predicción operativa en el INM

Las unidades operativas de predicción del INM son el Centro Nacional de Predicción (CNP) ubicado en la Ciudad Universitaria en Madrid y los once Grupos de Predicción y Vigilancia regionales (GPVs) ubicados en los Centros Meteorológicos Territoriales de Galicia, Cantabria y Asturias (responsable también de la predicción para el País Vasco), Castilla y León, Madrid y Castilla la Mancha, Cataluña, Baleares, Valencia (responsable también de la comuni-

dad Murciana para la predicción), Navarra, Aragón y Rioja, Andalucía Occidental (responsable también de la predicción para Extremadura), Andalucía Oriental y Canarias.

Los GPVs realizan diariamente una labor continuada de vigilancia y predicción a muy corto plazo relacionada especialmente con los fenómenos adversos y la realización de avisos y predicciones específicas para Protección Civil y otros usuarios, así como con las actividades de soporte aeronáutico. Desarrollan también tres predicciones diarias, hasta 36 o 48 horas, para el ámbito autonómico y provincial y una, hasta cuatro días, para el ámbito autonómico.

Por su parte el CNP desarrolla productos de carácter nacional, coordina la operatividad de todos los GPV en las predicciones hasta 48 horas y dirige las actividades de predicción entre 48 horas y nueve días. Además, realiza una vigilancia general de carácter aeronáutico y de apoyo a la realizada por los GPVs, así como productos internos de soporte para todas las actividades de predicción.

Las herramientas básicas de predicción en el INM son el modelo de predicción numérica HIRLAM-INM, que se calcula cuatro veces al día con resoluciones espaciales de unos 17 y 40 Km., productos de otros modelos numéricos extranjeros o del Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo y distintas técnicas de predicción estadística. Para la realización de la vigilancia y predicción a muy corto plazo se utilizan, entre otros medios, la red de radares meteorológicos del INM, la red de detección de rayos, las imágenes en alta resolución de tres satélites meteorológicos y la red de estaciones automáticas y convencionales.

Consideraciones finales

La predicción meteorológica ha

experimentado un avance sustancial en los últimos años alcanzando un nivel alto de fiabilidad y de concreción que cada vez es más apreciado por los distintos usuarios. Pero, junto a esta evolución, se presentan nuevos problemas y retos que deben ser resueltos si se quieren aprovechar todas las posibilidades que las nuevas técnicas y productos ofrecen. Es interesante hacer referencia, siquiera sea de modo sucinto, a alguno de ellos.

En primer lugar surge la cuestión del modo de comunicar a los usuarios, sobre todo a los de carácter general, una información cada vez más rica y fiable pero también más amplia



Antena satélite

y compleja. Debe considerarse a este respecto que en la actualidad ya es posible asignar un nivel de probabilidad de ocurrencia de los distintos elementos que conforman una predicción a medio plazo (o también de la incertidumbre de ocurrencia) y éste es, desde luego, el mayor y mejor nivel de información posible...¿Cómo se puede comunicar todo ello al ciudadano medio de forma que le resulte comprensible y no eche de menos la "vieja" predicción determinista?

Otra cuestión importante es el papel del elemento humano en las actividades de vigilancia y predicción meteorológica en los próximos diez o quince años. Si bien cabe conside-

rar que la "sinergia", que puede ofrecer la visión integrada de un predictor experimentado y bien formado y perfecta y regularmente entrenado, puede ser crucial para añadir un valor sensible sobre todo a las actividades de vigilancia y de predicción a muy corto plazo, también debe considerarse el esfuerzo continuado que los Servicios Meteorológicos deberán desarrollar para mantener equipos de predictores de estas características sobre todo en entornos organizativos con dificultades administrativas o económicas.

Por último, y en cierta conexión con lo anterior pero desde un punto de vista más amplio, surge la cuestión de cuál debe ser la línea a seguir por los Servicios Meteorológicos por lo que se refiere a productos de predicción en un entorno tan competitivo y variado como el actual propiciado fundamentalmente por los medios de comunicación y sobre todo por Internet...¿Se debe competir en todos los campos?, ¿se deben seleccionar cuidadosamente éstos, tomando unos y abandonando otros?, ¿deben existir una serie de productos que posean siempre un nivel de calidad irrenunciable como "marca de fábrica" de un Servicio Meteorológico

aparte de cualquier otra consideración "calidad / cantidad"? ¿cuáles deben ser las actividades o productos básicos e irrenunciables de un Servicio Meteorológico?

Todos los Servicios Meteorológicos tienen que ir respondiendo de modo ineludible a estas cuestiones y proceder a organizarse de modo adecuado a las decisiones tomadas. Lógicamente, todo ello afecta a nuestro Instituto Nacional de Meteorología donde estas decisiones tienen que ser adoptadas teniendo también muy en cuenta las características de nuestra meteorología, la realidad administrativa del Estado y la sociología del usuario español.

Redes de vigilancia de parámetros meteorológicos

Manuel Lambás Señas

Jefe del Área de Redes y Sistemas de Observación del INM

Para obtener una adecuada vigilancia de los fenómenos meteorológicos, es necesario contar con una serie de sistemas que controlen los distintos parámetros. Dentro de estos sistemas de control, se encuentran las estaciones meteorológicas automáticas, y las técnicas de teledetección o medida a distancia: satélites meteorológicos y detección de rayos. El autor, en el artículo, hace una breve descripción de cada uno de ellos.

La observación meteorológica es la actividad dirigida a la obtención de datos sobre las distintas variables físicas que describen el estado de la atmósfera en un instante determinado. Estas observaciones son los datos de partida para:

- La confección de análisis de las diferentes variables meteorológicas y la predicción de su evolución utilizando modelos numéricos de predicción del tiempo.
- La diagnosis del estado de la atmósfera y la predicción de su evolución a muy corto plazo utilizando modelos conceptuales y técnicas de extrapolación.
- La realización de estudios encaminados al conocimiento del clima.

Para el estudio de la atmósfera y para la predicción de la evolución de su estado, se precisa conocer datos de observación globales, aunque solamente nos ocupe una zona geográfica concreta. Así, por ejemplo,

para realizar predicciones a medio plazo basadas en modelos numéricos, es necesario alimentar los modelos de predicción numérica del tiempo con observaciones que den cuenta del estado de la atmósfera en su globalidad.

“La observación meteorológica es la actividad dirigida a la obtención de datos sobre las distintas variables físicas que describen el estado de la atmósfera en un instante determinado”.

Por otra parte, el problema de la vigilancia y predicción a muy corto plazo de fenómenos meteorológicos violentos, con ciclo de vida relativamente corto y escala espacial reducida, tales como sistemas convectivos responsables de lluvias torrenciales, tornados, etc., no se puede abordar si no se cuenta con sistemas de observación que proporcionen datos

muy frecuentes a escalas espacial y temporal. Estos requisitos sólo se pueden satisfacer con sistemas de observación automática, capaces de obtener y transmitir los datos de observación en tiempo real, sin contar con la intervención humana.

Las medidas de los parámetros meteorológicos, tales como temperatura, humedad, presión, viento, etc., se obtienen normalmente colocando el instrumento o equipo de observación en el lugar en que queremos medirlos. Este tipo de medidas se denominan "in situ". Los instrumentos o sensores pueden ir transportados en un avión o en un globo-sonda, si se quieren obtener medidas de la estructura vertical de la atmósfera.

Sin embargo, para alcanzar los requerimientos de resolución espacial y temporal y la cobertura geográfica indispensables para satisfacer las necesidades de observación que plantea la meteorología, no es suficiente contar con redes de observación basadas en este tipo de instrumentación. Hay que tener en cuenta que las tres cuartas partes del planeta corresponden a océanos y mares y que la mayor parte de las tierras emergidas están despobladas, así como el considerable costo econó-

mico que supondría la instalación y mantenimiento en operación de sistemas de observación basados en medidas "in situ". Por ello ha sido necesario potenciar la utilización de técnicas de teledetección o de medida a distancia.

En base a su interés para la vigilancia de parámetros meteorológicos, describiremos a continuación las estaciones meteorológicas automáticas, como componentes de redes de observación meteorológica "in situ" y los satélites, radares meteorológicos y detectores de rayos, como componentes de redes de teledetección.

Estaciones meteorológicas automáticas.

En los últimos años, con la utilización de instrumentación electrónica y el progreso de la microinformática y de las comunicaciones, se han desarrollado estaciones capaces de obtener, almacenar y transmitir a distancia, datos relativos a la mayoría de las variables meteorológicas sin el concurso de la intervención humana. Estas estaciones se conocen como estaciones meteorológicas automáticas y se utilizan para:

- Incrementar la densidad espacial de una red existente proporcionando datos de lugares despoblados o de difícil acceso.
- Completar las observaciones de las estaciones convencionales, con datos obtenidos fuera de las horas de trabajo del personal.
- Incrementar la calidad del dato con la utilización de sensores de nueva tecnología.
- Reducir errores humanos.
- Reducir los costes operacionales, mediante la reducción del núme-

ro de observadores de la estación.

En general, una estación meteorológica automática consiste en:

- Sensores instalados en el exterior, de acuerdo con las normas existentes para la exposición de sensores meteorológicos, conectados al sistema central de proceso mediante cables aislados, fibra óptica o enlaces radio.
- Un sistema central de proceso para la adquisición y conversión de datos y su adecuado tratamiento mediante algoritmos específicos, al-



Radar meteorológico

macenamiento temporal de los datos procesados y transmisión de la información meteorológica a usuarios remotos.

- Equipos periféricos, tales como fuentes de alimentación eléctrica, reloj en tiempo real, equipo de test para monitorización de las distintas partes de la estación y, en algunos casos, terminales para entrada y edición manual de los datos, dispositivos de visualización e impresoras o registradores.

Las estaciones meteorológicas automáticas se utilizan para satisfacer distintas necesidades de observación, por lo que pueden clasificarse en distintos grupos funcionales, aunque, en general, se clasifican en dos grandes grupos atendiendo a la forma en que se utilizan los datos de observación:

- Estaciones en tiempo real, que suministran los datos a los usuarios en tiempo real a horas programadas, pero también en condiciones de alarma o de petición externa. Los datos suministrados por estas estaciones se utilizan para el análisis del estado de la atmósfera y para la vigilancia de episodios meteorológicos violentos tales como tormentas, precipitaciones y vientos intensos, etc.

- Estaciones sin línea, que registran los datos de observación en el mismo emplazamiento de la estación en dispositivos de almacenamiento para su utilización posterior. Estas son las típicas estaciones climatológicas.

Ambos tipos de estaciones realizan automáticamente medidas de viento, temperatura y humedad del aire, precipitación y presión atmosférica y pueden dotarse de medios adicionales para la introducción o edición de observaciones visuales, que todavía no están completamente automatizadas, tales como el tiempo presente o pasado o las observaciones cuya automatización representaría un coste muy elevado, tales como la visibilidad o la altura de nubes.

En general, las estaciones meteorológicas automáticas forman parte de una red, transmitiendo las observaciones realizadas a un sistema de concentración, encargado del control y explotación de los datos obtenidos.

El Instituto Nacional de Meteorología cuenta con una red de 240 estaciones, distribuidas por toda la geografía nacional, que realizan observaciones de viento, temperatura y humedad del aire y precipitación a intervalos de 10 minutos. Estos datos se transmiten por la red telefónica conmutada a quince concentradores regionales y a un concentrador nacional, que están encargados del almacenamiento y explotación meteorológica de los datos obtenidos, así como del transvase a los sistemas de vigilancia operativos.

Además, en la actualidad se está procediendo a la instalación de sistemas de observación automáticos en 45 Observatorios de la red sinóptica de superficie, con capacidad para introducir datos adicionales por parte del personal observador.



Estación automática

Satélites meteorológicos

Los satélites meteorológicos constituyen el subsistema espacial del sistema mundial de observación, y su principal objetivo es completar la información facilitada por el subsistema terrestre de una forma económicamente viable. Actualmente

se clasifican en dos grupos, de acuerdo a las características de su órbita: polares y geoestacionarios.

Los satélites polares orbitan a una altitud aproximada a los 850 km pasando cerca de los polos. Debido al tiempo empleado en completar una órbita y a la rotación de la Tierra, cada órbita cruza el Ecuador unos 25° de longitud más al Oeste que la anterior, por lo que este tipo de satélites pueden observar la totalidad de la Tierra cada 12 horas, proporcionando una cobertura global y relativamente detallada.

Los satélites geoestacionarios están situados a una altitud aproximada de 36000 km y su órbita está contenida en el plano ecuatorial. Su periodo orbital coincide con el de rotación de la Tierra, de forma que permanecen prácticamente inmóviles con respecto a ella. Estos satélites proporcionan información frecuente de su zona de cobertura por lo que son esenciales para la vigilancia y predicción a muy corto plazo.

Los dos tipos de satélites son complementarios. Los geoestacionarios proporcionan medidas y una vigilancia prácticamente continua en las zonas tropicales y templadas y los polares proporcionan cobertura global con mayor detalle y precisión, aunque con menor resolución temporal.

El sistema teórico de satélites meteorológicos está formado por dos satélites de órbita polar y cinco de órbita geoestacionaria posicionados en las longitudes 0°, 75°W, 135°W, 140°E y 75°E. Por su importancia para la meteorología española, se describen en resumen los programas METEOSAT y TIROS-N.

El programa METEOSAT es responsabilidad del organismo europeo EUMETSAT desde 1986. Actualmente se encuentra operativo el METEOSAT-7, que fue lanzado el 2 de septiembre de 1997.

La misión principal del METEOSAT es la toma de imágenes en tres

bandas o canales del espectro radioeléctrico (visible, infrarrojo y vapor de agua). El instrumento encargado de esta misión es un radiómetro de exploración por barrido, que es típico de los satélites meteorológicos geoestacionarios estabilizados por rotación.

Cada 30 minutos el radiómetro proporciona información actualizada sobre la porción de globo terrestre accesible desde su posición (un disco de 65° centrado en la intersección del Ecuador con el meridiano 0°). Esta información se transmite a tierra donde es procesada en el Centro de Operaciones y difundida a los usuarios a través del propio satélite por medio de dos emisiones: la emisión digital, adecuada para una utilización cuantitativa de la información, y la emisión analógica, adecuada únicamente para su uso cualitativo.

Las imágenes se utilizan directamente para la vigilancia y predicción a muy corto plazo, ya que al disponer de información actualizada cada 30 minutos, es posible vigilar la evolución de las formaciones nubosas. Además, estas imágenes son objeto de posterior proceso para la obtención de productos que proporcionen información cuantitativa, como, por ejemplo, los vectores de viento calculados a partir del desplazamiento de los elementos nubosos en imágenes sucesivas.

En el próximo año 2002, está previsto el lanzamiento de un nuevo satélite METEOSAT de Segunda Generación (Programa MSG). Estos nuevos satélites incluyen importantes mejoras con respecto a la generación operativa actualmente, entre las que se encuentra un nuevo radiómetro que producirá imágenes cada 15 minutos en lugar de los 30 actuales, y en doce canales del espectro electromagnético, en lugar de los tres actuales. Estas mejoras serán de inapreciable ayuda para la vigilancia y predicción de fenómenos tales como tormentas, nieblas y

desarrollos de pequeñas, pero violentas depresiones.

El programa TIROS-N es responsabilidad del organismo NOAA de Estados Unidos y consta en la actualidad de dos satélites polares, con planos orbitales perpendiculares entre sí, de forma que cada seis horas uno de estos satélites repite la observación en una zona determinada de la Tierra. La desventaja de la escasa resolución temporal de estos satélites, en comparación con los geoestacionarios, se compensa por otras ventajas, tales como:

- Proporcionar una cobertura geográfica global, ya que las zonas polares no pueden ser observadas con los satélites geoestacionarios.

- Generar información de mayor calidad radiométrica y una mayor resolución espacial, al estar su órbita situada relativamente cerca de la superficie terrestre.

Desde el punto de vista de la observación estos satélites tienen dos misiones: la toma de imágenes en tres bandas infrarrojas y dos visibles del espectro electromagnético, llevada a cabo por el radiómetro y la de obtener medidas de temperatura y humedad en capas atmosféricas a distinta altitud, misión de sondeo atmosférico llevada a cabo por instrumentos agrupados mediante el acrónimo ATOVS. Esta misión permite obtener información de la distribución vertical de la temperatura y humedad en la atmósfera con una resolución espacial horizontal de unos 100 km y una resolución temporal de 6 horas con los dos satélites, aunque los datos obtenidos no alcanzan la calidad de los sondeos termodinámicos realizados con sistemas de observación "in situ" efectuados con radiosondas transportados en globos.

El Instituto Nacional de Meteorología dispone de una estación de recepción principal en la sede central, con antenas para recibir las señales de los satélites geoestacionarios METEOSAT y GOES y los polares de

NOAA, a la que está asociado un potente sistema informático de proceso de las imágenes que está conectado con los centros regionales que tienen responsabilidades de predicción y vigilancia.

Si los satélites meteorológicos permiten cubrir de forma prácticamente continua grandes extensiones atmosféricas y proporcionan información sobre la zona superior y estructura externa de las formaciones nubosas, los radares meteorológicos son el complemento adecuado para la vigilancia por su capacidad de proporcionar información sobre la estructura interna y distribución de la precipitación en el interior de las nubes.

“El INM cuenta con una red de 240 estaciones, distribuidas por toda la geografía nacional, que realizan observaciones de viento, temperatura y humedad del aire y precipitación a intervalos de 10 minutos”.

Radares meteorológicos

Las observaciones efectuadas por los radares meteorológicos son fundamentales para la detección y predicción de la evolución de fenómenos meteorológicos violentos, así como para la obtención de información cuantitativa de variables meteorológicas de gran interés, tales como la precipitación y el viento, a través de las actuales técnicas de proceso.

El fundamento de la operación del radar meteorológico es el siguiente:

- El equipo genera frecuentes pulsos de energía en el rango de las radiofrecuencias del espectro electromagnético.

- Esta energía es concentrada en un haz muy estrecho por medio de una antena rotatoria, que va enfocando a distintas radiales y distintas elevaciones. De este modo el radar realiza una exploración volumétrica completa de todos sus alrededores,

tanto en la horizontal como en la vertical.

- La energía radiada interacciona con el medio atmosférico, las nubes y la precipitación, siendo retrodispersada de nuevo hacia la antena en forma de eco. La energía devuelta depende del tipo y tamaño de las partículas que componen la nube, siendo apreciable para el caso de existencia de gotas o elementos de precipitación.

- De la posición en azimuth y elevación de la antena en el momento de recibir el eco, así como del tiempo transcurrido entre la emisión del pulso y la recepción del eco, el equipo radar deduce la localización en el espacio de las zonas de precipitación, así como una estimación de la intensidad de precipitación en función de la intensidad del eco devuelto.

El proceso completo de observación se realiza en un corto periodo de tiempo, por lo que los productos radar pueden ser explotados en tiempo real, con imágenes resultantes a intervalos de 10 minutos.

Los productos típicos proporcionados por un radar son:

- Cortes horizontales, que informan de la distribución e intensidad de la precipitación a distintas alturas.

- Imágenes integradas que sintetizan la información contenida en el conjunto de cortes horizontales, tales como los "echotop" o altura máxima de los ecos de precipitación, la imagen con los máximos de precipitación y la imagen que representa la altura a la que se encuentran dichos máximos.

- Si los equipos radar están dotados de capacidad doppler, se puede medir además de la intensidad de los ecos, su velocidad de desplazamiento, lo que permite obtener información acerca de la turbulencia.

- Imágenes de estimación de la precipitación acumulada en periodos de tiempo establecidos, basados en el cálculo de acumulaciones horarias.

- Imágenes de extrapolación, que dan idea del probable desplazamiento de los ecos de precipitación, calculado a partir del movimiento observado en imágenes consecutivas previas.

Los radares meteorológicos suelen estar agrupados en redes, de forma que pueden obtenerse productos de composición con algunos de los productos obtenidos en los radares individuales. De este modo se pueden obtener mosaicos que pueden dar información sobre la precipitación que se está produciendo en una zona extensa, tal como una nación.

El Instituto Nacional de Meteorología cuenta con una red de catorce radares distribuidos adecuadamente para obtener una cobertura nacional. Los equipos radar están instalados en lugares elevados con respecto a sus alrededores, de modo que la cobertura espacial no resulte muy disminuida por apantallamientos debidos a nuestra compleja orografía. Los datos de observación obtenidos en el radar, se transmiten por radioenlaces de microondas hasta los sistemas de control y proceso de la información ubicados en los Centros Meteorológicos Territoriales.

Las características fundamentales de esta red, que la hacen estar entre las más avanzadas a nivel mundial son:

- equipos dotados de capacidad doppler,
- elevado grado de automatismo y capacidad de control sobre el equipo radar que opera en un lugar remoto,
- generación de mosaicos nacionales con la información radar y productos derivados generados en cada uno de los sistemas regionales.

Cada 10 minutos los radares realizan dos exploraciones completas: una en modo normal, que da información de los ecos producidos en un radio de 240 km; y otra en modo doppler con un alcance reducido a

un radio de 120 km, que proporciona información adicional relativa al desplazamiento de los ecos y la turbulencia.

Detección de rayos

En una nube típica de tormenta, se produce una separación de cargas eléctricas, quedando cargada positivamente la parte superior de la nube y negativamente su parte inferior. Esta separación de cargas da lugar a la existencia de fuertes campos eléctricos en el interior de la nube y entre la base de la nube y el suelo, que se carga por influencia. Cuando el campo eléctrico creado es lo suficientemente intenso, se produce la descarga, bien entre dos partes de la misma nube o entre la nube y el suelo. Aunque la forma más frecuente de descarga eléctrica es la que se produce en el interior de la nube, es la descarga entre la nube y la superficie terrestre, conocida por rayo, la que tiene gran importancia a efectos de vigilancia, dado los efectos que puede producir.

El proceso típico de descarga en rayo transfiere carga negativa desde la base de la nube a la superficie terrestre (rayo de polaridad negativa) y está compuesto de uno a tres pulsos o subdescargas con una intensidad de corriente comprendida entre 10 y 20 kiloamperios. Aunque con menos frecuencia, se producen también rayos que transfieren carga negativa desde la superficie del suelo a la parte superior de la nube (rayo de polaridad positiva). Sin embargo, estos rayos positivos suelen tener mayor intensidad y por lo tanto, mayores efectos dañinos.

La corriente asociada a las descargas genera energía electromagnética en un amplio espectro del dominio de las radiofrecuencias. Esta energía radiada es la que permite detectar y localizar los rayos, determinando sus características.

Los equipos detectores son ra-

diogoniómetros dotados de una electrónica que les permite discriminar, de entre todas las señales electromagnéticas incidentes, aquellas que son características de las ondas generadas por la descarga del rayo. Cada equipo es capaz de detectar un porcentaje superior al 90% de los rayos que se producen en un círculo de 370 km de radio, centrado en el detector, midiendo además la polaridad de la descarga, su amplitud, el azimut de procedencia y el instante en que se produce.

La red de detección de rayos del Instituto Nacional de Meteorología consta de quince equipos detectores distribuidos geográficamente para obtener una cobertura global y un sistema central encargado del control de la red y el proceso de la información recibida por los detectores, así como del transvase de información a los sistemas de vigilancia operativos en el INM.

