

Quién es quién

Claudio Ptolomeo (presumiblemente; 85 d.C. Tebaida - 165 d.C. Canope; Egipto)

Astrónomo, geógrafo y matemático greco-egipcio. El más influyente de su tiempo; sus teorías prevalecieron durante más de catorce siglos.

Muy poco y difuso es lo que se conoce de su vida. Desarrolló sus observaciones en el templo de Serapis (127-141 d. C.). Además del acceso a las bibliotecas propio de la Alejandría de la época, en su formación destacan los maestros Teón de Esmirna y Sirus; y su posicionamiento positivista, al definirse como empirista en contraposición a la cosmovisión de Platón y Aristóteles.

Su obra principal es la “*Sintaxis matemática*” (140 d.C.), trece volúmenes identificados por el término griego “*megisté*”, que primero fue traducida al árabe por el califa “*al-Mamun*” en el año 827 como “*al-Magisti*” de donde procede el título de “*Almagesto*”, adoptado por Occidente desde la primera traducción al latín (Gerardo de Cremona; Toledo 1175).

La idea fundamental es el sistema geocéntrico como base de la mecánica celeste, perdurando su influencia en la astronomía islámica y occidental hasta la teoría heliocéntrica de Copérnico, ampliada posteriormente por Galileo y Kepler.

Consiste en un sistema en el que la Tierra se halla inmóvil en el centro del Universo, mientras que en torno a ella giran en orden creciente de distancia, la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter y Saturno, existiendo una octava esfera con las estrellas fijas.

Además, combinando los modelos excéntrico y epicíclico (propio de Apolonio de Pérgamo) aborda geoméricamente la retrogradación de los planetas y la distinta duración de las revoluciones siderales, asumiendo que la Tierra ocupa una posición ligeramente excéntrica respecto de las circunferencias sobre las que se mueven los demás cuerpos celestes, llamados círculos deferentes. Asimismo, que sólo el Sol recorre su deferente con movimiento uniforme, mientras que la Luna y los planetas, se desplazan sobre otro círculo (epiciclo).

Otras aportaciones significativas que contiene el *Almagesto* son; en base a los equinoccios y solsticios, la duración del año tropical y de las estaciones; según los movimientos del Sol y la Luna; la predicción de eclipses y; desde los trabajos de Hiparco de Nicea, concluye que las estrellas están fijas unas con respecto de otras. Catalogó mil veintidós estrellas con cuarenta y ocho constelaciones, tomando como referencia para las coordenadas el año 138 a.C.

Con carácter simplificador escribe una versión popular, su “*Hipótesis Planetaria*”.

En el ámbito de la **geografía**, “*Geografía*”, ocho volúmenes que parten de la

obra elaborada por Marino de Tiro. Recopila técnicas matemáticas para el trazado de mapas precisos mediante distintos sistemas de proyección, y recoge una extensa colección de coordenadas geográficas (latitud y longitud), cartografiando el mundo conocido. Considera la subestimación de la circunferencia de la Tierra hecha por Posidonio de Apamea, por lo que exagera la extensión del continente euroasiático en dirección este-oeste, razón que alentó a Colón a emprender su viaje.

En el campo de la **astrología**, “*Tetrabiblos*”, donde vincula astronomía y astro-

trología, creando los horóscopos.

Otras aplicaciones de las matemáticas se recogen en “*Óptica*”, cinco libros que versan sobre la teoría de los espejos y el estudio del color, la reflexión y la refracción de la luz, “*Analemma*”, traslado de sus trabajos trigonométricos a la construcción de astrolabios y relojes de sol, “*Planisphaerium*”, donde establece la proyección estereográfica de la esfera celeste sobre un plano y “*Harmonica*”, tratado que expresa que las leyes matemáticas subyacen tanto en los sistemas musicales como en los cuerpos celestes.

Un científico que, a pesar de ser principalmente conocido por formular una teoría errónea, supo compilar el conocimiento previo aportando descubrimientos clave que sentaron las bases de la astronomía y la geografía modernas.