Las prestaciones alcanzadas por la red se pueden resumir en una eficacia de detección del 90% de los rayos producidos en la España peninsular, islas Baleares y mares circundantes, y una precisión de 500 metros en su localización.

Conclusión

Cada uno de los sistemas indicados con anterioridad, no resuelve individualmente el problema de obtener una adecuada vigilancia de los fenómenos meteorológicos potencialmente peligrosos. Para caracterizar suficientemente la formación, desarrollo y evolución a muy corto plazo de fenómenos tales como tormentas, lluvias torrenciales, vientos violentos, etc., es necesario utilizar una adecuada combinación de las redes y sistemas mencionados, dando lugar a una observación lo más completa posible, que llegue a los Centros de Predicción y Vigilancia en tiempo real para obtener las conclusiones oportunas.

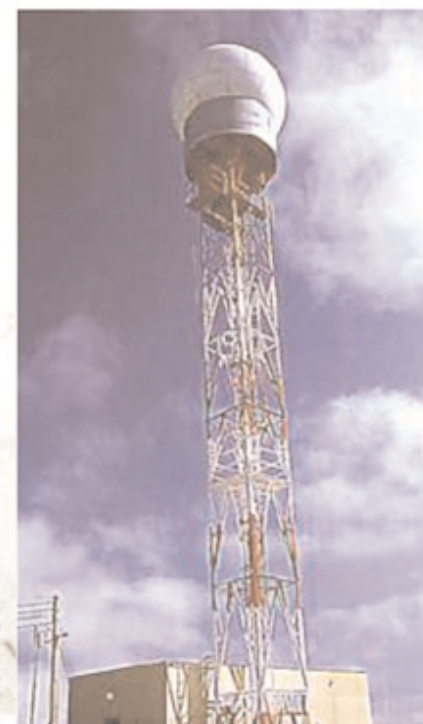


**MCV, S.A. UNA EMPRESA NACIONAL DE
DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE EQUIPOS
PARA EL MEDIO AMBIENTE ATMOSFÉRICO**

Instalación, mantenimiento y explotación de equipos, estaciones y redes de medida de contaminación atmosférica y variables meteorológicas.



Red de estaciones EMEP/CAMP. Barcarrota. Ministerio de Medio Ambiente.



Radar meteorológico. Monte Puig Bernat, Vallirana. Generalitat de Catalunya. D.M.A.



Mantenimiento de estaciones meteorológicas remotas. Pirineo, a 3000 m de altura. Sant Julià de Lòria. Andorra.



Red de estaciones meteorológicas. Comunicación por VSAT. Generalitat de Catalunya. D.M.A.



MCV, S.A.

Carretera Nacional-II, km. 575
08293-COLLBATÓ (Barcelona)
Tel. 93 777 05 00 Fax. 93 777 05 50
e-mail: cial@mcvsa.com



Formación e información en la meteorología y climatología

Jaime García-Legaz Martínez.

*Subdirector General de Atención al Usuario y Formación.
Instituto Nacional de Meteorología.*

En este artículo se pretenden exponer las principales actividades que el Instituto Nacional de Meteorología realiza en cumplimiento de las funciones que tiene encomendadas en estas dos importantes misiones de la Meteorología y la Climatología al servicio de la sociedad: formar e informar, que contribuyen al bienestar y calidad de vida de los ciudadanos.

La formación meteorológica

La educación y el adiestramiento en la Meteorología y la Climatología admiten diferentes niveles y tipos de actividades formativas:

a) El nivel básico, de cultura general, que debiera adquirirse a lo largo de la Enseñanza Secundaria Obligatoria y Bachillerato en las asignaturas que incluyen el conocimiento descriptivo del comportamiento de la

atmósfera, sus movimientos y fenómenos, las variables meteorológicas, los instrumentos y las unidades de medida, familiarización con el léxico meteorológico, así como las características y tipos de clima, importancia del cambio climático, la meteorología y climatología como parte de las ciencias medioambientales, contaminación atmosférica e impacto medioambiental,...

La comprensión de estos conocimientos conlleva el estudio previo o simultáneo de los correspondientes a las Matemáticas y Física de esos niveles, imprescindibles para entender los conceptos básicos de la Meteorología y la Climatología.

b) El nivel universitario en la enseñanza de la Meteorología y Climatología (licenciatura y cursos de

postgrado) requiere una importante ampliación y profundización en Matemáticas y Física (Análisis Matemático, Cálculo Numérico, Estadística, Investigación Operativa, Dinámica de Fluidos, Termodinámica de la Atmósfera, Modelización Numérica, etc.) y un avance en la exploración de las relaciones entre la meteorología y el clima con el medio ambiente, variaciones climáticas, simulaciones de los modelos del tiempo y el clima, interacciones entre los subsistemas atmosféricos dentro del sistema climático, prevención de riesgos meteorológicos naturales, vigilancia del cambio climático global, variabilidad y predictibilidad climática, modelización climática, desertificación, efecto invernadero, química atmosférica (perturbación del ozono, influencia de los CFC, etc.), de donde se deduce la multidisciplinariedad de los conocimientos en la enseñanza a nivel universitario que exige una estrecha relación entre diversos Departamentos Universitarios, además de los de Física del Aire, que deben colaborar con sus medios, instalaciones y profesorado para fortalecer la formación especializada de los alumnos.

Un ejemplo de ello lo constituye el Curso Magíster en Climatología Aplicada y Evaluación de Riesgos Medioambientales para postgraduados en el que colaboran el INM y distintos Departamentos de la Universidad Complutense de Madrid, y para los que el Ministerio de Medio Ambiente ofrece becas, que convocan anualmente.

Recientemente el INM ha abierto otra línea de formación de postgrado para propiciar trabajos de investigación y desarrollo, y tesis doctorales en Meteorología y Climatología Aplicadas con becas destinadas a tal fin.

c) **El nivel profesional** de la formación meteorológica y climatológica que necesitan los especialistas (Meteorólogos, Diplomados u Observadores de Meteorología), que, teniendo los requisitos legales y de titulación correspondientes, superan las pruebas selectivas públicas de las convocatorias (oposición y curso selectivo). La formación es impartida en el Centro de Formación en Meteorología y Climatología del INM, de ámbito nacional e internacional. Cabe distinguir en este nivel profesional de formación dos objetivos diferenciados:

- **La formación meteorológica profesional de ingreso en el correspondiente Cuerpo**, (Meteorólogos, Diplomados u Observadores) que se obtiene a lo largo del curso selectivo, posterior a la oposición. Las materias y niveles de exigencia se adaptan a los "currícula" recomendados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) ("Directivas de Orientación Profesional del Personal de Meteorología e Hidrología Operativa", publicación nº 258 de la OMM). Estos cursos selectivos sirven para adiestrar profesionalmente a los candidatos completando su formación anterior (básica y en su mayor parte teórica) con los conocimientos y ejercicios prácticos necesarios para el desempeño de sus puestos de trabajo operativos en el INM, abarcando áreas temáticas muy diversas, tales como Observación y Teledetección, Instrumentación y Estaciones Automáticas, Informática y Comunicaciones, Sistemas y Técnicas de Análisis y Predicción, Modelización y Predicción Numérica, Aplicaciones

Meteorológicas a la Protección Civil, Defensa, Aeronáutica, Marítima e Hidrología, Climatología, Meteorología Medioambiental, Química Atmosférica, Física de nubes, etc.

También podemos incluir en este nivel de formación profesio-

"La multidisciplinariedad de los conocimientos en la enseñanza a nivel universitario exige una estrecha relación entre diversos Departamentos Universitarios afectados, además de los de Física del Aire, que deben colaborar con sus medios, instalaciones y profesorado para fortalecer la formación especializada de los alumnos".

nal los Cursos de Formación en Observación Meteorológica (Clase III – OMM) impartidos a funcionarios de otros Cuerpos de la Administración (Técnicos Mecánicos en Señales Marítimas, Especialistas Aeronáuticos, Especialistas en Telecomunicación Aeronáutica y Ejecutivos Postal) es mediante los cuales se les habilita

para desempeñar puestos de trabajo como Observadores de Meteorología del Estado.

Análogamente, el INM imparte el Curso Internacional de Meteorología (Clase II – OMM), de dos años académicos de duración, dirigido a alumnos de países latinoamericanos, norafricanos o de Europa oriental, becados por España, que luego se integran profesionalmente en sus Servicios Meteorológicos Nacionales.

Los profesionales del INM tienen también la opción de asistir a cursos o seminarios monográficos del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio, EUMETSAT, L'École Nationale de Météo France, o disfrutar de las becas Fulbright específicas para Meteorología y Climatología convocadas anualmente por el Ministerio de Medio Ambiente.

Dentro del Programa de Cooperación Voluntaria de la OMM, España ofrece becas a meteorólogos de otros Servicios Meteorológicos Nacionales (de Latinoamérica, África o Europa del Este) para su perfeccionamiento profesional mediante estancias de dos meses en Unidades Técnicas del INM.



• **Los cursos de actualización y perfeccionamiento profesional** van dirigidos a los funcionarios en activo del Instituto, para asegurar su formación continua de acuerdo con el avance científico y tecnológico de la Meteorología y la adecuación específica al puesto de trabajo desempeñado. Estos cursos se organizan de forma sistemática y periódica por el Centro de Formación del INM y son impartidos por los mejores especialistas en cada una de las materias, tanto de los Servicios Centrales del INM como de los Centros Meteorológicos Territoriales. Ejemplos de estos cursos de formación interna son los de Observación y Predicción Aeronáutica, Convección Profunda, Meteorología Marítima, etc.

d) La formación en meteorología y climatología específica **para determinados usuarios** constituye otro aspecto diferenciado de los anteriores. Entre ellos son usuarios básicos y tradicionales: los aeronáuticos (aviadores militares en la Academia General del Aire, y los pi-

y los mercantes en las Escuelas Náuticas), y otros nuevos (técnicos en Protección Civil, gestores de recursos hídricos, responsables de prevención y lucha contra incendios forestales, profesores de enseñanza secundaria y bachillerato, etc.). Esta es una demanda con alta potencialidad.

"El resultado final de las actividades que realizan los Institutos o Servicios Meteorológicos Nacionales (observaciones, vigilancia, predicciones, estudios y aplicaciones) es la información meteorológica, destinada a satisfacer las necesidades actuales y futuras de los usuarios".

e) Finalmente señalaremos la importancia de la **enseñanza de la Meteorología asistida por ordenador** y centros de formación profesional conectados en red, el creciente uso de Internet, la creación de una biblioteca digital y puesta en marcha de un laboratorio virtual para enseñanza y formación profesional de meteorolo-

utilización y productos de sistemas de satélite).

En esta línea de acción los Servicios Meteorológicos Nacionales integrados en la Red europea EUMETNET están desarrollando el proyecto EU-METCAL (continuación del anterior EUROMET) que permite la elaboración de módulos didácticos para cursos multimedia y su puesta a disposición de todos los interesados en esta formación específica (satélites, tele-detección, predicción numérica, etc.).

En particular, el INM ha elaborado un conjunto de módulos TEMPO de formación técnica, muy apreciados por las Universidades y Centros educativos nacionales y extranjeros. Se puede acceder libremente en la página web del INM (www.inm.es).

Se trata de utilizar todos los recursos y capacidad de las nuevas tecnologías para organizar la gestión del conocimiento especializado en meteorología y climatología de la forma más eficiente al servicio de todos los profesionales y estudiosos de la Meteorología y la Climatología.

La información meteorológica

El resultado final de las actividades que realizan los Institutos o Servicios Meteorológicos Nacionales (observaciones, vigilancia, predicciones, estudios y aplicaciones) es la información meteorológica, destinada a satisfacer las necesidades actuales y futuras de los usuarios.

Esa información tiene la garantía y aval del Instituto como Organismo Oficial del Estado competente en la materia, y comprende el ayer, hoy y mañana del clima y del tiempo atmosférico, es decir:

- La información climatológica (**tiempo pasado**) que se encuentra en los archivos, bancos de datos y publicaciones del Instituto.
- La información del **tiempo actual** y reciente (últimas 24 horas) obteni-



lotos comerciales en las Escuelas Aeronáuticas), los marinos (la Armada en la Escuela Naval de Marín,

logía por satélite (propuesto por el grupo de expertos de la Comisión de Sistemas Básicos de la OMM sobre

da de los sistemas de observación y vigilancia atmosférica permanente (estaciones e instrumentos meteorológicos, satélites, radares, red de rayos,...).

- La **evolución** más probable del tiempo a corto, medio y largo plazo (de 1 a 10 días) que cabe esperar, de acuerdo con las posibilidades y límites del conocimiento científico, basada en los medios técnicos más avanzados y en la experiencia y profesionalidad de meteorólogos cualificados.

Todo en forma de datos, textos, gráficos, mapas, imágenes, etc., referidos a distintos ámbitos geográficos (terrestres o marítimos), tanto en superficie como en los niveles superiores de la atmósfera.

Dentro de esa información ocupan un lugar prioritario los avisos meteorológicos emitidos por el INM cuando se observan o prevén fenómenos atmosféricos especialmente relevantes por superar determinados valores umbrales que pueden significar un riesgo para las vidas o bienes de los ciudadanos. Estos avisos son suministrados a las autoridades de Protección Civil y otros Organismos encargados de las medidas de prevención correspondientes y a los medios de comunicación para su difusión pública. También se pueden consultar en la página web del INM (www.inm.es) en la que aparecen otras muchas informaciones meteorológicas, climatológicas y divulgativas.

Para usuarios específicos esa información se elabora y suministra en forma codificada (ejemplo: claves METAR, TAF, SPECI, TREND, SIGMET, GAMET, AIRMET,... de meteorología aeronáutica, o los boletines de meteorología marítima, las escalas Beaufort y Douglas, el sistema NAVTEX, clave MAFOR) o como productos específicos (boletín agro-meteorológico, balance hídrico, radiación ultravioleta, etc.).

Otras informaciones meteoroló-

gicas y climatológicas son las contenidas en:

- Los resultados de proyectos y trabajos de investigación y desarrollo llevados a cabo por el INM o en colaboración con Universidades y Centros de Investigación, muchos de ellos financiados por la CICYT o la Unión Europea, tales como CLIVAR (variabilidad y predictabilidad climática), ECSN (Red Europea de Apoyo Climático), SRNWP (Predicción Numérica a Corto Plazo), HIRLAM (Verificación del modelo operativo del INM), etc.

"Ocupan un lugar prioritario los avisos meteorológicos emitidos por el INM al observar o prever fenómenos atmosféricos relevantes por superar valores umbrales que pueden significar un riesgo para las vidas o bienes de los ciudadanos. Los avisos se suministran a las autoridades de Protección Civil y otros Organismos encargados de las medidas de prevención correspondientes, y a los medios de comunicación para su difusión pública".

- Las Notas Técnicas de las Unidades del INM, y artículos, ponencias y trabajos presentados en Congresos, Simposios y Seminarios.
- Las Notas de Divulgación sobre determinados fenómenos meteorológicos relevantes ("El Niño", Olas de calor, Galernas, Risagües, etc.).
- Las Publicaciones propias del INM y las recibidas en el Centro de Documentación del Instituto, cuya Biblioteca, de acceso público, constituye una importante fuente de consulta.

Todo ese amplio conjunto de informaciones meteorológicas está a disposición de los interesados. A es-

te respecto es de subrayar que el INM elabora y difunde libre y gratuitamente la información de interés general para los usuarios como prestación de un servicio público. Únicamente está sometida al pago de tasas o precios públicos aquella que es de interés particular, de la que se deriva un beneficio privativo para los solicitantes (proveedores de servicio, empresas o personas físicas), todo ello de acuerdo con las leyes y normas nacionales o internacionales de obligado cumplimiento (Ley 8/1989 de Tasas y Precios Públicos, Leyes 13/1996 y 66/1997, Orden de 18.02.2000, Tarifas de EUROCONTROL sobre servicios meteorológicos a la navegación aérea, Normas y Licencias de EUMETSAT, del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio, ECOMET). En cualquier caso, las cantidades generadas por esas tasas, tarifas o precios públicos, se ingresan directamente en el Tesoro Público, no en el presupuesto del INM. Es también constatable que el INM difunde gratuitamente un volumen de información notablemente mayor que los Servicios Meteorológicos Nacionales de Europa Occidental, por entender que su misión esencial, prioritaria y mayoritaria es la prestación de un servicio público.

En este sentido, conviene resaltar que la cooperación meteorológica internacional entre todos los países del mundo se basa en el principio del intercambio libre y gratuito de los datos y productos de los Servicios Meteorológicos Nacionales, mantenido a lo largo de los 150 últimos años, fundamento de la OMM, y explícitamente contenido en la Resolución 40ª del XIIº Congreso (Ginebra, 1995) que contempla la política y práctica de la OMM para ese intercambio y las directrices sobre relaciones en actividades meteorológicas comerciales (cfr. Volumen 45 Nº1, Enero 1996 del Boletín de la OMM).



**SISTEMA INTEGRAL DE VIGILANCIA, PREDICCIÓN E INFORMACIÓN
DE LA CONTAMINACIÓN DE MADRID**

**La última tecnología para cuidar
el Medio Ambiente de Madrid**



Área de Medio Ambiente
Ayuntamiento de Madrid

Sistema de predicción de la contaminación atmosférica del Ayuntamiento de Madrid

Joaquín Fernández Castro

*Dtor. de Servicios de Gestión de Residuos y Calidad Ambiental.
Área de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Madrid.*

Profesor Doctor Roberto San José

*Dtor. del Grupo de Modelos y Software para el Medio Ambiente.
Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid*

En 1996 el Ayuntamiento de Madrid presentó para su financiación conjunta a la Unión Europea un proyecto llamado *Sistema Integral de Vigilancia, Predicción e Información de la Contaminación Atmosférica de la ciudad de Madrid*.

Dicho Proyecto fue aprobado por la Comisión y se desarrolló a partir de 1997. El proyecto, cuyo coste ha superado los mil trescientos millones de pesetas, (80% aportación del Fondo de Cohesión de la Unión Europea) incorporaba las actuaciones que se recogen en el presente artículo.

Red de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica

Integrada por 25 estaciones remotas capaces de medir todo tipo de contaminantes químicos, partículas en suspensión, radiación ultravioleta, niveles sonoros, además de parámetros meteorológicos como temperatura, humedad relativa, presión y velocidad del viento.

Las estaciones, conectadas continuamente en tiempo real, permiten conocer de forma precisa la situación del aire en diversas zonas de la capital.

Se complementa con una red meteorológica básica compuesta por

más de 30 estaciones. Los sondeos realizados ex profeso mediante equipo de sódar permiten conocer perfiles de temperatura y los componentes del viento hasta 2.000 m. de altitud.

El Inventario de Emisiones Contaminantes

En realidad, se trata de una contabilidad llevada a cabo individualmente para el conjunto de contaminantes, que describe todo lo que se emite a la atmósfera en todo el Término Municipal de Madrid. Las emisiones se agrupan en cuadrículas de

250m x 250m contabilizándose más de 10.000 cuadrículas. Proporciona además información detallada en lo que se refiere a la variación de emisiones en el tiempo. Estudia y considera todas las actividades emisoras y más de treinta contaminantes, ofreciendo una estimación de las emisiones anuales por contaminante, los ratios de emisión por habitante o por superficie, y las emisiones de vehículo por kilómetro recorrido. Es, sin duda, el Inventario más detallado de los realizados en Europa.

El Sistema de Información Medioambiental

Este es un servicio que permite a ciudadanos, empresas e instituciones tener acceso a la información que sobre medio ambiente dispone el Ayuntamiento de Madrid. Así, informa sobre planes, programas, niveles de contaminación, situaciones de alerta, actuaciones en parques y jardines, saneamiento de aguas, residuos, etc.

Dispone de diferentes instrumentos: centro de recepción de llamadas, 20 puestos de información, 40 paneles informativos, Internet y correo electrónico programado a medios de comunicación.

Su finalidad es cumplir con las Directivas de la Comunidad Europea referentes a información y acceso a la misma, así como la concienciación de la población.

Sistema de Predicción

Éste es realmente el objetivo del

presente artículo. El proyecto fue adjudicado mediante concurso público a la Sociedad Ibérica de Construcciones Eléctricas, S.A., (S.I.C.E.), que contó para su realización con el



asesoramiento y colaboración del Grupo de Modelos y Software para el Medio Ambiente de la Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid, cuyo titular es D. Roberto San José. Es una aplicación matemática que reproduce la dinámica del flujo atmosférico durante un tiempo determinado y permite conocer las concentraciones de los contaminantes gaseosos en el tiempo (24-72 horas) y en el espacio (hasta 1 Km de resolución espacial).

"El Sistema de Información Medioambiental es un servicio que permite a ciudadanos, empresas e instituciones acceder a la información que sobre medio ambiente dispone el Ayuntamiento de Madrid"

El presupuesto fue superior a los ciento cincuenta millones de pts.

El Sistema de Predicción de la Calidad del Aire del Municipio de Madrid

está basado y adaptado del denominado modelo OPANA. OPANA se corresponde con las iniciales en inglés: Operational Atmospheric Numerical Air Pollution Model for Urban and Regional Áreas.

La figura muestra el logotipo del sistema para el Municipio de Madrid.

El modelo OPANA es un Sistema de Predicción de la Calidad del Aire que ha sido diseñado como una herramienta operacional para uso de las Oficinas de Medio Ambiente de los Municipios y Regiones en España

(y en todo el mundo) con el objetivo de predecir los niveles de concentración de diversos contaminantes en entornos urbanos y regionales, en entornos tridimensionales, y con un horizonte temporal de 24-48 horas. Existe abundante bibliografía científica que documenta extensamente las características de dicha aplicación. En el presente documento nos referiremos únicamente a las partes más importantes de dicha aplicación. Se recomienda al lector la revisión de los textos mencionados para mayores detalles.

Así, podemos destacar que el núcleo central del sistema está constituido por un modelo de diagnóstico y pronóstico de las diferentes variables meteorológicas, como: viento (vector), temperatura y humedad. Estas variables se calculan mediante la solución de un sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales – sistema de Navier-Stokes – que permite – conocidos unos valores de dichas variables en un instante inicial (o eventualmente en diferentes instantes o incluso en el tiempo o en el espacio), que general-

mente se toman de un sondeo meteorológico o de las salidas de otros modelos meteorológicos que se ejecutan sobre dominios superiores (España, Europa, etc.)- conocer dichas variables en un dominio tridimensional – en nuestro caso un cubo de 6 Km de alto y 80 x 100 Km de base – y a lo largo de período de simulación que hemos determinado – en nuestro caso es de 120 horas -.

Cuando el modelo funciona como herramienta de predicción, la restricción más importante es el tiempo de ejecución y la arquitectura computacional sobre la que se ejecuta. El modelo meteorológico es el módulo esencial del sistema – junto con el módulo químico CHEMA -. El módulo meteorológico incluye la solución de la ecuación de transporte que esencialmente consta de un término de inercia (temporal), un término de advección (transporte) y un término de difusión (transporte). Dichos términos se deben igualar a los términos de emisión de sustancias (EMIMA), deposición de sustancias (DEPO, condición de contorno inferior de las ecuaciones de Navier-Stokes) y la producción y consumo de especies (CHEMA). El módulo meteorológico y de transporte se denomina REMEST y está basado en el modelo desarrollado en la Universidad de Karlsruhe (Alemania) en 1989 por T. Flassak y N. Moussiopoulos (MEMO) (Flassak T. and Moussiopoulos N. (1987), así como en el modelo MM5 (Grell G.A. et al. (1994)) desarrollado en la Universidad del Estado de Pensilvania (EE.UU.) en 1994. El modelo de deposición (DEPO) está basado en los trabajos de Wesely (1989) y San José et al. (1994, 1999). El sistema de predicción aquí descrito es de tipo Euleriano, lo que permite un seguimiento e identificación sobre coordenadas fijas de las concentraciones de los contaminantes en todo momento.

El modelo simula el flujo atmos-

férico sobre un dominio exterior amplio de 80x100 Km con 5 Km de resolución, y a continuación simula el flujo atmosférico para un dominio anidado al anterior que recoge íntegramente el área del Municipio de

"El modelo OPANA es un Sistema de Predicción de la Calidad del Aire que ha sido diseñado como una herramienta operacional para uso de las Oficinas de Medio Ambiente de los Municipios y Regiones, con el objetivo de predecir los niveles de concentración de diversos contaminantes "

Madrid (24 x 24 Km, con 1 Km de resolución). El Sistema de Predicción requiere además una información detallada y fehaciente de los tipos de usos del suelo – no sólo del Municipio sino también de su entorno -. Hemos utilizado información procedente del satélite LANDSAT-VII. Los usos del suelo son esenciales para los siguientes módulos:

1. Módulo meteorológico (vientos locales, influencia de terreno montañoso en el entorno, etc.)

2. Módulo de deposición: la de-

"El sistema de previsión de calidad del aire del Municipio de Madrid utiliza un novedoso sistema de incorporación de información meteorológica procedente de modelos de dominios superiores."

posición de los contaminantes es un proceso extraordinariamente complejo. Depende al menos de tres importantes elementos: a) condiciones turbulentas de la atmósfera en los últimos metros del proceso de deposición, b) situación de cambio de es-

tado (gaseoso / sólido) y c) del tipo de vegetación o suelo que el contaminante encontrará en su proceso de deposición.

3. Módulo de emisiones: antropogénicas y biogénicas. Las emisiones biogénicas dependen del tipo de especie arbórea que se encuentra en la superficie, así como de la radiación solar y la temperatura. En la medida en que los usos del suelo reproduzcan lo más fielmente la realidad (olivos, árboles de hoja caduca, etc.) las emisiones biogénicas, extraordinariamente importantes para la modelización de contaminantes secundarios como el ozono, serán más y más precisas.

El módulo químico, CHEMA, es el segundo módulo fundamental del sistema: permite el cálculo de las especies secundarias (como el Ozono y el PAN –peroxiacetilnitrato-) que se producen por reacciones químicas en la atmósfera. Debido a que estas reacciones dependen de las variables meteorológicas correspondientes (temperatura y radiación solar), es necesario que CHEMA funcione como subrutina de REMEST mediante un conjunto de librerías creadas al efecto. Las reacciones químicas de nuestra aplicación son aquellas descritas por Gery et al. (1989) y conocidas como CBM-IV (versión simplificada) que utiliza 79 reacciones químicas y 39 especies. Para cada una de estas especies, así como para la solución del sistema de ecuaciones diferenciales (ordinario en este caso), CHEMA utiliza el método SMVGEAR (Sparse Matrix Vector GEAR technique). SMVGEAR fue desarrollado por Jacobson M.Z. et al. (1994) en la Universidad de Los Angeles (EE.UU.) y es un método caro computacionalmente pero muy preciso (debido a que es un método implícito).

El modelo requiere esencialmente cinco fuentes de datos para su ejecución:

1) Sondeo inicial meteorológico

(obtenido cada 12 horas por el Instituto Nacional de Meteorología en el Aeropuerto Internacional de Madrid-Barajas);

2) Datos de la red de inmisión del área de estudio (en nuestro caso los datos de inmisión del Municipio de Madrid y de su entorno);

3) Usos del suelo del dominio de nuestra aplicación (en este caso más del 80 por ciento del tiempo de computación se dedica al transporte de un mapa de usos del suelo generado por imágenes LANDSAT-V (Dr. G. Smiatek, Fraunhofer Institute (Alemania), proyecto CORINE) y adaptado por el laboratorio para nuestra aplicación;

4) Modelo Digital del Terreno (DEM) (se utiliza un modelo generado por la base de datos GTOPO con 30" – aprox. 925 m x 709 m para la latitud de Madrid - de resolución para todo el mundo);

5) Emisiones de contaminantes en el área de estudio con al menos la resolución espacial de ejecución de la simulación y temporal de una hora (se utiliza el modelo EMIMA desarrollado en el Laboratorio y basándose en la metodología CORINE (Unión Europea). El modelo EMIMA es una herramienta para el cálculo de las emisiones antropogénicas y biogénicas en el área de Madrid. La versión EMIMO es una herramienta similar pero de propósito general –para aplicarse en cualquier dominio–.

Las emisiones biogénicas, por ejemplo, requieren de información georeferenciada de tipos de vegetación de elevada resolución espacial y temporal. Así, la herramienta EMIMA utiliza un conjunto amplio de ficheros de usos del suelo en función de las aplicaciones a que se destinen. El sistema de previsión de la calidad del aire utiliza información procedente

de un sistema de modelización de las emisiones EMIMO, que se adapta al dominio madre y anidado. En este caso, el modelo de emisiones incorpora aquellas producidas por la empresa AED para el Municipio de Madrid.

Desde el punto de vista de la previsión en sí, el sistema de previsión de calidad del aire del Municipio de Madrid utiliza un novedoso sistema de incorporación de información meteorológica procedente de modelos de dominios superiores y que por razones computacionales no se pueden ejecutar en tiempo real en la propia máquina del sistema. En este sentido, la aplicación incorpora información procedente del sistema americano MRF / AVN del NCAR / NOAA en los Estados Unidos.



El Modelo MRF/AVN se ejecuta diariamente de forma operativa sobre resoluciones de 181 y 110 Km sobre todo el mundo y con horizontes de pronóstico hasta de 12 días. El laboratorio extrae diariamente de INTERNET hasta 48 sondeos correspondientes con estas previsiones y los incorpora automáticamente a la inicialización del sistema de previsión de la calidad del aire del Municipio de Madrid. El sistema además incorpora un conjunto importante de visualizadores de la información para permitir al usuario de forma rápida acceder a la ingente cantidad de datos que diariamente genera un sistema de estas características. Así, el sistema incorpora el visualizador VIS5D, así como el visualizador FERRET, que permite observar las imágenes superficiales de las concentraciones de los diferentes contaminantes sobre el área del Municipio de Madrid.

Referencias

- Flassak T. and Moussiopoulos N. (1989). **Simulation of the sea breeze in Athens with an efficient non-hydrostatic mesoscale model.** In: **Man and his ecosystem**, Vol. 3, Eds. L.J. Brasseur and W.C. Mulder. Elsevier. Amsterdam. 189-195.
- Grell, G.A., Dudhia, J. And Stauffer D.R. (1994). **A description of the fifth-generation Penn State / NCAR mesoscale model (MM5).** NCAR Technical Note, NCAR/TN-398-STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 138 pp.
- Jacobson M.Z. and Turco R.P. (1994) **SMVGEAR: A sparse-matrix vectorized gear code for atmospheric models.** *Atmospheric Environment*, 28, 273-284.
- San José R., Rodríguez L. and Moreno J. (1994). **An application of the "Big Leaf" deposition approach to the mesoscale meteorological transport and chemical modelling in a three dimensional context. Proceedings of the EUROTRAC Symposium.** Eds. Borrel P.M., Borrell P., Cvitas T. and Seiler W. 620.
- San José R., Rodríguez M.A., Pelechano A. and González R.M. (1999). **Sensitivity studies of dry deposition fluxes. In Measuring and Modelling. Investigation of Environmental Processes.** WITpress Computational Mechanics Publications. ISBN: 1-853125660. Ed. R. San José. 205-246.
- Wesely M. L. (1989). **Parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models.** *Atmospheric Environment*, 23, 1293-1304.

Investigación en atmósfera y clima en España

Joan Cuxart Rodamilans

Gestor del Subprograma de Atmósfera y Clima del Plan Nacional de I+D+I 2000-2003
INM

Susana Arines Rodríguez

Lda. en CC Físicas y Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental
Colegio Oficial de Físicos

En este artículo, se pretende describir la actividad investigadora en España en los últimos años en temas de Atmósfera y Clima, tomando como información de partida los proyectos financiados por el Plan Nacional de I+D+I (PNIDI) desde 1995. Se señalan primero las entidades financiadoras de I+D a nivel general, particularizando seguidamente las diferentes líneas definidas en el subprograma de Atmósfera y Clima.

ORGANISMOS FINANCIADORES
Los grupos de investigación en España, pueden acudir a diversas vías de financiación para el desarrollo de sus proyectos, tanto públicas como privadas. Se describen aquí las públicas, de acuerdo con nuestro tema.

La Unión Europea. Define Programas Marco en los que se establecen líneas prioritarias de investigación a financiar y las distintas formas de participación. Actualmente está vigente el *V Programa Marco (1998-2002)*, en el que se financian, entre otros, los trabajos relacionados con la Atmósfera y el Clima.

España participa en varios proyectos financiados por la UE, a pesar de la dificultad de acceder a este tipo de financiación, debido a la marcada orientación que se señala en sus objetivos y líneas de trabajo. Participan las Universidades, los Organismos Públicos de Investigación y algunos departamentos de la Administración, como el Instituto Nacional de Meteorología (INM). También pueden participar fundaciones o empresas, siempre que cumplan los requisitos que la UE exige.

La Administración Central. Dispone de unos fondos destinados a la

financiación de proyectos de investigación, generalmente a través del Ministerio de Ciencia y Tecnología. Otros Ministerios, entre los que se encuentran el de Defensa y el de Sanidad, financian líneas de investigación orientadas a la resolución de temas de su interés. El Estado aprueba su propio Plan Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica (PNIDI) con una periodicidad cuatrianual. Actualmente está en vigor el *PNIDI 2000-2003*, aprobado en Noviembre de 1999, cuyos objetivos se revisan anualmente, que define líneas prioritarias de actuación a través de Programas Nacionales. Todos los años se publican convocatorias de proyectos de I+D+I, pero también existen otras convocatorias de carácter menos regular.

Comunidades Autónomas. Cada Comunidad elabora su propio Plan de I+D, con las líneas que considera prioritarias. No existe coordinación, entre las comunidades, ni con el PNIDI estatal.

Instituciones involucradas. Algunas instituciones que habitualmente trabajan en relación con la Meteorología, entre las que se encuentran el

INM, el INTA o los Servicios de Meteorología Autonómicos, entre otros, disponen de fondos propios, con los que se financian proyectos llevados a cabo por la Institución, y, en algunos casos, por otros equipos de investigación externos.

PLAN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA, DESARROLLO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA (I+D+I) PARA EL PERIODO 2000-2003

En el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+I) para el periodo 2000-2003, aprobado el 12 de noviembre de 1999, se convocan ayudas para proyectos de I+D con el fin de promover la investigación en los distintos campos, incrementar los conocimientos científicos y tecnológicos, y dotar a los grupos de investigación del equipamiento adecuado, del personal técnico necesario, y de una financiación adicional destinada a apoyar los proyectos de investigación de mayor calidad.

Su objetivo es regular el procedimiento de concesión de ayudas financieras para la realización de proyectos de investigación científica y desarrollo tecnológico en el marco de una serie de Programas Nacionales

les. Entre ellos se encuentra el de *Recursos Naturales*.

Dentro del Programa de Recursos Naturales se engloban proyectos relacionados con distintos campos vinculados al Medio Ambiente; en el campo del *Medio Físico*, se encuentra el área de Atmósfera y Clima.

ATMÓSFERA Y CLIMA

Son 6 los objetivos marcados en el Plan Nacional I+D+I 2000-2003 en el campo de Atmósfera y Clima. Se describen a continuación, para cada uno de ellos, las actividades financiadas, indicando los sectores con actividad y aquellos puntos en los que el sistema español de Ciencia y Tecnología no muestra suficiente actividad financiada por el Plan.

Objetivo 1: Observación y Datos.

En este objetivo se fomenta la mejora de la capacidad de observación, en particular para el establecimiento de indicadores de contaminación atmosférica, y del estado del sistema climático. Se considera la disponibilidad de datos atmosféricos, dando especial importancia a la obtención de datos nuevos y a la organización de bases de datos históricos.

También se promueve el desarrollo de sensores remotos y el desarrollo de nuevas metodologías de análisis de datos.

En España los organismos generadores de bases de datos instrumentales suelen ser oficiales, como por ejemplo el INM o algunos organismos de Comunidades Autónomas. El uso científico de estos datos (homogeneización, tratamiento e interpretación) lo realizan equipos de los propios organismos y de organismos externos (como grupos de Universidades). Hay actualmente iniciativas para concentrar la información, homogeneizarla y generar bases de datos tratadas con criterios unificados.

Por lo que se refiere al período preinstrumental, hay mucha actividad en las Universidades para la generación de bases de datos históricas. Para ello, deben definir una metodología de captura de datos, validando con datos instrumentales y, seguidamente, extrapolar hacia el pasado. Las líneas actualmente activas incluyen la dendrología (estudio de los anillos de los árboles), la antracología (conchas de moluscos), limnología (sedimentos) y otras investigaciones en paleoclima (estudio de huesos, de cuevas kársticas, etc.). Estos estudios suelen llevarse a cabo por equipos de biólogos y geólogos, tanto de Universidades como del CSIC. Otra línea activa es la investigación de los fondos bibliográficos en bibliotecas y archivos (mu-

"El objetivo del PNIDI 2000-2003 es regular el procedimiento de concesión de ayudas financieras para la realización de proyectos de investigación científica y desarrollo tecnológico en el marco de una serie de Programas Nacionales."

nicipales, parroquiales, etc.) para obtener información sobre períodos, en los que han tenido lugar sucesos extremos (como sequías o inundaciones). Se llevan a cabo en departamentos de Geografía, Historia e incluso Física.

La observación mediante sensores remotos y el desarrollo de nuevos métodos de análisis de datos corren a cargo principalmente de las Universidades, en las que existen grupos trabajando en todos los campos. Se trabaja en Radar, Sodar, Lidar y sobre todo en Teledetección por Satélite. Puede tratarse bien de la explotación de equipos de organismos oficiales o de equipos específicamente concebidos para su uso en investigación.

Las líneas que no tienen suficiente actividad en este objetivo son las de nuevas tecnologías en técnicas instrumentales y análisis de datos.

Objetivo 2: Variabilidad Climática y Capacidad de Predicción Climática.

El objeto de este apartado es la caracterización del clima pasado y presente, y el desarrollo de la capacidad de predicción climática.

En cuanto al clima pasado preinstrumental, los grupos antes mencionados obtienen estimaciones de valores climatológicos a partir de indicadores biológicos, geológicos o archivísticos, y trabajan sobre la caracterización del clima prehistórico e histórico. Sería deseable una mayor interacción con grupos de análisis de datos para empezar a tratar de forma objetiva dichas series.

Si definimos como clima pasado reciente, el correspondiente al período instrumental (desde finales del siglo XVIII en España), existen grupos en las Universidades y en el INM que se dedican al estudio de las pocas series largas disponibles, teniendo en cuenta todos los problemas de homogeneización relacionados con cambios de emplazamiento, de instrumental y de entorno (cambios de urbanización). Estos grupos han conseguido caracterizar el comportamiento del clima en estos emplazamientos, normalmente utilizando datos de temperatura y precipitación de periodicidad mensual. La tendencia actual es hacia el estudio de series con datos diarios y el estudio del comportamiento de los valores extremos.

Si consideramos clima presente el estudio de los últimos 30 años, hay muchas series disponibles y muchos grupos activos. Los principales problemas que presentan estas series son su falta de estacionariedad, debido a las acusadas tendencias que presentan algunas variables estudiadas. De nuevo, el aislar si estas tendencias son debidas a cambios en el clima o a cambios en las condiciones de medida es un tema de gran importancia. Las herramientas coinciden con las del estudio del clima pasado reciente, pero la mayor

disponibilidad de datos permite una aproximación más completa al problema. En general, podemos considerar bien caracterizado el clima presente. Una herramienta fundamental en este caso es el uso de los modelos numéricos de circulación general (GCM) junto con modelos regionales de modelización a mesoescala. Citar también los métodos de descenso de escala ("downscaling") estadísticos, o de utilización de sistemas de Información geográfica.

Los mismos métodos de modelización se utilizan en predicción climática, utilizando hipótesis ya clásicas, como el aumento de CO_2 , y evaluando los cambios en el comportamiento de los patrones dinámicos de la Circulación General. En España no existe un modelo propio de Circulación General, y se suelen usar salidas reanalizadas del Centro Europeo de Predicción o de los Centros Nacionales para la Predicción Medioambiental (NCEP) de EEUU. Los modelos a mesoescala de uso regional son de diverso origen, habiendo un cierto desarrollo en algunas Universidades y Centros Oficiales.

En relación con este objetivo, hay que destacar los problemas de competición existente entre los numerosos grupos que se centran en paleoclima y tratamiento de datos instrumentales. Los grupos que utilizan modelos son pocos, especialmente cuando los comparamos con los países desarrollados de nuestro entorno.

Objetivo 3: Procesos e Interacciones.

Este objetivo se centra en el estudio (incluyendo simulación numérica) de los procesos e interacciones, que regulan el cambio climático a escala regional (exceptuando los explícitamente mencionados en el objetivo 4).

Pese a su gran importancia, éste es uno de los puntos con menor participación de la comunidad científica implicada en el Plan Nacional. Estu-

dios de procesos fundamentales para el adecuado funcionamiento de los modelos numéricos de tiempo y clima, como los relacionados con las nubes (especialmente la convección), el intercambio de masa y energía entre la superficie y la atmósfera libre (turbulencia), los procesos del subsistema suelo-vegetación, el efecto del relieve, la radiación, etc., son escasos y realizados siempre por los mismos grupos. Una actividad específica en España es el estudio de intercambios suelo-atmósfera sobre superficies áridas y semiáridas.

En lo que se refiere al estudio de la dinámica atmosférica a nivel regional, hay mayor actividad mediante el uso de modelos a mesoescala. Los modelos se utilizan como herramientas para la comprensión, dentro de sus límites de aplicabilidad, de fenómenos físicos susceptibles de ser representados por los mismos.

Objetivo 4: Procesos físico-químicos: contaminación, ozono, aerosoles, radiación ultravioleta.

Se consideran en este apartado el conocimiento y la simulación de los procesos que regulan el estado de la contaminación atmosférica, en particular de los gases contaminantes, el ozono y sus precursores, y los aerosoles. También se promueve la determinación y predicción de la radiación ultravioleta y sus efectos sobre la biosfera y la salud humana.

La actividad en este campo es importante. Destaca una red constituida en 1997 para la medida bajo criterios unificados de la radiación ultravioleta con participación de organismos oficiales y grupos de Universidades; aunque también existen actividades complementarias fuera de esta red. Por otro lado, existen grupos trabajando en la medida y la modelización del ozono troposférico y otros gases importantes desde el punto de vista climático. La actividad en el estudio de aerosoles es creciente y multidisciplinar.

Objetivo 5: Escenarios y Evaluación de Impacto.

Se valora la obtención y predicción de situaciones futuras (escenarios) nacionales, en especial de cambio climático, y el desarrollo de metodologías de evaluación de los impactos y los riesgos asociados a estos escenarios.

Hay poca actividad financiada por el Plan para este objetivo, pese a su gran importancia estratégica. Se trabaja en algunos grupos sobre la adaptación de escenarios globales futuros al entorno peninsular. Hay algunos proyectos sobre el impacto en el sistema agrario, pero queda por explorar el impacto sobre los otros sectores, especialmente los socioeconómicos y sanitarios.

Objetivo 6: Técnicas de apoyo a la gestión de recursos hídricos, incendios forestales, fenómenos extremos de precipitación y episodios de contaminación.

Este objetivo fomenta el uso de técnicas meteorológicas de apoyo a la gestión de otros recursos, y de previsión y prevención de desastres naturales.

El desarrollo de técnicas de apoyo es escaso, al menos en este subprograma. Hay que señalar que el estudio de sequías e inundaciones, el uso de herramientas de teledetección y otros temas, están explícitamente mencionados dentro de otros subapartados del Programa de Recursos Naturales del PNIDI. Mediante este punto se pretende fomentar la generación de herramientas finales útiles para la gestión de recursos y la prevención de desastres. Es de esperar que la participación en este objetivo vaya en aumento en las próximas convocatorias, lo que significará que este sector es capaz de responder a las demandas que la sociedad le plantea.

En el **cuadro** de la siguiente página se presenta la distribución en porcentajes del total de proyectos

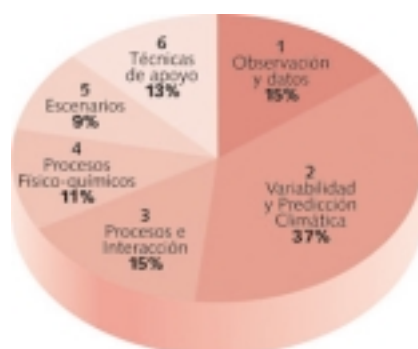
aprobados por el PN en el período 1995-2000 por objetivos. Al interpretar este gráfico, debe tenerse en cuenta que hay objetivos que tienen muchos grupos con pocos proyectos aprobados (objetivos 1 y 2), mientras que otros tienen pocos grupos con mayor número de proyectos (resto de los objetivos).

CONCLUSIONES

La actividad en temas de Atmósfera y Clima en España es correcta para el tamaño que este sector tiene, que es pequeño en comparación con los países desarrollados de nuestro entorno.