María García de Frutos

El peso de la actividad turística en 2010 alcanza el 10,2% del PIB de España, tres décimas más que en 2009

Según las estimaciones de la Cuenta Satélite del Turismo de España en el año 2010, el peso de la actividad turística en España, medido a través de la demanda final turística, incrementa su contribución al Producto Interior Bruto (PIB) hasta el 10,2%, tres décimas más que en el año 2009. Analizando los distintos componentes de la demanda final turística, el turismo receptor contribuye al PIB de la economía en 4,5 puntos porcentuales, mientras que la aportación de los otros componentes del turismo se sitúa en los 5,7 puntos.

Atendiendo a los componentes principales de esta demanda final, el turismo receptor cambió la tendencia decreciente de los

últimos años, registrando en 2010 una variación interanual del 5,5%, frente al -11,1% de 2009. De manera similar, el gasto asociado a los viajes al extranjero de los hogares residentes en España, registra un incremento del 9,0% frente al decrecimiento del 15,4% en 2009. Los ingresos netos turísticos, medidos a través de la balanza de pagos, alcanzaron los 27.839 millones de euros en 2010, cifra superior en 853 millones de euros a la correspondiente al 2009.

Las cifras proceden de la Cuenta Satélite del Turismo de España. Base 2008. Serie 2008-2010, publicada por el INE el 29 de diciembre de 2011. Más información en: www.ine.es

Más de un millón de personas de edades comprendidas entre los 16 y los 64 años y residentes en hogares tenía certificado de discapacidad en 2010

Un total de 1.171.900 personas de edades comprendidas entre los 16 y los 64 años tenía certificado de discapacidad en 2010, con un incremento del 8,3% respecto al año 2009. Esta cifra representaba el 3,8% de la población total en edad laboral, frente al 3,5% del año anterior.

En términos globales, y desde el punto de vista laboral, el aspecto más significativo para el colectivo de las personas con discapacidad es su baja participación en el mercado de trabajo, y no tanto su nivel de desempleo. De hecho, su tasa de actividad fue del 36,2% en 2010, frente al 75,9% de la población sin discapacidad.

La intensidad de la discapacidad incide sobre la participación en el mercado laboral. La tasa de actividad

del colectivo de personas con grado de discapacidad inferior al 45% se situaba en torno al 55%, mientras que para las personas con discapacidad de grado mayor o igual al 75% descendía al 14,2%. La tasa de actividad de la población de personas con discapacidad aumenta a medida que se incrementa el nivel de formación. En 2010, se alcanzaba una tasa de actividad del 59,7% en personas con discapacidad con estudios superiores,

Las cifras proceden de la encuesta El Empleo de las Personas con Discapacidad. Explotación de la Encuesta de Población Activa y de la Base Estatal de Personas con Discapacidad. Años 2010 y 2009. Datos provisionales, publicada por el INE el 19 de diciembre de 2011. Más información en: www.ine.es

El número de altas con internamiento en los hospitales españoles descendió un 1,3% en 2010

En 2010 se produjeron 4.720.545 altas hospitalarias con internamiento, un 1,3% menos que en 2009. Se trata de la segunda bajada anual consecutiva de este tipo de altas. La tasa de altas por 100.000 habitantes se situó en 10.246, un 1,6% menos. Esto se debió, fundamentalmente, a la disminución de los episodios de embarazo y parto, por segundo año consecutivo, y al aumento de la cirugía ambulatoria sin pernoctación en los centros hospitalarios.

El 53,6% del total de altas correspondió a mujeres. Sin embargo, si se excluyeran las altas producidas por los episodios de embarazo, parto y puerperio, el mayor porcentaje de participación correspondería a los hombres (52,9%).

Las hospitalizaciones por enfermedades circulatorias regis-

traron el mayor número de altas (13,0 de cada 100 altas). Le siguieron los episodios de embarazo, parto y puerperio (12,3), el grupo de enfermedades del aparato digestivo (12,1), las enfermedades del aparato respiratorio (10,7) y los tumores (9,3).

La edad media de las altas hospitalarias se situó en 53 años (54,8 años en los hombres y 51,4 en las mujeres), frente a los 52,4 años del año 2009. Excluyendo las altas producidas por los episodios de embarazo, parto y puerperio, la edad media en las mujeres ascendería a 57,4 años.