De hecho, no hay ninguna institución que ocupe un lugar destacado a nivel nacional, a diferencia del Reino Unido, Francia, Alemania o EEUU, donde existen potentes orga-

nismos con financiación pública que "tiran del carro", arrastrando tras de sí a grupos más pequeños y aislados. Ello conlleva que no en todos los temas tratados haya grupos activos de interés o suficiente masa crítica para



Distribución total de proyectos

desarrollar la investigación en un ambiente de colaboración y dentro de los deseables parámetros de competitividad. Por el contrario, otras líneas muestran síntomas de

saturación, con muchos grupos activos para objetivos que pueden considerarse, al menos parcialmente, alcanzados, lo que no es sinónimo de progreso. Sería recomendable que grupos de los sectores más saturados reconvirtieran sus actividades hacia otros temas donde hay poca participación. En general, los grupos pequeños y especializados, y más aislados, tienen participación en proyectos europeos mediante los cuales consiguen un ámbito de trabajo más enriquecedor y actualizado. Hay objetivos en los que la participación en proyectos europeos es demasiado baja. También se observa que las publicaciones de los grupos con poca actividad internacional suelen aparecer en revistas españolas, mientras que los otros publican en revistas con mayor impacto. ■

CENTROS ACTIVOS POR OBJETIVOS

OBJETIVO 1

CSIC; Instituto de Ciencias del Espacio (Barcelona): Teledetección (GPS)
 CSIC-CEA Blanes: Paleoclimatología - antropología
 CSIC-ICTLA Barcelona: Paleoclimatología-limnología
 CSIC-IPE Jaca: Dendroclimatología
 Universitat de Barcelona; Facultat de Geografia: clima histórico documental
 Universitat Politècnica de Catalunya; ETSI Caminos: Teledetección por Radar
 Universitat Politècnica de Catalunya; ETSI Telecomunicaciones: Teledetección por Lidar
 Universidad de Granada; Facultad de Ciencias: clima histórico documental
 Universidad de León; Facultad de Biología: Teledetección por Radar
 Universidad de Murcia; Facultad de Biología: Paleoclimatología
 Universidade de Santiago de Compostela; EPS, Lugo: Paleoclimatología
 Universitat de València; Facultat de Biologia: paleoclimatologia-limnologia
 Universitat de València; Facultat de Física: Teledetección por satélite
 Universidad de Valladolid; Facultad de Ciencias: Teledetección por satélite y Lidar
 Universidad de Zaragoza; Facultad de Ciencias: Paleoclimatología

OBJETIVO 2

Centro de Supercomputación de Galicia: incertidumbre en modelos climáticos
 CSIC-CCMA Madrid: variabilidad paleoclimática
 Instituto Nacional de Meteorología, Madrid: variabilidad preci. y temp. España Peninsular.
 Universitat d'Alacant; Facultat de Ciències: evolució paleoclimàtica
 Universitat de les Illes Balears; Facultat de Ciències: modelització de la precipitació
 Universitat de les Illes Balears; Facultat de Lletres: clima pasat i present Balears
 Universitat Autònoma de Barcelona; Facultat de Ciències: entropia i clima
 Universitat de Barcelona; Facultat de Geografia: variabilitat clima Península Ibèrica
 Euskal Herriko Unibertsitatea; Facultat de Ciències: canvi climàtic període instrumental
 Universidad de Extremadura; Facultad de Ciencias: clima presente
 Universidad de Granada; Facultad de Ciencias: variabilidad clima Península Ibérica
 Universitat Jaume I Castelló; Facultat de CC. Socials: canvi climàtic període instrumental
 Universidad Autónoma de Madrid; Facultad de Letras: cambio climático periodo instrumental
 Universidad Complutense de Madrid; Facultad de Física: modelización clima perturbado
 Universidad Complutense de Madrid; Facultad de Física: modelización variabilidad baja frec.
 Universidad Complutense de Madrid; Facultad de Física: predictabilidad sequia.
 Universidad Complutense de Madrid; Facultad de Matemáticas: modelos de océano
 Universidad de Salamanca; Facultad de Ciencias: cambio climático periodo instrumental
 Universidad de Sevilla; Facultad de Geografía: cambio climático periodo instrumental
 Universitat Rovira i Virgili Tarragona; Facultat de Lletres: canvi climàtic període instrumental
 Universidad de Zaragoza; Facultad de Letras: variaciones climáticas seculares de la sequia

OBJETIVO 3

CSIC-EEZA Almería: Evapotranspiración zonas semi-áridas
 CSIC-IER, Madrid: Radiación Solar
 Instituto Nacional de Meteorología, Madrid: Capa Límite: modelización y experimentación
 Instituto Nacional de Meteorología; Mallorca: Ciclones en el Mediterráneo Occidental
 Instituto Nacional de Meteorología, Santander: Galernas del Cantábrico
 Universitat de Barcelona; Facultat de Física: Fluxos de intercanvi; Capa Límite
 Universidad de Granada; Facultad de Ciencias: Fluxos sobre zonas áridas

OBJETIVO 4

CEAM-Valencia: Fotoquímica. Modelización dinámica de contaminantes.
 Instituto Nacional de Meteorología, Madrid e Izaña: medida de la radiación UV; Ozono.
 INTA-El Arenosillo (Huelva): medida radiación UV
 Universitat de Barcelona; Facultat de Física: Radiació UV
 Universidad de Granada; Facultad de Ciencias: Aerosoles y Radiación Solar. Radiación UV.
 Universidad de La Laguna; Facultad de Física: Radiación UV y aerosoles
 Universidad Autónoma Madrid; Facultad de Ciencias: Rad. Ultravioleta y Ozono
 Universitat de València; Facultat de Física: Radiació solar i aerosols. Radiació UV.
 Universidad de Valladolid; Facultad de Ciencias: Ozono troposférico. Radiación UV.
 Universidad de Valladolid; Facultad de Ciencias: Radiación solar y aerosoles

OBJETIVO 5

CSIC-CCMA, Madrid: escenarios climáticos. base de datos georeferenciada.
 Instituto Nacional de Meteorología, Madrid: base de datos climática georeferenciada.
 Universidad Complutense de Madrid; Facultad de Física: generación de escenarios
 Universidad Politécnica de Madrid; ETSI Agrónomos: Impacto sobre productividad agrícola..
 Universidad de Salamanca; Facultad de Física: variabilidad e impacto sistema agrario.

OBJETIVO 6

CSIC-IMAFF, Madrid: Inferenciabaseda en entropia para modelización avenidas y sequias.
 Instituto Nacional de Meteorología; Madrid: climatología satélite lluvias torrenciales
 Universitat d'Alacant; Facultat de Ciències: incendis i degradació ecosistemes; aguaceros
 Universidad de Barcelona; Facultad de Física: previsión de inundaciones
 Universidad de Cantabria; ETSI Caminos: técnicas híbridas estadístico-numéricas
 Universitat Politècnica de Catalunya; ETSI Caminos: Radar para prevención inundaciones.
 Universidad de Córdoba; ETSI Agrónomos: Técnicas estocásticas precipitaciones
 Universidad de León; Facultad de Biología: Radar para prevención de daños por Granizo.
 Universitat de València; Facultat de Física: Precipitacions intenses com a risc o recurs
 Universidad de Zaragoza; Facultad de Letras: Tendencias sequias en Aragón.



Enrique Martín Cabrera

Director General del INM

Enrique Martín Cabrera, físico, es Director General del INM desde el 2 de junio de 2000. En esta entrevista nos habla acerca de los proyectos actuales y futuros del Instituto.

Desde su cargo de Director General del Instituto Nacional de Meteorología, ¿cómo definiría el papel de esta institución en nuestra sociedad? ¿Cuáles son sus principales funciones y competencias?

Como Servicio Nacional de Meteorología la misión del INM es atender los requerimientos que en materia de meteorología, climatología u otras, relacionadas con el medio ambiente, plantee el Estado y la sociedad española en general, ya sean los ciudadanos, las empresas o las instituciones públicas o privadas. Esta misión la ejerce en el marco de la cooperación internacional bajo la Convención de la OMM, así como, con la participación en Consorcios Europeos de carácter meteorológico, en los que ostenta la representación del Estado Español.

Las funciones y competencias se recogen en el Real Decreto 1415 / 2000 (modificado por el Real decreto 376/2001) y se pueden resumir diciendo que el INM como Autoridad Meteorológica del Estado es respon-

sable de la planificación, dirección, desarrollo y coordinación de todas las actividades meteorológicas nacionales así como de la representación de España ante los organismos internacionales de carácter meteorológico. En particular cabe destacar el apoyo meteorológico a la Protección Civil, a la Defensa Nacional y a la Aviación, la elaboración y difusión de predicciones y avisos a los ciudadanos, y la gestión de las redes de observación y del banco nacional de datos meteorológicos.

La relevancia que ha adquirido el fenómeno del cambio climático global, y la sensibilidad del Ministro Jaume Matas hacia el mismo, originó la creación de la Oficina Española de Cambio Climático, adscrito al Ministerio de Medio Ambiente, por Real Decreto 376/2001 de 7 de abril. Esto no significa que, en el futuro, el INM no tenga un papel que jugar en este terreno, antes bien, el INM ha de convertirse en un punto focal de referencia en relación con el cambio climático y esforzarnos en

disponer, cada día, de mejores sistemas de registro del clima; mejores conocimientos de la variabilidad natural frente a la antropogénica; posibles efectos antropogénicos sobre el clima global y local; impactos del clima y el cambio climático sobre la humanidad y el sistema terrestre; así como, sus implicaciones en el desarrollo sostenible.

La permanente actividad del Instituto hace que este se embarque en numerosos proyectos nacionales e internacionales. En estos momentos, ¿cuáles destacaría por su relevancia? ¿Podría citar alguna línea de trabajo de interés prevista para el futuro?

Efectivamente el INM es especialmente activo, tanto en inversiones en sistemas de observación como en investigación y desarrollo de nuevas herramientas de predicción.

Destacaría, en el seno de EUMETSAT, la participación en el despliegue de los nuevos satélites meteorológicos MSG (Meteosat Segunda Generación), tres satélites con capacidades

superiores a los actuales, cuyo primer lanzamiento está previsto en 2002. Asimismo, la contribución al sistema Conjunto Polar Inicial (EU-USA), con el EPS (Satélite Europeo de Órbita Polar), tres satélites y lanzamiento del METOP-1 en el año 2005. En estos momentos, se está evaluando asimismo, la participación en el nuevo satélite Jason.

En 1996 EUMETSAT firmó un acuerdo con el INM para el desarrollo de un centro piloto especializado de aplicaciones satélite para dar soporte a la predicción inmediata (0-2 horas) y de muy corto plazo. El objetivo era el desarrollo de aplicaciones para las nuevas generaciones de satélites meteorológicos (Meteosat Segunda Generación y Satélite Polar Europeo).

El centro piloto está liderado por el INM y forman parte del consorcio los Servicios Meteorológicos de Francia (Météo-France), Suecia (SNHI) y Austria (ZAMG). La financiación por parte de EUMETSAT ha ascendido a 2 Millones de Euros, de la cual el 50% ha correspondido al INM. En esta fase, que finaliza este año, se han desarrollado todo un conjunto de nuevos productos que permitirán un aprovechamiento óptimo de las nuevas capacidades de los satélites propuestos.

Una vez finalizada la fase de desarrollo, EUMETSAT ha encargado al INM la presentación de un nuevo proyecto para el periodo 2002-2007 cuya finalidad será la puesta en operación de los desarrollos realizados.

Para el nuevo proyecto se mantiene el consorcio (INM-MF-SMHI-ZAMG) liderado por el INM, la financiación solicitada es de 3,8 millones de Euros, de los cuales, 1,8 millones de Euros corresponderán al INM.

La propuesta ha sido evaluada positivamente por un panel de expertos internacionales y será aprobada en el próximo Consejo de EUMETSAT.

Durante este periodo (2002-2007) las actividades a desarrollar

consistirán en la validación y mejora de los productos desarrollados, el soporte a los usuarios de los Servicios Meteorológicos Europeos y el desarrollo de nuevas aplicaciones.

En relación con CEPPM, se utilizan sus productos, que en los últimos años han experimentado un aumento importante en calidad y cantidad, en predicción operativa, y se desarrollan productos propios a partir de los datos de modelos CEPPM.

Las principales actuaciones del INM en la OMM, se centran en reforzar los vínculos con los países Iberoamericanos y los del Magreb y extenderlos a otros países en vías de desarrollo (Europa del Este, Oriente medio y resto de África), a través de las asesorías técnicas a varios SMNs; del Programa de Cooperación Técnica y de Enseñanza y Formación Profesional; la concesión de becas de formación, tanto de larga como de corta duración; y las contribuciones voluntarias a los fondos fiduciarios de la OMM, en especial, al Fondo sobre emergencias para fenómenos catastróficos.

España lidera el proyecto MEDEX para la mejora de la predicción de fenómenos meteorológicos sobre el Mediterráneo, y se participa activamente a través del Observatorio Atmosférico de Izaña en el Programa de la Vigilancia Atmosférica Global (VAG).

Es de destacar también la participación en el desarrollo del Modelo HIRLAM (Modelo numérico de alta resolución de área limitada).

Como consecuencia del fenómeno que conocemos como Cambio Climático, se han llevado a cabo simulaciones climáticas elaboradas a partir de los modelos de predicción meteorológica, a las que continuamente se les acoplan nuevos parámetros para poder predecir los efectos de los contaminantes atmosféricos. ¿Cuál es su opinión con respecto a estos modelos y su fiabilidad?

¿Cómo percibe el desarrollo y evaluación de los mismos?

Los modelos climáticos son la herramienta básica para establecer los escenarios del clima futuro; hablamos de escenarios y no de predicciones del clima porque no podemos conocer de manera concreta cuáles serán las concentraciones futuras de gases de efecto invernadero y de aerosoles que constituyen los forzamientos principales que conducen los modelos.

Hay toda una gama de modelos climáticos, desde los más sencillos basados en el balance de radiación Tierra-Atmósfera hasta los de mayor complejidad que buscan acoplar las diferentes componentes del sistema climático –atmósfera, océano, suelo, criosfera y biosfera-, e incluir los procesos físicos que tienen lugar en cada una de estas componentes y entre ellas, pasando por otros modelos de complejidad intermedia. La utilización combinada de toda esta "jerarquía de modelos" permite valorar lo robustas que resultan las conclusiones sobre el cambio climático.

Los modelos climáticos más complejos se basan en las leyes de conservación de la física representadas mediante ecuaciones matemáticas que se resuelven sobre rejillas tridimensionales, en la atmósfera, océano y capas superiores del suelo. La disponibilidad de una progresiva mayor capacidad de proceso durante los últimos 25 años ha permitido pasar de tener que utilizar modelos independientes para cada una de las componentes de sistema climático al uso actual de modelos acoplados. A comienzos de los años 70 los modelos eran versiones simplificadas de los modelos atmosféricos que se utilizaban para la predicción numérica del tiempo con una menor resolución de la rejilla espacial para poder asumir el coste de integrarlos durante muchos años; a mediados de los años ochenta estos modelos

incorporaron ya algunas de las características del suelo; a comienzos de los años noventa se acoplaron con los modelos de océano y de hilo marino e incorporaron los aerosoles de sulfato; todavía no incorporan los cambios dinámicos en la vegetación ni una parte de la química atmosférica pero se trabaja intensamente en ello.

Naturalmente, el coste de integración de estos modelos en términos de tiempo de computación es muy grande y de hecho no han sido todavía los utilizados para obtener las conclusiones contenidas en el Tercer Informe de Evaluación del IPCC a partir de los escenarios de emisión que se establecen en dicho informe. Además, hay que tener presente el carácter caótico de la atmósfera, lo que si por una parte lleva a que transcurridos unos pocos días las predicciones meteorológicas del tiempo únicamente pueden formularse probabilísticamente, implica, por otra, que se requieran varias integraciones con diferentes modelos climáticos y condiciones iniciales perturbadas para poder disponer de una predicción probabilística del estado climático para cada escenario de emisiones. Ello requiere recursos de cálculo en los relativamente pocos centros climáticos que integran modelos a escala mundial. Sin embargo, a medida que aumente nuestra confianza en estos modelos globales para producir predicciones regionales más fiables estaremos en mejores condiciones para usar apropiadamente modelos de área limitada, con mayor resolución, anidados en aquellos y ganar así detalle útil de predicción de los escenarios climáticos regionales y locales, que son los que más interesan.

La información meteorológica es constantemente solicitada por la sociedad. Además, tiene una gran influencia en sectores económicos tan importantes como el turismo.

¿Qué dificultades encuentra el realizar una predicción meteorológica a nivel local, que es por otra parte la que demanda el ciudadano?

Es indudable que la predicción de carácter local entraña bastantes dificultades ya que la resolución espacial de los modelos numéricos que se emplean en predicción no llega todavía a un nivel de definición tan grande.

En este sentido el INM tiene en proyecto la adquisición en los próximos meses de un sistema de cálculo de altas prestaciones destinado a satisfacer las necesidades actuales y futuras, en el campo de la modelización numérica del tiempo y del clima.

Los modelos numéricos constituyen la base de la predicción meteorológica moderna. En el INM esta actividad está basada en el modelo HIRLAM y utiliza para ello un orde-

"La meteorología es una rama especializada de la física y, como tal, su estudio exige el rigor y el empleo del lenguaje científico propio."

nador vectorial CRAY-C94 con 9 años de antigüedad y que supone una seria limitación al progreso de la predicción operativa.

En la actualidad, el modelo operativo en el INM se utiliza con una resolución horizontal de 45 km y con 30 niveles en la vertical y con un alcance de 48 horas, mientras que para la correcta predicción de determinados fenómenos, especialmente los más extremos, es necesario alcanzar resoluciones del orden de 1 a 10 km y doblar la resolución vertical. Resoluciones imposibles de alcanzar con el sistema actual.

El sistema a adquirir pretende soportar la evolución durante los próximos años y los objetivos marcados son:

- Año 2002: 15 km, de resolución (3 km. en alta resolución) con 60 niveles, lo que supone pasar de

600.000 puntos de rejilla a más de 3.000.000 de puntos de rejilla en el mismo tiempo de cálculo (1 hora aproximadamente)

- Año 2003: Introducir la predicción por conjuntos: correr simultáneamente 20 modelos de resolución reducida (20 km y 30 niveles) para generar predicciones probabilísticas.

- Año 2004: Introducción de la asimilación variacional 4-dimensional sin aumentar el tiempo total de cálculo y aumentar la resolución de la predicción por conjuntos (15 km)

- Año 2005: Aumentar la resolución de la predicción determinista (8 km), lo que supone aproximadamente casi 6.000.000 de puntos de rejilla.

Además de estos objetivos operativos, el nuevo ordenador proporcionará a la comunidad científica una herramienta única para investigaciones relacionadas con el clima y el cambio climático.

El proyecto se estructura en 4 fases de manera que cada una de ellas provea las capacidades necesarias expresadas en los objetivos operativos marcados. El presupuesto total (2002-2005) asciende a 8,5 millones de euros.

En cualquier caso, este problema puede resolverse en gran medida mediante técnicas estadísticas que relacionan los resultados de estos modelos con una amplia base climatológica de una gran cantidad de localidades. También pueden emplearse métodos de interpolación de los resultados de estos mismos modelos que permiten determinar un valor de cualquier variable meteorológica para cualquier punto geográfico. Existen también otras técnicas basadas en amplias bases de datos de situaciones meteorológicas que se correlacionan con las situaciones que prevé un modelo numérico para las próximas horas o los próximos días. Como consecuencia de todo ello el INM dispone ya de predicciones objetivas de temperatura y precipitación para

un gran número de localidades españolas y de capitales europeas. Estas predicciones pueden servirse directamente a los usuarios o bien utilizarse como datos de entrada para que los predictores, a partir de ellas, y con un valor añadido proveniente de sus conocimientos de los métodos empleados y de las características de las localidades de sus zonas de responsabilidad, puedan generar predicciones mas "afinadas" en general que las que provienen directamente de los modelos. Fruto de esta actividad es la elaboración varias veces al día de predicciones urbanas a muy corto plazo para las capitales españolas más importantes.

Puede decirse por tanto que el INM dispone con carácter rutinario de predicciones locales para un buen número de ciudades que se difunden tanto a través de Internet, de Teletiempo, del servicio de radio del propio Instituto o bien se envían directamente a aquellos usuarios que demandan una serie de requerimientos específicos. El próximo paso de nuestro Instituto en este aspecto es generar estas predicciones en las distintas lenguas del Estado y en los principales idiomas europeos. Es una meta ya alcanzada en parte y que esperamos completar en un futuro muy próximo.

El meteorólogo, como experto ante un público no especializado, debe dar un giro lingüístico a la hora de transmitir la información que la sociedad demanda. ¿Cuáles cree que son los principales problemas que surgen a la hora de divulgar la información meteorológica?

La Meteorología es una rama especializada de la Física y, como tal, su estudio exige el rigor y el empleo del lenguaje científico propio.

Por otra parte, los meteorólogos deben comunicar sus conocimientos y la información meteorológica en un lenguaje adecuado al usuario no especializado. Esta difícil tarea de la

divulgación meteorológica debe mantener una equidistancia entre ambas exigencias: utilizar un léxico preciso e inequívoco para el público y huir de la jerga exclusiva de los especialistas. Para facilitar esa tarea el Instituto Nacional de Meteorología elaboró un Manual de Estilo al que deben atenerse las informaciones y predicciones del Instituto, de forma que tengan el mismo significado y sentido con independencia de quién las redacte. Ahí se precisa el léxico meteorológico con la definición de las variables meteorológicas (nubosidad, precipitación, visibilidad, viento, temperatura, etc.), su adjetivación y cuantificación, el significado de términos de intensidad (ejemplo: lluvias "moderadas" = entre 2 y 15 mm/h; "muy fuertes" = entre 30 y 60 mm/h; "torrenciales" = más de 60 mm/h), de probabilidad ("posible" = entre el 10% y 40%; "probable" = entre el 40 y el 70%), de distribución espacial ("aisladas o dispersas" = entre el 10 y el 30% del ámbito territorial; "generalizadas" = más del 60% de ese ámbito), de evolución temporal ("ocasionales" = duración inferior al 30% del periodo de predicción; "persistentes" = más del 60% de ese plazo), así como las expresiones lingüísticas y normas de redacción utilizables.

Naturalmente es necesario que esos mismos significados sean respetados por los medios de comunicación y explicados a los ciudadanos incorporándolos a la cultura meteorológica de la población.

En esta divulgación tienen un papel decisivo los presentadores y comunicadores de la información meteorológica en los distintos medios (televisión, radio y periódicos).

Esos términos meteorológicos también deben formar parte del lenguaje que aprendan los alumnos en la enseñanza secundaria y bachillerato. Los profesores de estos niveles pueden contribuir en gran medida a la mejor comprensión de las infor-

maciones meteorológicas y de su utilidad para la sociedad.

Los medios de comunicación ofrecen como una pieza clave en sus informaciones, la relativa a la predicción meteorológica, en muchos casos con el sello "información avalada por el I.N.M.". ¿Qué significa este "aval"? ¿Cómo se estructura la relación entre el I.N.M. y los medios?

Los medios de comunicación gozan de libertad para ofrecer a los ciudadanos las informaciones que deseen. El INM les ofrece el más amplio catálogo de productos e informaciones de la máxima calidad y fiabilidad. Los medios interesados seleccionan los que creen oportuno y formalizan un contrato con el INM en el que se establece esa cláusula de "información avalada por el INM". Este "aval" significa la garantía de que esa información ofrecida al público procede del INM que, además de ser la autoridad meteorológica del Estado, dispone de las infraestructuras, tecnologías (radares, satélites, superordenadores, modelos numéricos de predicción...) y los conocimientos y experiencia de su personal especialista de los Cuerpos de Meteorología del Estado (Meteorólogos Superiores, Diplomados y Observadores). Nadie dispone en España de unos recursos tecnológicos y humanos comparables a los del INM, lo que constituye el respaldo de seriedad, rigor y calidad del INM a sus productos.

Obviamente el Instituto no puede "aval" las informaciones del tiempo ofrecidas por otros medios que no están sometidas a las normas y control del INM, cuyas fuentes y elaboración son ajenas al INM.

A este respecto debería subrayar que las predicciones meteorológicas del Instituto no son obra de un Meteorólogo o funcionario del Instituto sino fruto de un complejo y costoso proceso que involucra a un amplio conjunto de especialistas y unidades

operativas (Centro Nacional de Predicción, Grupos de Predicción y Vigilancia Territoriales, Centro de Predicción y Vigilancia de Defensa, Oficinas Meteorológicas de Aeropuertos y de Bases Aéreas, Observatorios, etc.). Es importante que el ciudadano conozca y aprecie ese trabajo como "colectivo" y no obra del "presentador" u "hombre del tiempo" que aparece en la pantalla televisiva, en la emisora de radio o en el periódico.

¿Que opinión le merece la existencia de Institutos Autonómicos de Meteorología? ¿Cuál es la postura del INM en este sentido? ¿Qué coordinación existe entre ellos?

Las competencias sobre el servicio meteorológico están recogidas tanto en la Constitución como en los Estatutos de diversas Comunidades Autónomas.

Yo entiendo que se trata de competencias concurrentes y que el Estado y las Comunidades Autónomas han de colaborar y coordinarse para prestar un mejor servicio a los ciudadanos, tanto a nivel local como de todo el Estado.

Con el fin de optimizar recursos es conveniente garantizar la debida coordinación. Para ello se están estableciendo convenios de colaboración que contemplan el desarrollo de acciones de interés común, tanto en el campo operativo como en el de la investigación. Esta coordinación, es aún más deseable, en la delimitación de competencias en materia de predicciones y seguimiento de fenómenos meteorológicos adversos, así como en la emisión de avisos meteorológicos, con el fin de garantizar vidas y bienes a todos los españoles.

El Instituto Nacional de Meteorología es el organismo que tiene encomendadas las competencias y funciones de autoridad meteorológica del Estado en todo el territorio nacional y la representación española en los organismos meteorológicos internacionales.

Las Comunidades Autónomas pueden crear y desarrollar sus propios Servicios Meteorológicos de ámbito autonómico, en función de sus intereses, capacidades y prioridades.

La actividades del INM y de estos Servicios Meteorológicos Autonómicos deben potenciarse mediante acuerdos de colaboración para sumar esfuerzos y distribuir las tareas de forma complementaria, como hemos hecho con la Xunta de Galicia, Navarra, Andalucía, y esperamos hacer con otras Comunidades Autónomas (Cataluña, País Vasco, ...) en breve. Es difícilmente justificable ante el contribuyente duplicar las infraestructuras (radares, ordenadores, equipos de teledetección, ...) y el personal necesario para la operación de estos servicios.

Precisamente por razones de eficiencia y de economía de escala los Institutos y Servicios Meteorológicos Estatales de Europa, vamos confluyendo (CEPPM, EUMETSAT, EUMETNET, ECOMET, etc.) hacia un Servicio Meteorológico Europeo. Sería contrario a este sentido de la globalización meteorológica europea una "atomización" o "dispersión" de esfuerzos regionales o autonómicos conducentes a una duplicación de gastos y esfuerzos y, finalmente, condenados al fracaso.

Sobre la base del acuerdo, la colaboración y la suma de esfuerzos, hay funciones para el INM y para los Servicios Meteorológicos Autonómicos, sin descartar una sana competencia con objeto de ofrecer la mayor calidad en el servicio público que nos han encomendado.

Es importante señalar la cooperación del Instituto Nacional de Meteorología con otros servicios, entre los que se encuentra Protección Civil. ¿Nos podría explicar cómo se gestionan las distintas situaciones de alarma meteorológica que surgen en nuestro país?

Una de las funciones esenciales del INM es la Vigilancia Meteorológica permanente para proporcionar los avisos y predicciones de fenómenos meteorológicos adversos que puedan afectar a las vidas y bienes de los ciudadanos. Tras más de una década de implantación y desarrollo del plan PREVIMET (año 1986), el Instituto junto con los Organismos competentes en Protección Civil (estatal y autonómica) estableció el PLAN NACIONAL DE PREDICCIÓN Y VIGILANCIA DE FENÓMENOS METEOROLÓGICOS ADVERSOS en el que se concretan, para cada variable meteorológica y en cada Comunidad Autónoma, los valores umbrales de los avisos meteorológicos que el INM elabora, emite y difunde y, en base a los cuales, las autoridades de Protección Civil declaran las correspondientes "alertas" a la población con las advertencias y consejos pertinentes y adoptan las medidas preventivas oportunas de movilización de recursos. Esos "avisos meteorológicos" son enviados también desde el INM a otros muchos Organismos afectados.

El INM se ocupa de vigilar y predecir los fenómenos meteorológicos adversos avisando de su probable intensidad y lugar de ocurrencia. A partir de ahí son otros Organismos (Protección Civil, Dirección General de Carreteras, Dirección General de Obras Hidráulicas, Confederaciones, Tráfico, etc.) los que tienen que actuar frente a las consecuencias de esos fenómenos adversos.

No existe, pues, superposición de funciones ni coincidencia de competencias, sino misiones complementarias en la prestación de un servicio público esencial.

La Ley 38/1995 garantiza el libre acceso a la información ambiental. Los datos de la Red de Vigilancia Meteorológica resultan un elemento imprescindible a la hora de llevar a cabo algunos trabajos que se rea-

lizan fuera del Instituto Nacional de Meteorología, entre los que se encuentran la vigilancia de la contaminación atmosférica, la modelización, los estudios hidrológicos, las Evaluaciones de Impacto Ambiental, etc... ¿Qué información meteorológica se ofrece y difunde gratuitamente, y cuál es la política de precios que se establece para el resto?

Desde su propio nacimiento, hace siglo y medio, los Servicios Meteorológicos Nacionales de todo el mundo han intercambiado libre y gratuitamente todas las informaciones meteorológicas (observaciones, predicciones, estudios, etc.) constituyendo la razón de ser de la Organización Meteorológica Mundial y un modelo de la cooperación internacional. La información medioambiental contemplada en la Ley 38/1995 no menciona explícitamente la información meteorológica aunque, por ser ésta anterior a esa fecha y por las razones indicadas, cumple perfectamente lo establecido en dicha Ley: el libre acceso a la información, a un precio razonable.

La inmensa mayoría de la información que el INM ofrece y suministra es gratuita, únicamente están sometidas a contraprestación económica las siguientes:

- Los certificados y actuaciones periciales respecto del tiempo pasado (sometidos a las tasas de la Ley 13/96, modificada por la Ley 66/97).
- Los servicios meteorológicos de apoyo a la navegación aérea (sometidos a las tarifas internacionales de EUROCONTROL).
- Las prestaciones de servicios meteorológicos solicitados por empresas, consultores o ciudadanos, de interés particular para sus propios fines y de los que se derivan unos beneficios económicos para los solicitantes.

El desarrollo tecnológico de nuestra sociedad ha contribuido al

establecimiento de Redes de Vigilancia Meteorológicas privadas. ¿Existe alguna relación del INM con estas redes? ¿Considera de interés la existencia de procedimientos de homologación y validación de esta información?

La observación necesita de infraestructuras extremadamente costosas. La climatología, a su vez, requiere de observación suficientemente distribuida a lo largo del territorio. En este sentido, es histórica la colaboración entre el INM y los observadores meteorológicos voluntarios, distribuidos por toda la geografía española, casi 4.000 y a los que aprovecho la oportunidad para rendir público homenaje. ¡Poco sabríamos de la climatología de este país sin su colaboración a lo largo de decenas de años!

El INM ha firmado recientemente un convenio para intercambio de datos con las estaciones desplegadas por las Confederaciones Hidrográficas y sería magnífico contar con una red de redes de observaciones meteorológicas de calidad. La colaboración hasta ahora es escasa. La OMM especifica claramente los requerimientos de una buena observación meteorológica y el INM participa activamente en la elaboración de una normativa ISO sobre registros meteorológicos.

Ante la creciente utilización de información meteorológica en diversos sectores (agricultura, turismo, producción energética, navegación marítima y aérea, etc.) la sociedad demanda profesionales preparados en meteorología. Los físicos, y en particular aquellos con la especialidad de Física del Aire, tienen la preparación adecuada para desarrollar su profesión como "meteorólogos" en sentido genérico, sin embargo "meteorólogo" sólo es aquél que aprueba las oposiciones al INM. ¿Qué valoración se hace desde el Instituto de estos nuevos profesionales?

La OMM define la profesión de meteorólogo como "una persona con formación universitaria o equivalente que ha adquirido un adecuado nivel de conocimientos en matemáticas, física y química y ha completado la instrucción Básica para Meteorólogos (BIP-M)". Estos requerimientos iniciales, así como su formación, tanto teórica como práctica, se describe en la publicación del Secretariado de la OMM de Junio de 2000, "Guidelines for the Education and Training of Personal in Meteorology and Operational Hydrology" y a ella se acoge tanto la formación impartida por el INM como por el resto de los Servicios Meteorológicos Nacionales.

Los Meteorólogos del INM son, en cualquier caso, Meteorólogos del Estado que han aprobado las oposiciones al INM y han sido formados, por el INM, siguiendo las normas de la OMM.

El siglo XXI será el siglo del Medio Ambiente y cada día se necesitará un abanico más amplio de profesionales en las ciencias medioambientales.

En los Servicios Meteorológicos el personal predominante seguirá siendo de especialistas en ramas profesionales del tiempo y del clima. Pero la fuerte incidencia de las nuevas tecnologías; los niveles técnicos requeridos por los nuevos medios de observación y predicción; el uso intensivo de las tecnologías de la información, las importantes inversiones requeridas, hará que, se necesiten, cada día más, nuevos perfiles profesionales; informáticos; especialistas en electrónica y comunicaciones; en desarrollo y explotación de modelos de predicción numérica del tiempo; en dirección y gestión de proyectos, etc. Esto implicará, asimismo, que tareas básicas y soporte del servicio, como Investigación y Desarrollo o Formación requieran nuevos currículos profesionales, diferentes de las tradicionales cualificaciones meteorológicas.

Fenómenos climatológicos extremos

Carlos Almarza Mata

Licenciado en CC Físicas y Meteorólogo. Instituto Nacional de Meteorología.

Los fenómenos climatológicos extremos son sucesos que por sus consecuencias provocan una sensación de alarma en la población. En este artículo se recogen una serie de datos referentes a distintos fenómenos extremos que a lo largo de los años se han producido en España.

El clima se caracteriza por una síntesis del tiempo atmosférico y se describe, no sólo a través de los valores medios de los diferentes elementos climáticos (temperatura, precipitación, viento, presión, etc.), sino también, por los valores extremos de estos elementos, en un periodo lo suficientemente largo, con el fin de asignar de forma eficaz las probabilidades de ocurrencia de los distintos valores de los elementos climáticos, en especial de aquellos, que por su orden de magnitud, han repercutido en las actividades socioeconómicas de forma negativa.

Cuando se presentan fenómenos meteorológicos extremos, es frecuente leer o escuchar comentarios en los medios de difusión, (prensa, radio, etc) que valoran el fenómeno como excepcional, y sólo un análisis detallado de la serie histórica de extremos del elemento climático caracterizador del fenómeno, permite obtener conclusiones sobre la auténtica rareza del fenómeno.

El conocimiento detallado del clima juega, por tanto, un factor esencial en la búsqueda de posibles soluciones, que permitan al menos disminuir la vulnerabilidad de la sociedad frente a las consecuencias de fenómenos climáticos tales como las sequías, lluvias torrenciales, olas de calor o frío, vientos huracanados, etc.

Desde nuestro punto de vista, el climático, el fenómeno extremo está integrado en el clima, si bien es cierto que con una baja probabilidad de ocurrencia. En consecuencia, la sociedad tiene que asumir los riesgos que desencadenan estos fenómenos en los bienes y en las personas, bien mejorando las infraestructuras para que soporten valores extremos de muy baja frecuencia o bien de una forma pasiva mediante la contratación de seguros, que cubran los riesgos ocasionados por esta rara fenomenología.

La aparente mayor frecuencia de fenómenos extremos (sequías, lluvias torrenciales, olas de calor, etc.) que se viene produciendo a partir de los años setenta en nuestro país, es difícil justificarla con el análisis de las series históricas de datos extremos, sin embargo existe, y hay que reconocerlo así, una conciencia de este hecho, que seguramente es debido a la mayor información que se tiene de estos fenómenos y también al efecto catastrófico de los mismos sobre las personas y los bienes, consecuencia

del espectacular incremento de la población mundial.

El carácter catastrófico de un fenómeno meteorológico, no depende exclusivamente del valor extremo que ha tomado el elemento climático. Las particularidades geomorfológicas de la zona afectada, la distribución de la población, los usos del terreno, y las prácticas inadecuadas e intervenciones humanas en el territorio, juegan un papel esencial en la catástrofe. La ocupación de los cauces, las llanuras de inundación y los conos de deyección de los torrentes, por motivos económicos o sociales pueden condicionar el carácter catastrófico de un fenómeno extremo de cierta habitualidad.

En general, y para calcular la frecuencia de un fenómeno climático extremo, se utilizan las series de observación y se determina cuál es la probabilidad de aparición de la situación meteorológica que dio lugar a un valor de esta naturaleza. Las series de valores extremos que se utilizan, muchas de ellas se remontan al siglo pasado, presentan en general una homogeneidad probada. Si se observara realmente una mayor frecuencia de aparición de sucesos extremos se tendría que pensar en una alteración de la estabilidad climática, y de las series disponibles de datos no se desprende esta conclusión claramente, resultado similar con el que sobre extremos climáticos se establece en el First European Climate Assessment E.C.S.N. 1995"...Por ello los intentos de concluir cambios temporales (tendencias) en la frecuencia con la que se

producen tales fenómenos, a partir de nuestros cortos registros, están fácilmente abocados al fracaso".

Los valores extremos de los diferentes elementos del clima pueden constituir por sí mismos un factor, ac-

“La catástrofe se considera desastre, si las pérdidas son tales que los afectados no pueden con sus propios recursos volver a la normalidad de sus actividades anteriores”.

tuando como mecanismo de disparo, en el desencadenamiento de una catástrofe. Un suceso catastrófico se cataloga como tal, cuando produce con independencia de su origen, daños de consideración en las personas y en los bienes, es decir, cuando produce efectos negativos en la sociedad. La catástrofe adquiere el carácter de desastre, cuando las pérdidas humanas, materiales y medioambientales son tan importantes que la

El punto de partida para una evaluación de los riesgos climáticos de una determinada zona geográfica implica un conocimiento de los extremos climáticos en términos de frecuencia para que posteriormente se fijen aquellos valores umbrales que han actuado de factor desencadenante de catástrofes.

Las series de datos instrumentales en algunas zonas de nuestro país son muy cortas y tan solo las más largas se remontan a la segunda mitad del siglo pasado, por lo que es necesario para fijar con la mayor objetividad posible los valores extremos, acudir a información no meteorológica, obtenida a partir de fuentes de información no específicamente climática, como archivos históricos, periódicos, disposiciones y normas de Ayuntamiento y otras entidades locales, con el fin de catalogar fenómenos producidos por valores muy anormales de los elementos climáticos. Como ejemplo, en la *figura 1*, se acompaña un informe con la relación de destrozos en el parque del Retiro de Madrid, causados por un tornado el día 12 de mayo de 1886.

En este sentido la climatología histórica es indispensable en la fase previa al desarrollo de una climatología de extremos, así como los estudios que a posteriori de un suceso de rara frecuencia que ha producido daños a las personas y en los bienes, se han realizado con el fin primordial de evaluación

de estos daños.

En estos estudios, además de los valores que adquirieron las distintas variables meteorológicas, suelen fi-

(1) Como ejemplo de los destrozos producidos por la borrasca en el arbolado de Madrid, basta lo consignado en la siguiente nota que D. Romualdo Aguado, por muchos años, catendido y diligente Jardinero Mayor del Retiro, facilitó al Observatorio.

NOTA de los árboles destruidos o averiados por el viento, en la tarde del 12 de Mayo de 1886, en los paseos y bosquedillos del parque de Madrid.

Destruídos:	
Olmos de 1 a 2 metros de circunferencia.....	126
Pinos id. id.....	40
Acacias id. id.....	7
Pinos id. id.....	40
Árboles de diferentes clases, tronchados y destrozados, de análoga corpulencia, que fué menester arrancar luego, dándolos por completamente perdidos.....	261
Otros árboles, también de especies varias, de $\frac{1}{2}$ a 1 metro de circunferencia.....	117
Árboles perdidos.....	557
Árboles derrumbados ó averiados, de $\frac{1}{2}$ a 1 metro de circunferencia, que se logró levantar y afianzar al suelo.....	
Idem id., de 1 a 2 metros.....	4
Árboles averiados.....	426

De estos últimos 426 árboles tan solamente 31 dejaron de dar señale de vida en la primavera del año de 1887. Los otros 392, aunque trabajosamente, volvieron a vestirse de follaje y continúan prosperando.

Figura 1. Relación de daños en la arboleda del Parque del Retiro de Madrid.

sociedad de la zona afectada, con sus propios recursos no tiene capacidad para volver a la normalidad de sus actividades anteriores al evento.

	Temperatura (°C)	Localidad	Fecha
Máximas	51,0*	Sevilla	30-julio-1876
	48,8	Cazalla	30-agosto-1926
	47,8*	Murcia	29-julio-1876
	47,0*	Écija	30-agosto-1926
	44,2	Madrid	30-julio-1876
	42,5	Bilbao	30-julio-1876
	41,0	Salamanca	29-julio-1876
Mínimas	-18,8	Villanubla	3-enero-1962
	-20,8	Vitoria	25-diciembre-1962
	-22,0	Burgos	3-enero-1971
	-24,0	Albacete	3-enero-1971
	-26,5	Riaño	4-enero-1971
	-28,0	Molina de Aragón	17-diciembre-1963
	-32,0	Lago Estangento	2-febrero-1956

Tabla 1. Climatología histórica.

Temperaturas máximas y mínimas registradas en España a lo largo de los años en los distintos observatorios.

(*Valores dudosos. Así consta en los archivos)

	Precipitación (mm)	Localidad	Fecha
Máximas	4.346	Grazalema	1963
	3.867	Arruazu	1965
	3.398	Artikutza	1960
	3.237	Villarbacu	1984
	3.191	Visuña	1977
	3.159	Santiago de Compostela	1960
	2.859	Vigo	1960
Mínimas	116	Huercal-Overa	1995
	65	Cabo de Gata	1998
	51	Aguadulce	1966

Tabla 2

Valores extremos máximos y mínimos de precipitación obtenidos en España a lo largo de los años.

gurar informaciones de personas con descripciones, no exentas de objetividad, como croquis de zonas dañadas, relaciones de daños causados, fotografías, etc.

El objetivo es fijar mediante el análisis estadístico adecuado la frecuencia de presentación del valor inhabitual del elemento climático y, en consecuencia, poder estudiar la rara situación meteorológica que dio lugar al fenómeno y en definitiva evaluar el riesgo climático.

En general, y dado que las series de datos disponibles son relativamente cortas, el cálculo de frecuencias de presentación de los fenóme-

nos utilizando la distribución empírica de frecuencias acumuladas puede proporcionar intervalos me-

“La zona de España donde se producen en verano las temperaturas máximas más elevadas están en las Vegas Bajas del Guadiana (Badajoz) y en el Valle del Guadalquivir (Sevilla y Córdoba)”.

dios de repetición de ocurrencias (periodos de retorno) engañosos, por lo que es necesario estimar las frecuencias ajustando leyes teóricas

de distribución de extremos. La ley general de valores extremos suele proporcionar valores aceptables. Sin embargo, deben en cada caso analizarse los resultados obtenidos y tomar los resultados con cautela, si éstos no son concordantes con la realidad climática, dado que al ser la serie o muestra en que se fundamenta el ajuste de la función teórica demasiado corta se puede cometer un error de muestreo.

Sin embargo, antes de ajustar la ley de extremos, es necesario probar que la serie de datos es homogénea, es decir que sea aleatoria simple, con el fin de eliminar un posible error de muestreo.

Es conveniente antes de efectuar un análisis de extremos, disponer de los valores extremos absolutos que se han producido en los distintos observatorios. Esto permite tener una idea previa del grado de magnitud que pueden alcanzar los diferentes elementos climáticos en cada localidad. A la izquierda, en las *tablas 1 y 2*, se reseñan algunos de los más característicos.

La zona de España donde se producen en verano las temperaturas máximas más elevadas se sitúan en las Vegas Bajas del Guadiana (provincia de Badajoz) y en el Valle del Guadalquivir (provincias de Sevilla y Córdoba).

En cuanto a temperaturas mínimas absolutas se han medido como las más bajas las que se presentan en la *tabla 1*. La temperatura más baja medida en España fue de -32,0°C en el Lago Estangento (Lérida) el 2 de febrero de 1956.

Las zonas con mayor precipitación media anual están en Galicia, Cordillera Cantábrica, Pirineo Vasco Navarro, Sistema Central y Sierra de Ubrique. En cuanto a localidades más secas hay que destacar Cabo de Gata, Huercal-Overa y Aguadulce de la provincia de Almería.

Cuando se presenta un fenómeno meteorológico que por su grado

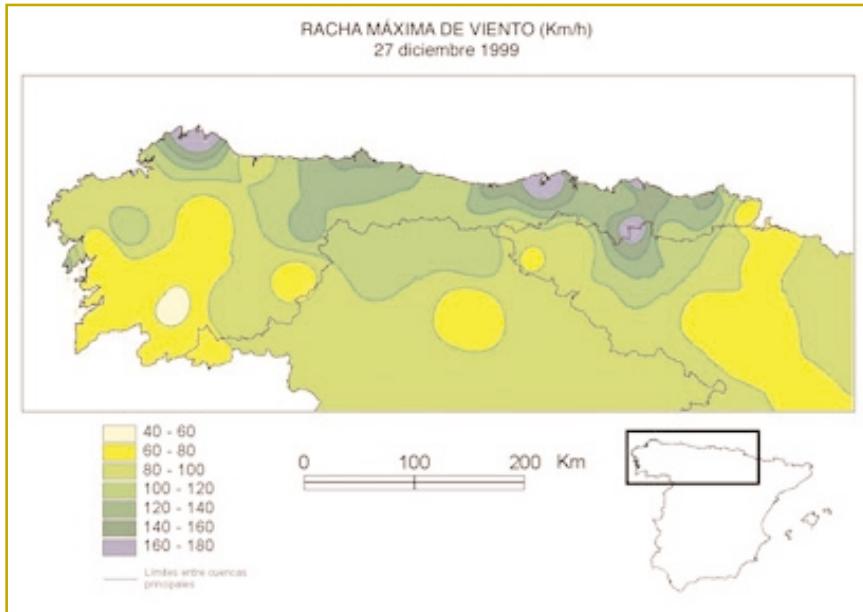


Figura 2. Racha máxima de viento.

de magnitud ha afectado de forma negativa a las habituales actividades económicas de una región es necesario, además de valorar su frecuencia de aparición, fijar con precisión el área afectada. En la *figura 2* se detalla la distribución espacial del valor, en Km/h, de la racha máxima de viento medida el día 27 de diciembre de 1999 en las vertientes Norte y Noroeste de la Península Ibérica. Esta zona estuvo afectada por el extremo sur de la denominada tormenta "LOTHAR", que produjo cuantiosos daños en Francia y Europa central y también, aunque en menor medida, en el norte de nuestro país.