Las cifras proceden de la Encuesta de Morbilidad Hospitalaria. Año 2010, publicada por el INE el 28 de diciembre de 2011. Más información en: www.ine.es

“En cualquier ciencia el conocimiento del pasado es una base que se puede trasladar al futuro”



En Economía, la realidad nos ha demostrado que estudiar el pasado no sirve para predecir el futuro, ¿ocurre lo mismo en meteorología? ¿están cambiando los patrones del clima?

En cualquier ciencia el conocimiento del pasado es una base que se puede trasladar al futuro. Esto es aplicable de manera fundamental en la meteorología. No se podrían tener modelos de

evolución del clima si no se conocieran los climas pasados, aunque también hay que tener en cuenta otros factores y en los últimos años los de tipo antropogénico, es decir, las alteraciones que el hombre ha ido introduciendo en el medio ambiente.

España es un país donde el turismo y todavía la agricultura y la pesca juegan un papel importante, ¿es eso lo que explica

el interés de los españoles por el parte del tiempo?

No solo por eso. En efecto, del turismo, la agricultura y la pesca depende la economía de muchas familias pero hay que tener en cuenta que el tiempo interesa a la sociedad porque influye de manera extraordinaria en otras muchas actividades, incluso en las más cotidianas, como pueden ser la forma de vestir o el plan para un fin de semana.

Habitualmente utilizamos expresiones como hace muchísimo calor, nunca había llovido tanto, es el invierno más frío que recuerdo... que son meramente subjetivas. Hablando con propiedad, ¿cuándo deja de considerarse un fenómeno normal para ser excepcional?

Podrá considerarse excepcional porque se superen en intensidad los valores que se registran habitualmente, como pueden ser unas lluvias torrenciales, unos vientos huracanados o porque se produzca un suceso que no es corriente, caso, por ejemplo, de un ciclón tropical.

Parece difícil que se pueda predecir el tiempo que va a hacer dentro de una semana y casi increíble que se pueda hablar de como va a cambiar el clima en décadas. ¿Cómo se hace eso? ¿Se utilizan estadísticas?

Se utilizan métodos distintos para predecir el tiempo y para predecir el clima. Para lo primero se consideran

“ **Para predecir el tiempo se consideran las ecuaciones generales de los fluidos ya que la atmósfera se considera como tal** ”

las ecuaciones generales de los fluidos ya que la atmósfera se considera como tal. A partir de las condiciones iniciales u observadas que se incluyen en las ecuaciones mencionadas se llega al resultado final del estado de la atmósfera en un momento determinado. Los modelos climáticos son diferentes; se basan en condiciones climáticas pasadas e introduciendo los supuestos escenarios que se producirán como consecuencia de las variaciones de la composición atmosférica, del comportamiento de los océanos y de otros factores, establecer cuál va a ser la climato-

logía futura. Para esto se necesitan unas series climatológicas suficientemente largas.

Acabamos las entrevistas pidiendo un deseo para España en los próximos años. ¿Cuál es el suyo?

En lo personal que todo el mundo tenga empleo. En el meteorológico que se avance cada día más en el conocimiento de la atmósfera en beneficio de todos aquellos factores que dependen de ella.

DC



José Antonio Maldonado Zapata
DIRECTOR DE LA PÁGINA WEB
“WWW.ELTIEMPO.ES”

Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad de Sevilla. En 1970 ingresó, por oposición, en el Cuerpo Facultativo de Meteorólogos, perteneciente, por aquel entonces, al Ministerio del Aire y actualmente denominado Cuerpo Superior de Meteorólogos del Estado.

En 1986 pasó a desarrollar su trabajo en Televisión Española como de Jefe del Área de Meteorología, puesto que ha estado desempeñando hasta el 30 de septiembre de 2008. En él se estuvo encargando de la dirección de lo relacionado con esta materia tanto en el programa “El Tiempo” como en los distintos telediarios, de la presentación de distintos espacios del tiempo y de la formación de los periodistas que fueron integrándose al departamento, así como de las relaciones y negociación de los contratos con el INM (Instituto Nacional de Meteorología), ahora AEMET (Agencia Estatal de Meteorología).