Otro ejemplo en el que es imprescindible describir espacialmente el fenómeno extremo lo constituye la ola de calor de julio de 1995 (*figura 3*).

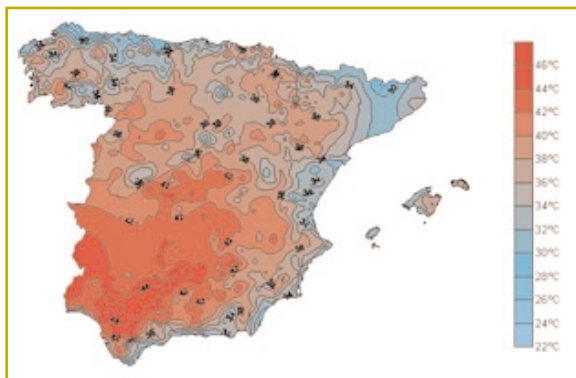


Figura 3. Distribución de las temperaturas máximas absolutas en la ola de calor de julio de 1995.

Durante la segunda mitad del mes de julio de 1995 se produjo una notable ola de calor, que afectó principalmente al interior de Galicia, Castilla y León, Navarra, La Rioja,

“Las zonas más húmedas son Galicia, cordillera Cantábrica, Pirineo Vasco Navarro, Sistema Central y Sierra de Ubrique; las más secas Cabo de Gata, Huercal-Overa y Aguadulce, en Almería”.

Aragón, Madrid, Extremadura, Castilla-La Mancha y zonas interiores de Andalucía.

Esta ola de calor se inicia el día 16 como consecuencia de una entrada de aire de origen sahariano, provocada por una zona de bajas

presiones centrada en Argelia, al oeste de la cordillera del Atlas que afecta a gran parte de la Península, en cuyo cuadrante sudeste se localiza un núcleo depresionario de 1.012 hPa. ligado al anterior.

Esta situación con ligeros cambios se mantiene hasta el 18

de julio, persistiendo en altura vientos del sudeste muy cálidos. A partir del día 18, el núcleo depresionario peninsular se traslada hacia el noroeste y su mínimo se localiza en el centro de la Península. Esta situación permanece sensiblemente estacionaria hasta el día 24, en que se traslada hacia el oeste, fijándose su centro en el Atlántico, a 250 km al oeste de Lisboa. En consecuencia, desde el día 25 cesa la entrada de aire cálido, que es reemplazado por aire Atlántico, lo que también se aprecia en altura, ya que la temperatura en la superficie isobárica de 850 hPa, en la mitad occidental peninsular es ya inferior a 20°C.

Tras esta entrada de aire Atlántico, las temperaturas máximas disminuyen notablemente; aunque los días 27, 28 y 29 se vuelven a registrar valores superiores a 40°C en Extremadura y Andalucía central; pero ya dentro de valores, que aunque elevados, son frecuentes en estas regiones y en esta época del año. La ola de calor no sólo afecta a estas zonas, sino que en Castilla y León, Galicia, Aragón y Navarra, el día 24 se observaron temperaturas superiores a 40°C, o muy próximas a ellas. Esta ola de calor se caracterizó, primero, por su larga duración en Andalucía central, Extremadura y Castilla-La Mancha, y segundo, por su intensidad, dados los altísimos valores termométricos alcanzados.

Referencias

- **Ola de calor de julio de 1995.**
C. Almarza y J.A. López en *Calendario Meteorológico 1996*.
- **Riesgos Climáticos.**
C. Almarza en *Riesgos Naturales*, pp 48-70. IV Congreso Nacional de Medio Ambiente. Madrid. 1998.
- **Repercusión de la tormenta "LOTHAR" en la Cornisa Cantábrica.**
C. Almarza, A. Chazarra, y D. Gil en *Calendario Meteorológico 2000*.

Cambio Climático. *Informe de Síntesis del Tercer Informe de Evaluación del IPCC.*

Bartolomé Orfila Estrada.

Jefe del Área de Modelización del INM

Delegación española en el Plenario del WG I del IPCC en Shangai

En este artículo, se comenta el último de los informes del IPCC, el Informe de Síntesis, que culmina el recientemente aprobado Tercer Informe de Evaluación. Como paso previo, el autor recuerda los objetivos, la estructura y el trabajo del Panel.

La mejor recomendación que me atrevo a hacer a los lectores de esta Revista del Colegio, especialmente a quienes no hayan abordado profesionalmente el tema del cambio climático y quieran tener una visión autorizada, actualizada y amplia del tema, es una visita a la página web, <http://www.ipcc.ch/> que el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) mantiene en INTERNET, con la seguridad de que, tanto si buscan una información de síntesis como una visión detallada del tema, la encontrarán.

El IPCC nace por decisión de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente con el objetivo de valorar la información científica, técnica y económica relevante para entender los riesgos de cambios en el clima que tengan como origen las actividades humanas. Cabe resaltar que el Panel no realiza investigaciones ni hace un seguimiento sistemático del clima, sino que basa sus valoraciones en los artí-

culos publicados en las revistas científicas especializadas. El Panel se reúne una vez al año en sesiones plenarias para aceptar y aprobar su informe, decidir sobre los mandatos y planes de trabajo de sus grupos de trabajo, sobre la estructura y esquema de los informes y sobre procedimientos, presupuesto y elección de cargos.

Desde sus inicios el IPCC se ha

"El IPCC nace para valorar la información científica, técnica y económica relevante y entender los riesgos de cambios en el clima cuyo origen sean las actividades humanas".

organizado en tres grupos de trabajo. Actualmente, el primero de ellos, el WG I, valora los aspectos científicos relacionados con el conocimiento del sistema climático y el cambio del clima; el WG II aborda la vulnerabilidad de los sistemas naturales y socioeconómicos, las consecuencias positivas y negativas del cambio climático y las opciones para una adaptación al mismo, mientras que

el WG III valora las opciones para limitar las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático. Hay además un grupo especial dedicado a la supervisión de los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

El Primer Informe de Evaluación del IPCC vio la luz en 1990 y resultó ser un elemento básico para la aprobación de la Convención Marco sobre el Cambio Climático; el Segundo se publicó en 1996 y fue clave en las negociaciones que concluyeron en la adaptación del Protocolo de Kioto en 1997; el Tercero, el TIE 2001 se ha aprobado este otoño tras las adopciones consecutivas de los informes del WG I en Shanghai, China, en enero, del WG II, en Nairobi, Kenia, en abril y del WG III, en Acra, Ghana, por los plenarios de cada grupo. Los informes completos de los tres grupos se publicaron en Julio por "Cambridge University Press". Sus resúmenes técnicos, de alrededor de 80 páginas cada uno, se encuentran en la página web mencionada, donde

es posible encontrar también los correspondientes resúmenes para responsables de políticas., unas 20 páginas, en cada uno de los idiomas de trabajo de Naciones Unidas. A finales de septiembre, en Wembley, Reino Unido, se ha adoptado el Informe de Síntesis del TIE y aprobado por unanimidad su resumen para responsables de políticas, que también se ha incluido en la web.

El Informe de Síntesis 2001 da una visión de conjunto y entremezclada de todo el Tercer Informe de Evaluación. Lo hace en base a responder como si de una entrevista se tratara a nueve amplias cuestiones que van desde lo que pueden apor-

de gases de efecto invernadero contempladas en los diferentes escenarios de emisiones del Tercer Informe de Evaluación (cuestiones 3 y 4), y acerca de la inercia y escalas temporales asociadas a los cambios del sistema climático, y su repercusión tanto en los sistemas ecológicos como en los sectores socioeconómicos (cuestión 5).

Las cuestiones sexta y séptima abordan lo que se sabe del potencial de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, de los costos y beneficios obtenidos de esta reducción, del período de tiempo en que se llevaría a término, así como en qué medida influirán el alcan-

mente, las respuestas a todas las cuestiones –el informe de síntesis ocupa 170 páginas y el resumen unas 40-, lo que sigue a continuación es un resumen muy sucinto de la respuesta a la novena cuestión que se plantea en el Informe de Síntesis, la cual en cierta manera sintetiza el contenido del propio Informe. La cuestión se formula así:

¿Cuales son las conclusiones más sólidas y las principales incertidumbres con respecto a la atribución del cambio climático y a las proyecciones obtenidas de los modelos en relación con:

- Las emisiones futuras de gases de efecto invernadero y aerosoles?

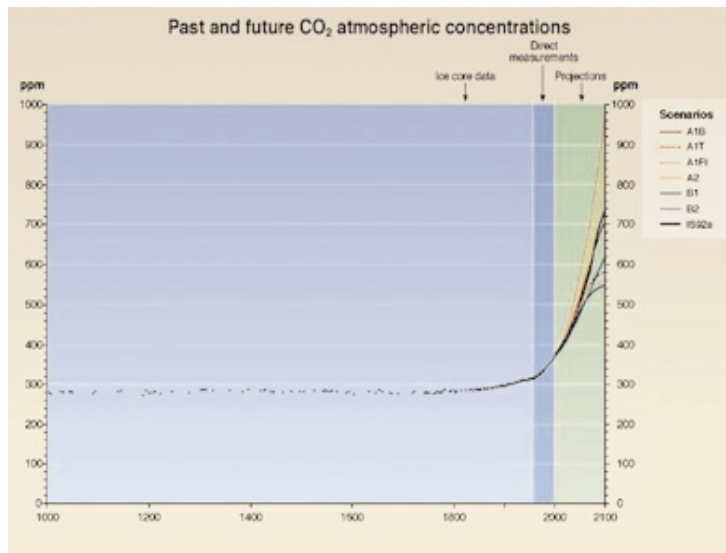


Figura 10a. Fuente: www.ipcc.ch

tar los análisis científicos, técnicos y socioeconómicos, a lo que se entien- de por interferencia antropógena peligrosa del sistema climático (cues- tión 1), a cuáles son las conclusiones más sólidas y las principales incerti- dumbres con respecto a la atribución del cambio climático y a las proyec- ciones obtenidas de los modelos (cuestión 9), pasando por interro- garse y responder sobre las pruebas existentes acerca de las causas, con- secuencias y cambios del clima de la Tierra desde la era preindustrial (cuestión 2), sobre lo que se sabe acerca de las consecuencias medio- ambientales y socioeconómicas fu- turas que ocasionarían las emisiones

ce y fechas en que se empiecen a aplicar las medidas de reducción de emisiones en la rapidez, magnitud e impactos del cambio climático.

La cuestión octava trata de las in- teracciones entre los cambios antro- pógenos previsible del clima y otros aspectos del medio ambiente, como contaminación del aire en ciudades, deposición ácida a nivel regional, pérdida de diversidad biológica, agotamiento de la capa de ozono es- tratósferico o la desertización y de- gradación de las tierras; y de los cos- tos, beneficios e implicaciones de es- tas interacciones.

Ante la imposibilidad material de recoger aquí, ni siquiera escueta-

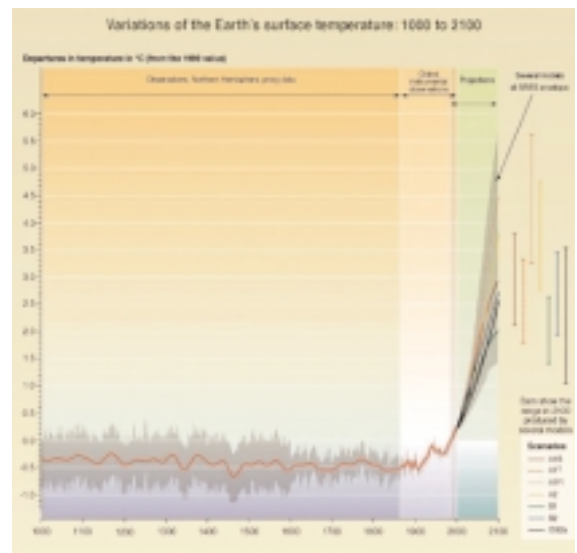


Figura 10b. Fuente: www.ipcc.ch

- Las concentraciones futuras de ga- ses de efecto invernadero y aero- soles?
- Los cambios futuros del clima re- gional y mundial?
- Los impuestos regionales y mun- diales del cambio climático?
- Los costos y beneficios de las ac- ciones de mitigación y de adapta- ción?.

Conviene aclarar que en la termi- nología del cambio climático se con- sidera que una conclusión es sólida cuando es válida para diferentes planteamientos, métodos, modelos y supuestos, y cuando se espera de ella que sea relativamente insensible a las incertidumbres. En este contexto, las

incertidumbres claves son aquellas que, de reducirse, podrían dar lugar a conclusiones sólidas nuevas y pertinentes desde el punto de vista de las políticas.

Muchas de las conclusiones sólidas del TIE tienen que ver con la exis-

tencia de una respuesta del clima a las actividades humanas y con el signo de esta respuesta. A su vez, muchas de las incertidumbres claves están relacionadas con la cuantificación de la magnitud, con la cronología de la respuesta y con los efectos poten-

ciales de una mejora de los métodos de trabajo utilizados y de una menor restrictividad de los supuestos.

La Tabla que se acompaña tomada del propio Resumen para Responsables de Políticas (RRP), aún sin pretender ser una lista exhaustiva, presenta

Tabla RRP
Conclusiones sólidas e incertidumbres clave.

Conclusiones sólidas		Incertidumbres clave
- Las observaciones indican que la superficie de la Tierra se está calentando. A nivel mundial, el decenio de 1990 fue muy probablemente el más cálido del registro instrumental (Fig. RRP-10b). [Q9.8] - Las concentraciones atmosféricas de los principales gases de efecto invernadero antropógenos [CO_2 (Fig. RRP-10a), CH_4, N_2O y O_3 troposférico] aumentaron sustancialmente desde 1750. [Q9.10] - Algunos gases de efecto invernadero residen muchos años en la atmósfera (p.e. CO_2, N_2O y los PFC)[Q9.10]. - La mayor parte del calentamiento observado en los últimos 50 años responde probablemente al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero por efecto de las actividades humanas. [Q9.8]	Cambio climático y atribución	- Magnitud y carácter de la variabilidad natural del clima. [Q9.8] - Forzamientos del clima producidos por los factores naturales y aerosoles antropógenos (particularmente, sus efectos indirectos). [Q9.8] - Relación entre las tendencias regionales y el cambio climático antropógeno. [Q9.8 y Q9.22]
- Las concentraciones de CO_2 aumentarán durante el siglo XXI debido, principalmente, a la emisión de combustibles de origen fósil (Figura RRP-10a). [Q9.10] - La estabilización de las concentraciones de CO_2 en la atmósfera a 450, 650 o 1000pp requerirá que las emisiones desciendan por debajo de los niveles de 1990, en el plazo de unos pocos decenios, alrededor de un siglo, o de unos dos siglos, respectivamente, y que continúen disminuyendo estacionariamente a partir de entonces hasta una pequeña fracción de las emisiones actuales. Las emisiones alcanzarían su máximo en uno o dos decenios (450 ppm) y en más o menos un siglo (1000ppm) desde el momento actual [Q9.30] - Para la mayor parte de los escenarios contenidos en el IE-EE las emisiones de SO_2 (precursores de aerosoles de sulfato) son menores en el año 2100 que en el año 2000. [Q9.10]	Las emisiones y concentraciones futuras de gases de efecto invernadero y aerosoles están basadas en proyecciones de los escenarios del Informe especial sobre escenarios de emisiones del TIE (IE-EE)	- Supuestos comunes Teniendo en cuenta estas incertidumbres se obtiene un intervalo de valores de las concentraciones de CO_2 en 2100 de entre 490 y 1260 ppm, aproximadamente, a muy diversos escenarios de emisiones del IE-EE, relativos al crecimiento económico, al progreso tecnológico, al crecimiento de la población y a las estructuras de responsabilidad (producen una incertidumbre máxima de las proyecciones). Escenarios de emisiones inadecuados para los precursores del ozono y de los aerosoles. [Q9.10] - Factores de la modelización del ciclo de carbono, incluidos los efectos de las respuestas del clima. [Q9.10]
- En promedio, durante el siglo XXI la temperatura mundial de la superficie aumentará muy probablemente a un ritmo sin precedentes en los últimos 10.000 años (Figura RRP-10b). [Q9.13] - Casi todas las áreas terrestres se calentarán más que el promedio mundial, con más días cálidos y olas de calor y menor días fríos y entradas frías [Q9.13] - Aumento considerable del nivel del mar durante el siglo XXI, que proseguirá en siglos posteriores. [Q9.15] - Mayor intensidad del ciclo hidrológico. Aumento del promedio de precipitación a nivel mundial y, muy probablemente, un mayor número de sucesos de precipitación en muchas áreas [Q9.14] - Aumento de la desecación estival, con el correspondiente riesgo de sequía (probable en la mayoría de las áreas interiores continentales en latitudes medias). [Q9.14]	Cambios futuros del clima mundial y regional basados en proyecciones de modelos que utilizan los escenarios del Informe especial sobre escenarios de emisiones del TIE (IE-EE)	- Supuestos asociados a una amplia gama Teniendo en cuenta estas incertidumbres se obtiene un intervalo de aumentos de la temperatura en superficie para 1990-2100 de entre 1'4 y 5'8°C (Figura RRP-10b), y para el aumento del nivel del mar, de entre 0'09 y 0'88m. de escenarios del IE-EE, como se indica más arriba. [Q9.10] - actores asociados a las proyecciones de los modelos, y en particular a la sensibilidad del clima, el forzamiento climático y los procesos de respuesta, especialmente los que tienen que ver con el vapor de agua, las nubes y los aerosoles (incluidos los efectos indirectos de los aerosoles). [Q9.16] - Entender la distribución de probabilidad asociada a las proyecciones de la temperatura y el nivel del mar. [Q9.16] - Los mecanismos, la cuantificación, las escalas temporales y probabilidades asociadas con cambios no lineales y abruptos (p.e. la circulación termohalina). [Q9.16] - Capacidad de los modelos a escala regional (especialmente en lo que se refiere a la precipitación), que dan lugar a discordancias en las proyecciones de los modelos a escalas local y regional. [Q9.16]

a Teniendo en cuenta estas incertidumbres se obtiene un intervalo de valores de las concentraciones de CO_2 en 2100 de entre 490 y 1260 ppm, aproximadamente.

b Teniendo en cuenta estas incertidumbres se obtiene un intervalo de aumentos de la temperatura en superficie para 1990-2100 de entre 1'4 y 5'8°C (Figura RRP-10b), y para el aumento del nivel del mar, de entre 0'09 y 0'88m.

sistematizadas y extractadas respuestas a las anteriores cuestiones con referencias a los puntos (Q9.x) y a las figuras del Informe de Síntesis.

Para concluir podemos decir que en el Tercer Informe de evaluación se ha avanzado notablemente en muchos aspectos de los conocimientos necesarios para comprender el cambio climático y la respuesta humana a éste. Sin embargo, subsisten aún importantes lagunas sobre las cuales es necesario trabajar, particularmente en relación con:

- La detección y atribución del cambio climático.
- La cuantificación de los daños producidos por los impactos del cambio climático a nivel mundial, regional y local.
- El análisis de actividades de adaptación y mitigación.
- La integración de todos los aspectos del cambio climático en estrategias encaminadas al desarrollo sostenible.
- Investigaciones ampliadas e integradas que ayuden a tener más

elementos de juicio sobre lo que constituye una interferencia antropógena peligrosa con el sistema climático.

En todo caso no debería perderse de vista que la comprensión del cambio climático, sus efectos y las opciones para mitigarlo y adaptarse a él se desarrollan mediante actividades de investigación y vigilancia, multidisciplinarias e interdisciplinarias, en un marco de evaluación integrada. Las páginas web y los informes del IPCC dan cumplida cuenta de ello.

- *El cambio climático que previsto tendrá efectos beneficiosos y adversos tanto en los sistemas socioeconómicos como ambientales, pero cuanto más importantes sean los cambios y la velocidad de cambio más predominarán los efectos adversos [Q9.17]*
- *Se espera que los impactos adversos del cambio climático recaigan desproporcionadamente sobre los países en desarrollo y sobre las personas más pobres de estos países. [Q9.18]*
- *Los ecosistemas y las especies son vulnerables al cambio climático y otras causas estresantes (como revelan los efectos observados de recientes cambios regionales de temperatura), y algunos resultarán dañados con carácter irreversible. [Q9.19]*
- *En algunos lugares de latitudes medias a altas la productividad vegetal (árboles y algunos cultivos agrícolas) aumentarán con la temperatura. La productividad vegetal disminuirá en la mayor parte de las regiones del mundo para calentamientos por encima de unos pocos °C. [Q9.18]*
- *Muchos sistemas físicos son vulnerables al cambio climático (p.e. el impacto del oleaje en las tempestades costeras se exacerbará por la subida del nivel del mar; los glaciares y el permafrost continuarán su retirada). [Q9.18]*

Impactos regionales y mundiales de cambios en el clima promedio y en los extremos.

- *Fiabilidad de los detalles locales o regionales de las proyecciones del clima, y especialmente de los valores extremos del clima. [Q9.22]*
- *Evaluación y predicción de la respuesta de los sistemas ecológicos y socioeconómicos al efecto conjunto del cambio climático y de otros efectos de coerción, como el cambio de usos de la tierra, la contaminación local, etcétera. [Q9.22]*

- *Acciones para la reducción (mitigación) de las emisiones de gases de efecto invernadero aminorarían las presiones del cambio climático sobre los sistemas naturales y humanos. [Q9.18]*
- *La mitigación tiene costes que varían según las regiones y los sectores. Existen considerables oportunidades tecnológicas y de otro tipo para disminuir estos costes. La compra y venta eficiente de emisiones también reduce los costos para aquellos que participan en dicho comercio. [Q9.31 y 9.34-35]*
- *Las limitaciones de emisiones en países del Anexo I del informe tienen efectos extensibles bien establecidos, aunque variados, sobre los países no incluidos en este Anexo. [Q9.31]*
- *Las respuestas nacionales de mitigación al cambio climático pueden ser más eficaces si se despliegan como un conjunto de políticas para limitar o reducir las emisiones finales de gases de efecto invernadero. [Q9.34]*
- *La adaptación tiene el potencial de reducir los efectos adversos del cambio climático y puede producir con frecuencia beneficios auxiliares, pero no evitará todos los daños. [Q9.24]*
- *La adaptación puede complementar la mitigación en una estrategia coste/eficacia para reducir los riesgos del cambio climático. Juntos pueden contribuir a los objetivos del desarrollo sostenible. [Q9.39]*
- *La inercia de los sistemas socioeconómico, ecológico y climático interactuantes es una causa principal por la que son beneficiosas las adaptaciones anticipadas y las medidas de mitigación. [Q9.38]*

Costos y beneficios de las opciones de adaptación y mitigación

- *El entendimiento de las interacciones entre el cambio climático y otros problemas medioambientales y sus correspondientes implicaciones socioeconómicas. [Q9.40]*
- *El futuro precio de la energía, costo y disponibilidad de tecnologías de bajas emisiones. [Q9.32]*
- *Identificación de los medios para superar obstáculos que se opongan a la adopción de tecnologías de bajas emisiones y estimación de los costos de superación de esos obstáculos. [Q9.34]*
- *Cuantificación de los costos de acciones de mitigación no planeadas y no esperadas con repentinos efectos en el corto plazo. [Q9.37]*
- *Cuantificación de las estimaciones de los costos de mitigación producidos por diferentes planteamientos que incluyan beneficios auxiliares, cambio tecnológico y los efectos sobre los sectores y las regiones. [Q9.34]*
- *Cuantificación de los costes de adaptación. [Q9.25]*

Reflexiones sobre la Información meteorológica

Lorenzo García Pedraza. Meteorólogo e Hidrólogo.

Reconocido meteorólogo e hidrólogo español, Lorenzo García Pedraza ha sabido combinar, durante su dilatada carrera en el Instituto Nacional de Meteorología, el desarrollo de su actividad profesional, con una importante dedicación a la divulgación de la meteorología. Fruto de ello son sus numerosas y prestigiosas publicaciones sobre meteorología y sus aplicaciones. En este artículo, reflexiona sobre la formación y la información en meteorología.

La observación meteorológica constituyó siempre un objetivo preferente de campesinos y marinos en tierras del interior o en zonas costeras. Ellos venían ocupándose del tiempo (atmosférico) con el transcurrir del tiempo (cronológico). Durante miles de años los hechiceros y adivinos de antiguas tribus daban a los fenómenos atmosféricos un carácter divino y ofrecían sacrificios a sus dioses (Eolo, Júpiter, Thor...). Hasta muy avanzada la Edad Media, la Meteorología estuvo ligada a la Astrología; luego, con el descubrimiento de los aparatos de observación, avanzó conjuntamente con la Astronomía. En el presente, la Meteorología o Física del Aire tiene naturaleza científica propia y posee el respaldo de modernos medios de observación, comunicaciones y teleproceso. Ellos permiten la observación, análisis y predicción del tiempo atmosférico a escala planetaria.

FORMACIÓN DE BASE

Las carreras universitarias que se ocupan del campo de la ciencia como

la Física, las Matemáticas, la Química, la Biología o la Geología recogen la meteorología de una forma teórica. Dentro de algunas especialidades de la carrera de Físicas, en los últimos años, se estudian materias como Termodinámica del aire, Dinámica del aire, Climatología...

De hecho, un elevado número del personal de los Cuerpos Especiales del Instituto Nacional de Meteorolo-

"En el presente, la Meteorología o Física del Aire tiene naturaleza científica propia y posee el respaldo de modernos medios de observación, comunicaciones y teleproceso".

gía (I.N.M.) son licenciados en Ciencias Físicas que accedieron a funcionarios del Estado por oposición.

También en varias Escuelas Especiales de Ingenieros y Técnicos como Agrónomos, Montes o Aeronáuticos, en las que se explica la Meteorología y Climatología como apoyo a las aplicaciones prácticas.

Sin embargo, en Secundaria son

poco afectivos los estudios de Meteorología. En ocasiones se incluye esta materia como complemento a los textos de geografía. La Formación Profesional dedica algo más de atención a las aplicaciones específicas de observación y efectos favorables o adversos de los elementos meteorológicos.

En los medios rurales, la Meteorología debiera tener más importancia desde la primeras etapas de la enseñanza. Un simple observatorio sería de gran interés local para obtener y orientar los datos a aplicaciones agrícolas, ganaderas y forestales, donde la precipitación de nubes, cambios de temperatura, viento o heladas son de marcado interés local.

Por último, destacaré desde estas líneas la vocación y afición de la red de voluntarios del INM, extendida en más de 5.000 puestos de observación por todo el territorio nacional. Ellos proporcionan de forma altruista datos de carácter local que complementan la red oficial de observatorios básicos.

También quiero destacar aquí los observatorios de medio ambiente de algunas ciudades, formados por estaciones automáticas fijas con registradores atmosféricos y acústicos. Ellos proporcionan un control de la contaminación y de diversas variables meteorológicas dentro del núcleo urbano y su información es divulgada por periódicos y emisoras de radio locales.

INFORMACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL TIEMPO

Hoy en día, la información del tiempo atmosférico goza de gran actualidad en todos los medios de difusión social: prensa, radio, televisión, internet, teléfono grabado...

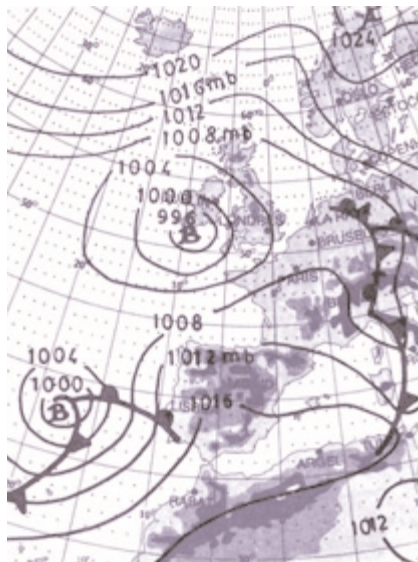
Periódicos y emisoras dedican destacada atención a la predicción del tiempo con carácter general y local, a partir del análisis y predicción que, con modernos medios y métodos, se realizan en el INM y comunican desde allí a los distintos medios de comunicación.

A veces, los presentadores de estos canales informativos expresan esta información de "forma propia", añadiendo o quitando párrafos con el objeto de que sea más personal y sugestiva. Resulta curioso que en TV interese tanto o más la buena imagen del presentador que el contenido veraz y técnico de lo que dice. La mayoría de ellos no son meteorólogos profesionales y en ocasiones se nota su exposición meteorológica. Esto no quiere decir que no haya muy buenos presentadores y a ellos agradecemos su interés y esfuerzo.

Con frecuencia se oye hablar de la cantidad de lluvia recogida en litros (cuando debería expresarse en litros por metro cuadrado, o en mm.), de temperaturas frías (que deberían ser bajas o en descenso), de nubes y tormentas de evolución (serían de evolución diurna), de cielos destapados (serían despejados de nubes), y otros detalles que hacen la predicción del tiempo popularmente impopular. Con ello no gana en prestigio el INM que proporcionó la información inicial.

FORMACIÓN BÁSICA PARA PRESENTADORES

Consecuentemente con lo que venimos comentando, sería muy interesante una formación previa de los predictores y presentadores en



Fuente: Lorenzo García Pedraza

los medios de difusión. Esto podría hacerse con un breve curso básico que abarcara una serie de materias como la observación y medida de variables meteorológicas, el estudio sobre mapas sinópticos del tiempo (superficie y altura) actuales y previstos, información básica sobre meteoros, referencias al Atlas Climático Nacional con sus diversos mapas de valores medios, referencias estadísticas de valores normales y desviaciones, así como efemérides de valores destacados por exceso o defecto: lluvias torrenciales, sequía, olas de frío, golpes de calor...

"Quiero resaltar lo importante de la formación de alumnos y de la información al gran público en lo concerniente a tiempo y clima".

Este curso debiera finalizar con unas prácticas basadas en situaciones reales utilizando mapas publicados por el INM con ejercicios escritos y verbales al respecto; utilizando el lenguaje correcto. En particular se debiera insistir para España en los efectos de las cordilleras sobre nubes y vientos: umbría y solana, estancamiento y fohen, barreras y portillos, focos de tormentas, microclimas locales, etc.

Con esta colaboración quiero resaltar lo importante de la formación de alumnos y de la información al gran público en lo concerniente a tiempo y clima, ya que reflejan el temperamento y el carácter de nuestra atmósfera. Profesores y presentadores tienen por tanto ante sí un importante y apasionante tema.

Los mapas sinópticos del tiempo del día a día y los resúmenes de datos climáticos de un largo periodo de años y el estudio meteorológico de las diversas Autonomías de España son valiosas ayudas que pueden aplicarse a múltiples actividades de la vida, al estudio del medio ambiente y al comportamiento de zonas locales y comarcales (microclimas).

El tiempo atmosférico es en general un amigo y aliado del hombre proporcionándole buenas coyunturas aunque en ocasiones se presente adverso y duro, cuando la madre Naturaleza se convierte en madrastra: entonces el tiempo es noticia de primera plana.

Breve bibliografía

- FONT TULLOT I. **Climatología de España y Portugal**. Nueva versión. 2ª edición. Año 2000. Universidad de Salamanca.
- GARCÍA DE PEDRAZA L. **Diez temas sobre el clima**. Ministerio de Agricultura. Servicio de Extensión Agraria. 1978.
- GARCÍA DE PEDRAZA L. **Diez temas sobre meteorología**. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. S.E.A.1990.
- GARCÍA DE PEDRAZA L. y REIJA GARRIDO A. **Tiempo y Clima en España. Meteorología de las Autonomías**. Dossat 1994.
- MEDINA ISABEL M. **Iniciación a la Meteorología**. 5ª edición. Editorial Paraninfo 1980.

Papel del físico en meteorología

Alejandra Hervás Perdomo.

*Licenciada en CC Físicas. Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental.
Colegio Oficial de Físicos.*

A pesar de no existir una titulación en Meteorología, la gran diversidad de aplicaciones de ésta tanto a nivel institucional como de empresa privada, permite que los físicos especializados en esta materia puedan desarrollar su profesión en distintos ámbitos.

Ser **meteorólogo** en España implica ser funcionario del Cuerpo Superior del Estado, es decir, básicamente se han de cumplir una serie de requisitos legales generales (ser español, o bien ciudadano de la Unión Europea, mayor de edad y poseer la titulación académica correspondiente, licenciado, arquitecto o ingeniero) y superar unas pruebas selectivas públicas (concurso oposición y curso selectivo de formación).

Tradicionalmente, un número importante de físicos, sobre todo aquellos especializados en las ramas de Física de la Atmósfera, Física de la Tierra, etc., han accedido a estas oposiciones ya que los temas en los que se basa el cuestionario de la oposición son Física, Matemáticas, Meteorología y Climatología.

Tras superar los requisitos y las pruebas correspondientes, un Meteorólogo, analiza e interpreta datos, elabora predicciones meteorológicas, desarrolla investigaciones, gestiona unidades técnicas, etc... tanto de carácter nacional como internacional.

En otros países la situación es diferente: meteorólogos pueden ser

profesionales que hayan superado la titulación universitaria en las Facultades con departamentos de Meteorología o Ciencias de la Atmósfera. Por otro lado, según una definición tomada de un manual de la American Meteorological Society, meteorólogo es aquella persona que utiliza principios científicos para comprender, explicar, observar o predecir los fenómenos de la atmósfera terrestre y el modo en que éstos afectan a la vida sobre el planeta (*).

Y esto es importante, ya que la Meteorología está adquiriendo gran relevancia en diferentes campos, tanto a nivel de investigación como a nivel de empresa privada, para estudios de contaminación atmosférica y modelos de difusión, planificación de infraestructuras, impacto ambiental, nuevas energías, etc. Es por esto por lo que cada vez se hace más necesaria la presencia de profesionales en la materia, siendo los físicos los más apropiados en esta área.

Por ejemplo, en la modelización de la difusión de la contaminación atmosférica que tiene como objetivo describir y predecir el comportamiento de los contaminantes atmosféricos con el fin de garantizar la buena calidad del aire, de modo que su naturaleza alterada no pueda dañar a personas, animales o bienes. Los modelos de difusión atmosférica contribuyen a suplir las carencias que tienen



Los parques eólicos aprovechan el viento para producir energía eléctrica. Fuente: Internet.

las medidas de campo en cuanto a resolución espacial y temporal, minimizando incluso los costes de instalación y mantenimiento de redes de medición y detección de contaminantes atmosféricos. Además, permiten contribuir a la optimización de las redes de medida localizando posibles fallos o errores de medida en la detección de la contaminación y comportamiento de los equipos o sensores de las estaciones remotas.

Otra materia de gran relevancia es el cambio climático, sobre el que existen estudios del incremento de temperatura y el efecto invernadero. Estudios para determinar las variaciones climáticas pueden ser realizados por físicos, debidamente cualificados en materia de atmósfera o bien en materia de geofísica y oceanografía, ya que todas estas ramas se ven involucradas en el estudio del cambio climático. Es más, los físicos participan en el desarrollo de instrumentos y técnicas de detección y medición, así como en modelos de predicción y evolución, ahondando en estos temas y elaborando estudios específicos.

Respecto a la relación de la meteorología con la oceanografía, podemos destacar la labor de los físicos en cuanto a aportaciones a los estudios e investigación de los procesos físicos del mar que intervienen en la circulación del agua oceánica (corrientes, mareas, etc.) así como a los estudios directos de las propiedades físicas del agua del mar (temperatura, densidad, etc.). Otra línea de investigación de máximo interés científico y actualidad sería la relación entre las fluctuaciones del clima y las masas oceánicas, desarrollando las investigaciones de los procesos físicos y dinámicos del sistema climático que ocurren en escalas de tiempo estacionales.

En cuestión de las nuevas energías podemos destacar la energía eólica, debido al gran auge que está teniendo en nuestro país, con el desa-

rollo de los parques, instalaciones adyacentes, etc. En ésta se puede aplicar el conocimiento de los físicos en meteorología para estudios sobre la viabilidad de ubicación del proyecto aplicando modelización de vientos, diseñando el software adecuado

"En otros países meteorólogos pueden ser profesionales que hayan superado la titulación universitaria en las Facultades con departamentos de Meteorología o Ciencias de la Atmósfera".

para el funcionamiento de estas estaciones, desarrollando estudios de la posible producción de energía eléctrica, etc.

Para la planificación y la evaluación del impacto ambiental de grandes infraestructuras, la tendencia que se sigue es la de incorporar equipos interdisciplinares de profesionales que abarquen todos los temas, para elaborar informes lo más completos posibles. Esto permite que los físicos se incorporen en este campo para el estudio de varias materias, incluyendo la meteorología.

Otra materia de gran actualidad es la arquitectura bioclimática, que necesita de la realización de estudios

"Son numerosos los físicos que trabajan como meteorólogos a pesar de no haber accedido a las oposiciones. Por ello esta situación debería regularizarse".

y cálculos de conceptos como condiciones meteorológicas del emplazamiento de la vivienda, trayectoria solar, radiación directa y difusa, transmisión de calor, etc. Esta nueva visión global permitirá un desarrollo para los físicos en este interesante campo de desarrollo en colaboración con los arquitectos.

En materia de aseguramiento de riesgos que se entiende como la protección del patrimonio contra los fenómenos meteorológicos tales como el pedrisco, inundaciones, vientos huracanados, etc., que pueden hacer peligrar las instalaciones y las zonas y poblaciones adyacentes, los profesionales pueden afrontar la administración e investigación en materia de riesgos, para obtener soluciones o previsiones en función de las posibilidades económicas, técnicas y legales que dispongan. Este papel lo puede desempeñar un físico formado profesionalmente en las diferentes áreas del aseguramiento de riesgos. Para ello existen diversos cursos de formación, que ayudan a profundizar en



Los modelos matemáticos permiten conocer la difusión de la contaminación atmosférica.

materia administrativa así como en materias técnicas particulares.

A pesar de no existir una titulación en Meteorología, la gran diversidad de aplicaciones de ésta tanto a nivel institucional como de empresa privada, permite que los físicos puedan desarrollarse profesionalmente. De hecho, son numerosos los físicos que trabajan como meteorólogos a pesar de no haber accedido a las oposiciones. Por ello esta situación debería regularizarse, tanto a nivel administrativo como académico, potenciando las diversas aplicaciones de la Meteorología. En este artículo se han mostrado sólo una parte de estas aplicaciones, siendo realmente otras muchas las que ofrece el mercado laboral

La Meteorología en la Red

En este apartado se muestran algunos de los recursos más importantes en internet relativos a la meteorología. A partir de ellos, se puede acceder a otras muchas páginas de interés en relación con la materia.

ORGANISMOS INTERNACIONALES

WMO. Organización Meteorológica Mundial	www.wmo.ch
ECMWF. Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo	www.ecmwf.int
EUMETSAT. Europe's Meteorological Satellite Organisation	www.eumetsat.de
NCEP. National Centers for Environmental Prediction	www.ncep.noaa.gov
IPPC. Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático	www.ipcc.ch
Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	www.unfccc.de

ORGANISMOS NACIONALES ESPAÑOLES

MMA. Ministerio de Medio Ambiente	www.mma.es
INM. Instituto Nacional de Meteorología	www.inm.es
CIEMAT. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas	www.ciemat.es
CSIC. Consejo Superior de Investigaciones Científicas	www.csic.es
IAC. Instituto Astrofísico de Canarias	www.iac.es
Instituto Español de Oceanografía	www.ieo.es
INTA. Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales	www.inta.es

ORGANISMOS NACIONALES OTROS PAÍSES

DWD. Alemania. The Deutscher Wetterdienst	www.dwd.de
SMN. Servicio Meteorológico Nacional de Argentina	www.meteofa.mil.ar
Austria. ZAMG.	www.zamg.ac.at
Belgica. The Royal Meteorological Institute of Belgium	www.meteooma.be
Meteo France	www.meteo.fr
Gran Bretaña. The Meteorological Office	www.meteo.govt.uk
KNMI. Holanda. Royal Netherlands Meteorological Institute	www.knmi.nl
SMFAl. Servicio Meteorológico de Italia	www.meteo.difesa.it
SENAMHI. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú	www.senamhi.gob.pe
Servicio Nacional de Meteorología de México	smn.cna.gob.mx
IM. Instituto de Meteorología en Portugal.	www.meteo.pt
Suecia. SMHI. The Swedish Meteorological and Hydrological Institute	www.smhi.se
NOAA. Administración Nacional Oceánica y Atmosférica. Usa	www.nws.noaa.gov

SERVICIOS AUTONÓMICOS

Servei de Meteorologia de Catalunya	www.gencat.es/servmet
Unidade de Observación e Predicción Meteorolóxica de Galicia.	www.siam-cma.org/meteorologia
Rede Galega de Climatoloxia	www.siam-cma.org/clima
Meteorología en Navarra	www.cfnavarra.es/meteo
Servicio Meteorológico del País Vasco	http://vppx134.vp.ehu.es/met/home.htm

UNIVERSIDADES

Departament D'astronomia i Meteorologia. Universitat de Barcelona	www.am.ub.es
Departamento de Geofísica y Meteorología de la Universidad Complutense de Madrid	www.ucm.es/info/Geofis
Grupo de Física No Lineal. Unidad de Observación y Predicción Meteorol. Univ. de Santiago de Compostela	http://meteo.usc.es
Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid	www.fal.cie.uva.es
Grupo de Modelos y Software para el Medio Ambiente. Facultad de Informát. de la Univ. Politéc. de Madrid	http://artico.lma.fi.upm.es

ASOCIACIONES

ACOM. Associació Catalana de Observadors Meteorològics	www.acom.es
AEB. Asociación Española de Biometeorología	www.biomet-esp.org
AEC. Asociación Española de Climatología	www.cica.es/aliens/aeclima/aec.htm
AME. Asociación de Meteorólogos Españoles	ame@yahoo.es
Centro de Investigaciones sobre la Sequía	www.sequia.edu.mx
SEA. Sociedad Española de Astronomía	http://sea.am.ub.es

PORTALES

Barrabes	www.barrabes.es/eltiempo/meteo.asp
Infomet	www.infomet.fcr.es
Meteored	www.meteored.com
Meteoweb	www.meteoweb.es.org

OTRAS PÁGINAS DE INTERÉS

EPA. Environmental Protection Agency U.S.	www.epa.gov
NASA	www.nasa.gov
Adena	www.wwf.es
Ecologistas en Acción	www.ecologistasenaccion.org
Greenpeace	www.greenpeace.org
Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea	www.aena.es
Protección Civil	www.proteccioncivil.org
Puertos del Estado. Departamento de Clima Marítimo	www.puertos.es
CNN: Servicios Meteorológicos	www2.cnn.com/weather
Canal del Tiempo	http://tiempo.weather.com
Huracán.Net	www.huracan.net

Servidores Meteorológicos	www.cptec.inpe.br/well_come/meteosie.html
---------------------------	--

Diccionario Meteorológico	http://vppx134.vp.ehu.es/met/diccio/indice.htm
---------------------------	---

S.M. la Reina Sofía nombrada Física Honoraria del 2001



S.M. La Reina Doña Sofía ha aceptado Su Nombramiento como Física Honoraria aprobado en la última Asamblea del Colegio. Este galardón constituye la más alta distinción que, desde 1996, otorga este Colegio a aquellas personas que han contribuido al desarrollo

interés que Su Majestad ha mostrado siempre por el mundo de la Física y por los profesionales que la representan, y a su vez, un honor para este colectivo que ve en esta aceptación, un reconocimiento de su importante papel en nuestra sociedad.

de la profesión del físico o que, en el desempeño de su actividad profesional, han trabajado en apoyo de la ciencia.

Este nombramiento supone un reconocimiento al

Además de destacar Su primordial labor personal en pro de los avances científicos, con el nombramiento como Física Honoraria de S.M. La Reina, el Colegio Oficial de Físicos deja constancia del agradecimiento por Su inestimable apoyo en uno de los principales proyectos llevados a cabo por esta institución, el Congreso Nacional del Medio Ambiente. Desde sus inicios en 1992, el Congreso se ha honrado con la presencia de Dña. Sofía en sus dos primeras convocatorias y con la continuada Presidencia de Honor de SS. MM. Los Reyes de España en las cinco ediciones de historia de este evento.

I Semana de la Ciencia de la Comunidad de Madrid

El Colegio de Físicos se ha sumado a la celebración de la I Semana de la Ciencia organizada por la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid, con el objetivo de facilitar "la presentación actualizada del conocimiento científico y su aplicación, de tal modo que ponga a más individuos en grado de comprender las complicadas problemáticas de nuestro tiempo".

La oferta de esta semana, que cuenta con la participación de un centenar de organizaciones, abarca una gran variedad de temas científicos abordados desde muy diversos puntos de vista.

En la Semana de la Ciencia, el Colegio de Físicos ha programado una charla-coloquio sobre "El Futuro de las Energías Renovables", para tratar sobre el presente

y futuro de este sector y las oportunidades de empleo que ofrece.

Este debate da continuidad al curso de formación del profesorado sobre "Energías Renovables" celebrado durante dos fines de semana del mes de octubre, que ha contado con la participación de una treintena de alumnos y que ha sido acogido con entusiasmo por nuestro colectivo.

Congreso Nacional del Medio Ambiente: www.conama.es

El Colegio Oficial de Físicos ha puesto en marcha una página web dedicada en exclusiva a una de sus principales actividades, el Congreso Nacional del Medio Ambiente: conama.es. Se

trata de una referencia de máxima actualidad debido a la continuidad de los trabajos entre Congresos. En ella se encuentra toda la información de las ediciones celebradas hasta el mo-

mento y las novedades de futuras ediciones. Además, se trata de una plataforma a través de la cual se pretende ampliar las formas de participación en el mismo.