Fue colaborador diario del periódico ABC durante veintidós años y durante diez del periódico de economía “CINCO DÍAS”.

Intervino como meteorólogo asesor y presentador de “El Tiempo” en la Expo TVE de Sevilla (1992), en las Olimpiadas de Barcelona (1992) y en los Campeonatos del Mundo de Esquí Alpino en Sierra Nevada (1996).

Ha recibido numerosos premios, entre ellos, el “TP de Oro” en 1998, en 2002 el “Micrófono de Plata” y en 2008 la “Antena de Oro” de la Asociación de Profesionales de Radio y Televisión, en 2006 el “Trofeo Cristal de Nieve” y el “Trofeo Importants de la Neu. Personalitat Internacional” y en 2007, por parte de la EMS (European Meteorological Society), el premio “Mejor Presentador Europeo del Tiempo 2006”. Obtuvo el título de piloto civil en el Aeroclub de Sevilla y de vuelo sin motor en la Escuela de Ocaña. Está en posesión de la “Cruz al Mérito Aeronáutico”.

Es diplomado por el CESEDEN (Centro de Estudios Superior de la Defensa Nacional) y está en posesión del “Máster en Defensa Nacional” otorgado por la Universidad Rey Juan Carlos (Madrid).

Ha sido Presidente de la Asociación Meteorológica Española hasta abril de 2011.

Actualmente dirige la página web www.eltiempo.es, es colaborador de temas meteorológicos para la cadena COPE y es miembro del Consejo Rector de la Agencia Estatal de Meteorología.

Meteorología y climatología.

Aspectos generales

Felipe Fernández García

Catedrático de Geografía Física. Dto. de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid

Mucho antes de que empezara a tomar forma la ciencia tal como hoy la conocemos, los hombres observaron el cielo, notaron las características de las estaciones y procuraron organizar sus actividades en función del tiempo cambiante. Sin duda muchos observadores sagaces llegaron a alcanzar cierto conocimiento de sucesiones de tiempo características y a formular reglas que, en ocasiones, les fueron útiles. Sin embargo, este tipo de conocimiento estaba gravemente menoscabado por supersticiones y fantasías (Petterssen, cit. en Felipe Fernández, 1996).

Introducción

El clima se define a partir de las características que una serie de variables físicas como la temperatura, la humedad, la presión o el viento presentan sobre un lugar determinado.

De todos los componentes físicos del medio natural, el clima es el que ejerce una acción más directa sobre los ecosistemas y el hombre: los grandes vacíos demográficos, como los desiertos y las áreas polares, están condicionados por el exceso de frío o calor y actividades esenciales, como la producción de alimentos, dependen de las condiciones climáticas. Es, además, el componente más difícil de controlar por el hombre y ante las adversidades climáticas, la única acción posible es la prevención y adaptación para evitar los efectos negativos del mismo. Los temas estudiados por la climatología están íntimamente entremezclados con los hechos que se producen en la vida de todos los días y, a pesar de que en la sociedad industrial la dependencia del clima es menor que en una sociedad agrícola, su influencia en el modo de vivir y en las costumbres actuales es probablemente tan grande como entonces.

Meteorología y climatología

El clima es el resultado del funcionamiento de un sistema dinámico y abierto, alimentado por una energía procedente del sol y constituido por cinco elementos relacionados e interdependientes, como son: la atmósfera, los océanos, la criosfera o superficie cubierta por los hielos, la superficie terrestre y la biosfera o conjunto de seres vivos entre los que se incluye el hombre. El conocimiento y comprensión del clima exige tener muy claras, cuatro ideas fundamentales: la diferenciación entre tiempo y clima, los factores condicionantes, los elementos y la escala.

Tiempo y clima:

- *El tiempo* es la situación meteorológica concreta que se observa sobre un lugar en un momento determinado: frío o cálido, lluvioso o soleado, son adjetivos normalmente utilizados para definir el tiempo. Varía con bastante frecuencia de tal modo que un día puede ser muy distinto al del precedente, incluso a lo largo del día el tiempo puede variar.