Fuente: Alberto Romero

Gonzalo Echagüe Méndez de Vigo

Presidente del Colegio Oficial de Físicos de España

Nacido en Madrid en 1946, Gonzalo Echagüe Méndez de Vigo es Licenciado en Ciencias Físicas, Diplomado en Sociología Industrial, Planificación y Administración de Empresas e Ingeniería Ambiental. Con una larga y probada experiencia de más de veinte años en el área de Medio Ambiente, es experto en contaminación atmosférica y ha sido asesor del Ministerio de Industria y Energía y, del Ministerio de Medio Ambiente. Desde 1986, es Presidente del Colegio Oficial de Físicos de España y en la actualidad es Vicesecretario de Unión Profesional y Presidente de su Comisión de Medio Ambiente. En la presente entrevista, reflexiona acerca de los 25 años de trayectoria del Colegio Oficial de Físicos.

Este año se celebra el veinticinco aniversario de la creación del Colegio Oficial de Físicos, ¿qué balance hace de estos años?

El balance es positivo, en especial si miramos hacia el futuro. Este año coincide el veinticinco aniversario de la creación del Colegio de Físicos con el cincuenta aniversario de los comienzos de la Asociación Nacional de Físicos de España (ANFE). A través de la ANFE se dieron los primeros pasos para potenciar y promocionar el papel del físico en la Sociedad. Debemos agradecer los esfuerzos de nuestros compañeros, a los que quiero recordar en la figura de nuestro querido Presidente de Honor Leonardo Villena, ya que gracias a ellos estamos celebrando estos aniversarios.

Recordar, asimismo, a nuestro compañero Jesús Sancho Rof, que fue, hace veinticinco años, quien dio un fuerte impulso a la creación del Colegio. Quiero aprovechar esta ocasión también para agradecer a todos aquellos que durante estos años, en distintos cargos en las Juntas de Gobierno, Delegaciones, Comisiones o simplemente colaborando con

nuestra Institución, nos han ayudado a situar el Colegio en una posición muy favorable para encarar los retos que nos depararán, sin duda, los nuevos tiempos.

¿Cuáles son para usted, los principales retos que deberá plantearse nuestra profesión en los próximos años?

En mi opinión, es necesario que el profesional Físico adquiera una posición relevante en determinados sectores de actividad cruciales para el desarrollo futuro de nuestra sociedad. Hasta la fecha, los físicos gozamos de un gran reconocimiento por nuestra capacidad formativa e investigadora, incluso en áreas del saber relacionadas con la Física de una forma más tangencial. Sin embargo, nuestra capacidad para participar en sectores más directamente relacionados con la tecnología, es cuestionada todavía con demasiada frecuencia.

En los últimos años se han desarrollado actividades empresariales que necesitan del concurso de gran número de profesionales de distintos ámbitos. Medio ambiente, calidad,

tecnologías de la información, prevención de riesgos laborales, entre otros, son sectores de gran pujanza, en los que todavía no se asume la participación exclusiva de un único tipo de profesional, sino que se opta por los equipos multidisciplinares. Los Físicos tenemos el reto y, a la vez, la oportunidad, de afianzar nuestro papel en dichos sectores.

Este Colegio esta asumiendo entre sus objetivos el compromiso de emprender acciones encaminadas en esta dirección. Buena prueba de ello es la realización de las sucesivas ediciones del Congreso Nacional del Medio Ambiente, que entre otras cosas, han contribuido a consolidar el papel del Físico en este sector profesional.

En un momento como el actual, de creciente liberalización en todos los sectores, ¿no cree usted que los Colegios Profesionales deberían replantearse su papel en la sociedad?

Es incuestionable el importante papel de los Colegios Profesionales como defensores de los lícitos intereses de los colegiados y como garantes, de cara a la sociedad, de la indepen-

dencia y profesionalidad de los mismos. Desde este punto de vista, la permanencia de los Colegios Profesionales debería estar garantizada.

Lo que sí es cierto es que los Colegios Profesionales, al igual que otras muchas instituciones, deberían someterse a un replanteamiento general de los procedimientos que utilizan para la consecución de estos fines, que les haga adaptarse con rapidez a lo que demanda la sociedad en cada momento.

Precisamente, el Colegio Oficial de Físicos siempre se ha caracterizado por incorporar a su gestión las actividades que mejor reflejen la actualidad de cada momento. A este respecto me gustaría mencionar que nuestro Colegio fue uno de los primeros en reflejar sus actividades por Internet; actividades que en este momento no sólo ha consolidado, sino que además pretende mejorar en el futuro.

¿Considera necesaria una nueva Ley de Colegios Profesionales?

A mi juicio es absolutamente necesaria una nueva Ley de Colegios Profesionales. Hay que tener en cuenta que la actual Ley data de 1974. Es decir, no sólo es preconstitucional, sino que también, como consecuencia del paso del tiempo, adolece de ciertas carencias que necesitan subsanarse. Sin ir más lejos, la promulgación de diferentes normativas autonómicas al respecto, está creando disfunciones importantes, que podrían solucionarse mediante la armonización que ejercería una Ley Básica.

Actualmente el Gobierno ha asumido el compromiso de aprobar una nueva Ley de Colegios Profesionales durante esta legislatura. Esta Ley no sólo deberá recoger aspectos como los anteriormente mencionados, sino que además, tendrá que plantear los mecanismos necesarios para garantizar el correcto ejercicio de cada pro-

fesión. A este respecto, la obligatoriedad de la colegiación es una posibilidad a contemplar siempre y cuando se parta de criterios tolerantes con las situaciones específicas.

Y en el caso de llegar a promulgarse, ¿cómo incidiría en el Colegio de Físicos?

En cualquier caso, entiendo que esta nueva Ley beneficiará al Colegio de Físicos pues es previsible que la misma sea concebida con la mentalidad que nos caracteriza, focalizando las actividades de este tipo de instituciones hacia el servicio a la sociedad y a la defensa de los intereses profesionales de sus colegiados.

¿En qué situación considera usted que se encuentra la enseñanza de la física en nuestro país?

En los últimos años, se ha constatado un descenso importante en el número de alumnos que cursan la carrera de C.C. Físicas en nuestro país. A mi juicio, este descenso es consecuencia principalmente de la deficiente enseñanza de la Física en la enseñanza media.

El Colegio de Físicos junto con otras instituciones como la Real Sociedad Española de Física está trabajando para corregir esto.

Pero las facultades también tienen que contribuir a promocionar la carrera de Físicas, adaptándola a las nuevas profesiones mediante la incorporación en sus planes lectivos de determinadas asignaturas en línea con lo que demanda el mercado (medio ambiente, finanzas, proyectos, etc...)

¿Qué proyectos plantea el Colegio de Físicos para el futuro?

El Colegio de Físicos afronta el futuro de una forma optimista, buscando consolidarse en la sociedad española como un Colegio moderno, ágil y capaz de adaptarse rápidamente a

las necesidades de nuestro colectivo.

Nuestro objetivo básico sigue siendo el mismo: abrir nuevas vías de desarrollo profesional a los físicos, consolidar la figura del físico como profesional preparado en muy diversos sectores y defender nuestras competencias profesionales. No menos importante que este objetivo final, resulta la consolidación del Colegio de Físicos como una organización de referencia para la sociedad en general, pero en especial para las distintas administraciones y el mundo de la empresa.

Con este reto por delante, el Colegio aborda una variada serie de proyectos y actividades. Desde los cursos de formación al profesorado, a las publicaciones divulgativas, pasando por la organización de eventos -entre los que destaca el ya firmemente consolidado Congreso Nacional del Medio Ambiente- o la apuesta por crear el portal de la física en español.

En este último, estamos poniendo una gran ilusión y trabajo. Creemos que la física debe estar más presente en nuestra sociedad y para ello, resulta imprescindible disponer de una información actualizada, objetiva y veraz de las diversas áreas de la Física, y de todos aquellos temas relacionados con ella. Y el medio más adecuado para alcanzar este objetivo es internet.

Por este motivo, hemos abordado la creación del sitio *fisicaysociedad.es*, que estará dividido en cuatro grandes bloques -enseñanza de la física, áreas de desarrollo profesional, investigación y "quién es quién"-.

Este portal nace con la intención de ser un punto de encuentro de la Física en español, donde todos aquellos que busquen cualquier tipo de información, referente a cualquier tema relacionado con la Física, puedan acceder a ella de una manera sencilla y directa. ■

...más noticias

Jornadas sobre Cambio Climático

Durante los días 25 y 26 de octubre, se han desarrollado, en el Aquarium de San Sebastián, las Primeras Jornadas sobre Cambio Climático, organizadas por la Delegación del Colegio de Físicos del País Vasco, junto con el Donostia International Physics Center y la Universidad del País Vasco.

Las Jornadas, a las que asistieron casi un centenar de personas, fueron inauguradas por D. Pedro Miguel Etxenique (Presidente del DIPC) y D. Jon Barrutia (Viceconsejero de Universidades e Investigación). En ellas, varios



Fuente: Vanessa Lasaga

expertos en la materia presentaron sus últimos trabajos. Por orden de aparición han intervenido: Dr. L. Balairón (INM), Dr. D. Viner (University of East Anglia, Reino Unido), Dr. E. Zorita (Institut für Kuestenforschung, Alemania), Dr. M. Millán

(CEAM), Dra. C. Rodríguez (Universidad de Salamanca), Dra. A. Iglesias (Universidad Politécnica de Madrid), D. Joaquín Nieto (Confederación de Medio Ambiente y Salud Laboral de CC.OO) y D. Julen Rekondo (El Correo/DV).

El acto finalizó con un debate moderado por D. Gonzalo Echagüe (Presidente del Colegio Oficial de Físicos), en el que los ponentes y los asistentes, desde distintos puntos de vista, opinaron acerca del papel de la Sociedad y los Medios de Comunicación ante el Cambio Climático.

II Encuentro Iberoamericano del Medio Ambiente

El Colegio Oficial de Físicos de España, la Fundación Popular Iberoamericana y el Centro de Estudios y Gestión Ambiental para el Desarrollo, organizan, con la colaboración del Ministerio de Medio Ambiente de España y del Ministerio Secretaría de la Presidencia de la República de Chile, el II Encuentro Iberoamericano del Medio Ambiente, bajo la presidencia de honor de S.A.R. El Príncipe de Asturias.

El Encuentro se celebra en Santiago de Chile, del 4 al 6 de diciembre de 2001, y plantea como su principal objetivo, adaptar la experiencia del Congreso Nacional del Medio Ambiente de España –primer foro de medio ambiente a escala nacional- a los países iberoamericanos, a fin de fortalecer el conocimiento en los temas esenciales del medio ambiente para la

acción política, gestión pública e integración en el ámbito privado, además de potenciar el intercambio de información y experiencias entre los profesionales españoles e iberoamericanos y la cooperación en la protección y desarrollo del medio ambiente, favoreciendo un intercambio cultural, técnico, científico y profesional entre países en desarrollo y economías en transición.

Asimismo se pretende fomentar que España asuma un importante papel de intermediación política, económica y social en materia medioambiental entre la Unión Europea y los países Iberoamericanos.

Hasta el momento se han celebrado con éxito tres reuniones preparatorias, con la participación de importantes expertos, y el objetivo de que el II Encuen-

tro Iberoamericano del Medio Ambiente reuna finalmente a responsables con competencias medioambientales a escala nacional, regional y local, empresas inversionistas, asociaciones no gubernamentales y universidades, de España e Iberoamérica durante los tres días en que se debatirá sobre las principales cuestiones que afectan a la Ecología Urbana.

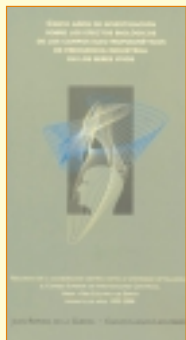
En definitiva, el II Encuentro Iberoamericano del Medio Ambiente pretende crear un marco de debate centrado en un tema de gran relevancia en las sociedades actuales, la Ecología Urbana, favoreciendo una discusión multidisciplinar entre todos los sectores implicados.

Más información acerca del acto en:

www.conama.es/eima



B i b l i o g r a f í a

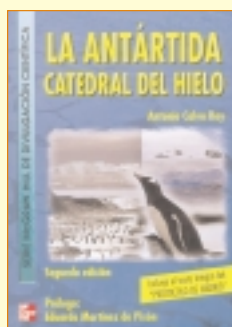


Juan Represa de la Guerra y Carlos Llanos Lecumberri. "Cinco años de investigación sobre los efectos biológicos de los campos electromagnéticos de frecuencia industrial en los seres vivos". Publica: Universidad de Valladolid, Consejo Sup. de Investigaciones Científicas, Unesa y Red Eléctrica de España. Marzo 2001. 30 págs.

Día tras día los medios de comunicación nos desbordan con avances científicos cada vez más sorprendentes, desde la clonación de un ser vivo, o el descubrimiento del mapa genético humano hasta el último avance de la informática y las telecomunicaciones. Simultáneamente, también son frecuentes las noticias sobre sus posibles consecuencias perjudiciales para la salud o el medio ambiente, o sus repercusiones éticas. El resultado suele ser que a menudo los ciudadanos nos hallamos inmersos en un alud de novedades que no llegamos a entender e inermes ante el dilema de discernir entre las posibilidades que la tecnología pone a nuestro alcance y sus potenciales riesgos.

Se plantea entonces para los científicos la tarea de establecer un puente entre la investigación y la sociedad, impulsando la divulgación científica como una forma de avanzar en la difusión de los más recientes conocimientos, de promover la utilización correcta de los nuevos recursos tecnológicos y también como una manera de combatir la desinformación y, a veces, hasta el alarmismo. Este propósito divulgativo es el objetivo de esta publicación.

En ella se presenta un resumen de los resultados obtenidos tras cinco años (1995-2000) de colaboración científica entre la Universidad de Valladolid, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Unesa y Red Eléctrica de España en un área puntera de la investigación biológica: los efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia industrial en los seres vivos.



Calvo, Antonio. "La Antártida. Catedral del Hielo". Editorial Mc Graw-Hill. Madrid, 2000. 243 págs. P.V.P. 3100 pts, 18,63 euros.

"La Antártida, catedral del hielo", es una segunda edición ampliada de la obra que el periodista Antonio Calvo escribió diez años atrás. En esta segunda edición se ha incluido todo lo que ha acontecido durante estos últimos años, que han sido cruciales para la protección del continente helado.

Antonio Calvo, entre otros temas, trata la influencia que la Antártida tiene en el clima del planeta, así como su fauna y las amenazas que sobre ella acechan. También podemos leer cuáles han sido las actuaciones que ha realizado España en el continente blanco y las aportaciones que éstas han supuesto. Utilizando una gran cantidad de datos, el autor describe las dramáticas historias de su descubrimiento y la también dramática evolución de la capa de ozono.

Dentro de esta obra se incluyen los textos íntegros del Tratado Antártico y el Protocolo de Madrid. El Tratado Antártico es el marco jurídico que declara a la Antártida continente desnuclearizado y pa-

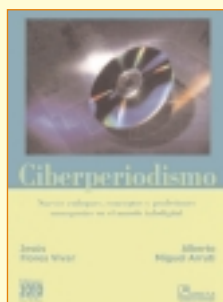
trimonio de la ciencia y que desembocó en el Protocolo de Madrid, el acuerdo más proteccionista que se ha firmado nunca para proteger un medio natural, y que ha alejado definitivamente el fantasma de explotación de los recursos naturales en La Antártida. Con todo ello ésta es una de las obras más completas y actuales sobre el continente Antártico.



Sánchez Ron, José Manuel. "El Siglo de la Ciencia". Taurus, Grupo Santillana de Ediciones. Madrid, 2000. 315 págs. P.V.P. 2950 pts, 17,72 euros.

José Manuel Sánchez Ron nos presenta los descubrimientos y personajes más importantes de los últimos cien años en los campos de la Física, Química, Biología, Geofísica, Medicina, Ciencias Espaciales, de las Telecomunicaciones y de la Computación, en una revisión histórica de los mayores avances científicos y tecnológicos que se han llevado a cabo en el Siglo XX. Pero esta obra no es una fría reconstrucción más de la historia de la ciencia del siglo pasado, ya que no se limita a narrar en qué consistieron estos descubrimientos, sino que además nos relata en qué circunstancias se produjeron y qué personajes estaban implicados: científicos, políticos, y empresarios, y como posteriormente estos avances fueron aplicados a la Industria. Además es de destacar cómo el autor relaciona la Ciencia con los efectos que esta ocasiona en la Sociedad, tanto positivos como negativos, y viceversa, ya que es la Sociedad la que en ocasiones es la que marca el ritmo del desarrollo de las investigaciones, un claro ejemplo es el

tremendo desarrollo de la ciencia durante las dos Guerras Mundiales. De esta manera el gran divulgador Sánchez Ron pone de manifiesto de una manera brillante la relación entre Ciencia y Sociedad.



Flores Vivar, Jesús y Miguel Arruti, Alberto. "Ciberperiodismo. Nuevos Enfoques, Conceptos y Profesiones Emergentes en el Mundo Infodigital". Editoriales: 2010 y Limusa. 2001. 255 págs.

Dos profesores, Jesús Flores Vivar y Alberto Miguel Arruti, miembro del Colegio de Físicos, reflexionan en este libro acerca de una serie de cuestiones, de candente actualidad, en un momento, como el actual, en que estamos entrando en la sociedad de la información. A lo largo de catorce capítulos, pasan revista a una serie de interrogantes, que nos preguntamos cada día. En un próximo futuro, ¿cómo serán los medios de comunicación? ¿de qué modo Internet afectará a la prensa?, ¿hasta qué punto desaparecerán determinados oficios o profesiones y aparecerán otros nuevos?. El propósito de la obra es informar, opinar sobre los hechos ya consumados y pronosticar, dentro de lo posible, el horizonte, que se presenta ante un mundo, que cambia a pasos de gigante. El interés por la investigación se debe a que ésta es considerada hoy como uno de los pilares de poder en que se asienta nuestra sociedad. Y los autores han investigado, han reflexionado, sobre el papel del periodista y de los medios de comunicación, en una sociedad dominada por las nuevas tecnologías, en cuyo fondo aparecen siempre la Electrónica y la Informática.



Varios Autores. "Ciencia y Tecnología en 2000". Edita: Asociación Española de Periodismo Científico. 266 págs.

Bajo el título CIENCIA Y TECNOLOGÍA

EN 2000, la Asociación Española de Periodismo Científico ha publicado, por segundo año consecutivo, un informe o anuario sobre la situación de la investigación científica en España. Se ha puesto un especial interés en suministrar la mayor cantidad posible de datos y en contrastar los mismos, de tal forma que la información tiene un claro predominio sobre la opinión, aunque también hay espacio para que destacados especialistas expongan sus opiniones sobre la información suministrada. Se abre el libro con unas palabras de la ministra de Ciencia y Tecnología, Anna Birulés, que hace un balance del año, que lleva funcionando el Ministerio que preside.

Se estudia la investigación en los organismos públicos, en las Universidades, en las fundaciones y en las empresas. También se informa sobre la investigación en las comunidades autónomas.

Como tema del año se ha escogido la energía eólica, dado el gran desarrollo que ha adquirido en nuestro país, así como por el futuro que se abre ante la misma.



García de Pedraza, Lorenzo; Reija Garriño, Ángel. "Tiempo y clima en España". Editorial Dossat-2000. Madrid 1994. 410 págs.

El tiempo y el clima —el temperamento y el carácter en el comportamiento de la atmósfera: (ligado a calmas y oleajes) es fundamental para múltiples actividades: agricultura, aeronáutica, marina, pesca, medio ambiente, turismo, planificación del territorio, obras públicas, salud, defensa nacional, protección civil, etc.... No en balde vivimos en el fondo del océano atmosférico como el pez que vive dentro del agua.

Es por ello, que, el libro puede resultar de gran utilidad para un amplio espectro de profesionales y estudiantes: cátedra de geografía, estudiantes de periodismo, academias militares, estudiantes de ciencia (biológicas y geológicas), escuelas técnicas medias y superiores (arquitectos, agrónomos, montes aeronáuticos, caminos), escuelas de magisterio y formación profesional, planificadores de me-

dio ambiente, estudiantes de meteorología, estudios territoriales de la administración autonómica, etc....

Este libro da una visión general del tiempo y clima en España. Luego matiza, una por una, las características climáticas de cada autonomía. Ello permite comparar y analizar sus caracteres específicos; se tiene así una visión global del conjunto y de las partes componentes. Al final enuncia aplicaciones de tiempo y clima a diversos usuarios.



Varios autores. "El Campo de las Ciencias y las Artes. Nº 137. El Cambio Climático". Edita: Servicios de Estudios del Banco Bilbao Vizcaya Argentaria. Madrid, 2000. 530 págs.

Luis Balairón, coordina esta monografía sobre Cambio Climático, dentro de la serie "El Campo de las Ciencias y de las Artes", editado por el Servicio de Estudios del BBVA.

En la publicación se analiza esta temática desde el punto de vista de los fundamentos, los impactos y las respuestas al Cambio Climático, a través de las contribuciones de algunos expertos españoles.

Las partes primera y segunda tratan de los fundamentos del Clima y del riesgo de Cambio Climático Global respectivamente. En la tercera y cuarta parte se abordan los impactos sectoriales y las respuestas sociales y políticas que han surgido en la sociedad internacional y en cada país para afrontar este riesgo.



De Pedraza Velasco, Mª Lourdes, Mian-golarra Page, J. Carlos, Dias Soares, Olivierio Delfim y Rguez. Rguez., Luis Pablo. "Física aplicada a las Ciencias de la Sa-

lud". Ed. Masson. Barcelona, 2000. 416 págs.

Nuestra compañera Lourdes de Pedraza participa en la realización de un trabajo de gran utilidad: realizar un libro de física orientado al profesorado, y a los alumnos, de las carreras relacionadas con las ciencias de la salud.

Como destaca en la introducción de la obra Juan R. Zaragoza, Catedrático de Radiología y Medicina Física de la Universidad de Sevilla, "Si el contenido es el idóneo, hay que comentar igualmente el estilo y la presentación. Los temas están enfocados, por una parte, con el máximo rigor, y por otra, con el necesario atractivo en la exposición".



Bautista Aranda, Manuel. "En las puertas del espacio". McGraw-Hill. Madrid, 2001. 392 págs. 3100 pts, 18,63 euros.

Tras los logros conseguidos en las últimas décadas en la conquista y conocimiento del espacio, el ser humano se ha planteado nuevas metas más ambiciosas. Metas que hasta hace cincuenta años sólo habrían aparecido en los libros de ciencia ficción. Con este libro de divulgación sobre la exploración espacial, Manuel Bautista responde a muchas preguntas referentes al pasado, presente y futuro del hombre en el espacio. Una de estas cuestiones es la posibilidad real de que un gran meteorito caiga sobre nuestro planeta, algo que ya ocurrió con anterioridad. Pero, ¿se sabe cuándo caerá el próximo?

En sus quince capítulos, el autor trata temas tan variados como: vuelos espaciales tripulados, incluyendo posibles viajes a otros planetas; la exploración del Sistema Solar y las posibilidades de hallar vida en él; la observación y exploración de los confines del Universo; la búsqueda de Civilizaciones Extraterrestres, etc. Manuel Bautista nos relata estos temas de una manera clara, actual y rigurosa, apoyándose con unas buenas ilustraciones, anécdotas, y una gran cantidad de datos. De este modo nos introduce de una forma amena y realista en el apasionante mundo de los viajes espaciales.