PRINCIPALES ÁREAS INFLUENCIADAS POR EL CLIMA

Áreas	Vegetación y Cultivos	Relieve y suelos	Contaminación	Hombre
Aspecto	• producción y distribución de especies	• génesis y evolución	• dispersión y concentración	• confortabilidad
Variables climáticas más influyentes	• lluvia • temperatura • humedad	• lluvia • temperatura	• viento	• temperatura • viento • humedad
Mecanismos	• regímenes • disponibilidades	• regímenes • intensidad	• velocidad • dirección • turbulencia	• valores medios y extremos
Método de estudio	• balances hídricos • índices de productividad	• índices de erosión • ciclos hielo • deshielo	• modelos de difusión	• índices • diagramas

Fuente: Felipe Fernández, 1995.

• *El clima* es un estado medio que se define por unos valores estadísticos deducidos de series largas. Treinta años es el periodo que la Organización Mundial de Meteorología (OMM) toma como referencia para definir los climas y a este intervalo temporal se le denomina “periodo internacional”. El primero comenzó en 1901 y finalizó en 1930, el segundo se extiende desde 1931 a 1960, el tercero se extiende desde 1961 a 1990 y, actualmente, estamos en un cuarto que comenzó en 1991 y finalizará en 2020.

A diferencia del tiempo, el clima sigue unos ritmos estacionales que se suceden con bastante regularidad y es el clima el que explica algunos de los rasgos geográficos más característicos de una zona como los paisajes, las actividades agrarias o el tipo de vivienda tradicional.

Factores del clima: se agrupa bajo esta denominación al conjunto de rasgos o características geofísicas y geográficas de las que dependen los mecanismos fundamentales del clima de una zona concreta. Son de dos tipos: *cósmicos* o *astronómicos* y *geográficos*.

- Los primeros, explican y condicionan la distribución espacial y las variaciones temporales de la energía procedente del sol. *Klima* significa inclinación y hace referencia al desigual calentamiento, causante de las grandes zonas climáticas, que conforman el armazón fundamental de los climas terrestres: zonas frías o polares, templadas o extratropicales y cálidas o intertropicales. La principal característica de estos factores astronómicos es que varían muy poco en el tiempo, con oscilaciones que van desde los 10.000 a más de un millón de años y a ellas se asocian los periodos glaciares e interglaciares que caracterizan los paleoclimas de la tierra.
- Los *factores geográficos*: son todos los elementos de la superficie terrestre que inciden sobre las diferentes variables climáticas: *la altitud*, influye sobre las temperaturas y las precipitaciones; *la distribución de tierras y mares*, condiciona las oscilaciones térmicas a lo largo del año dando lugar a los conceptos de oceanidad y continentalidad; *la orientación de las alineaciones montañosas* provoca disimetrías térmicas entre las laderas de solana y umbría y disimetrías pluviométricas entre las laderas de barlovento y sotavento; *la naturaleza del roquedo y la cubierta vegetal*, por último, modifican la temperatura y la humedad del aire a pequeña escala.

Los tres primeros varían muy poco en el tiempo, pero las características del suelo y la cubierta vegetal pueden variar muy rápidamente, casi siempre, como consecuencia de la acción antrópica.

“ El conocimiento y comprensión del clima exige tener muy claras, cuatro ideas fundamentales: la diferenciación entre tiempo y clima, los factores condicionantes, los elementos y la escala ”

Elementos del clima: son los componentes o variables en los que suele dividirse el clima, para su estudio: presión, viento, radiación, temperatura, humedad y precipitación son los más importantes. La principal característica es su gran variabilidad temporal y espacial.

A escala temporal, las temperaturas presentan un ciclo a lo largo de 24 horas; los regímenes térmicos y pluviométricos indican el ritmo mensual de las precipitaciones y temperaturas y la sucesión de años secos o lluviosos, fríos o cálidos, representan la variabilidad interanual de los elementos del clima. Cuando los cambios se producen a largo plazo se habla de *tendencia*, que puede ser indicativo de un cambio en las condiciones climáticas y que, generalmente, está provocado por modificaciones en alguno de los componentes del sistema climático. El mejor ejemplo es el actual calentamiento provocado por el forzamiento del efecto de invernadero, debido a las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

Espacialmente, los elementos del clima varían considerablemente de unos lugares a otros debido a la acción de los factores geográficos y cuya consecuencia es la gran variedad de tipos de climas que se observan en la superficie terrestre.

LOS CLIMAS DE LA TIERRA, SEGÚN ESCALAS

Escala	Factores dominantes	Elementos representativos	Tipos de clima	Rasgos fundamentales
Planetaria	Astronómicos	Temperatura	Intertropicales Templados Fríos	Sin invierno Invierno/verano Sin verano
Regional o continental	Astronómicos y geográficos	Temperaturas y precipitaciones	Ecuatorial, tropical, monzónico Oceánico, continental, Mediterráneo	Total pluviométrico Regímenes pluviométricos y térmicos diferenciados
Local	Geográficos	Amplitud térmica	Continental Oceánico	Amplitud térmica Total y régimen pluviométrico

Fuente: Felipe Fernández, 1995.

Meteorología y climatología son las dos ramas científicas esenciales en el estudio del clima: la *Física de la Atmósfera o Meteorología* estudia las leyes que gobiernan el funcionamiento del Sistema Climático y la *Climatología* estudia la localización y distribución espacial de las variables del clima y su relación con la vegetación, los cultivos o el hombre: *fitoclimatología*, *agroclimatología* y *bioclimatología*, son las tres principales ramas.

Ambas están íntimamente correlacionadas y sus límites son difíciles de establecer, aunque de forma simplificada podemos decir que la predicción del tiempo es el objeto fundamental de la meteorología: el meteorólogo es el hombre del tiempo; el climatólogo, por su parte, define y caracteriza los diferentes tipos de climas que se observan en la superficie terrestre.

“ **La Meteorología, estudia las leyes que gobiernan el funcionamiento del Sistema Climático y la Climatología, estudia la localización y distribución espacial de las variables del clima y su relación con la vegetación, los cultivos o el hombre** ”

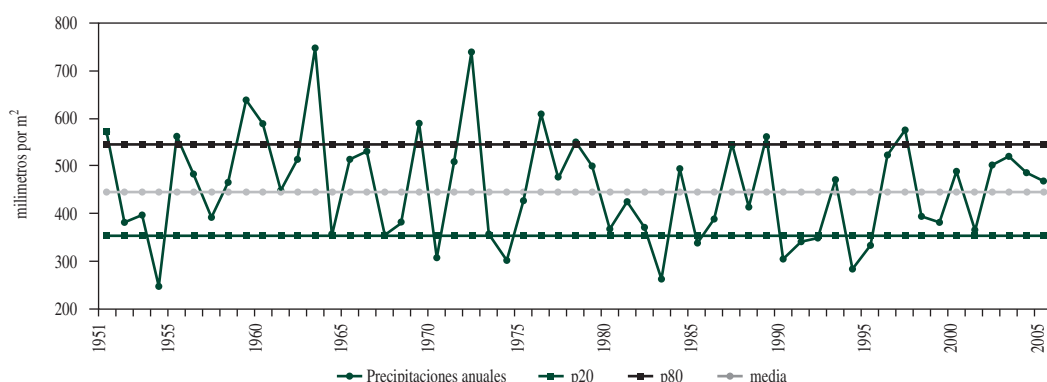
Las fuentes de información climática

La única fuente de información directa con la que cuenta la climatología es la observación de los diferentes parámetros meteorológicos. La cantidad y calidad de los datos disponibles condiciona la representatividad de los estudios climáticos. Recientemente se han incorporado otra serie de fuentes, conocidas como *proxi data*, formadas por documentos que dan una información indirecta de las condiciones climáticas de una zona y una época en la que se carece de observaciones, o la dendrocronología.

La principal fuente de información procede de observatorios situados sobre la superficie terrestre y la obtenida por sensores remotos instalados sobre satélites o aviones.

- *Observaciones procedentes de la red superficial:* la principal fuente de información climática son las redes meteorológicas, formadas por un número indeterminado de estaciones u observatorios distribuidos en los diferentes sectores del territorio. Generalmente son series temporales largas, que admite un análisis estadístico más o menos complejo, suficiente para definir los rasgos esenciales del clima, tanto los denominados valores normales, como la variabilidad y la frecuencia de casos extremos. Se utilizan instrumentos convencionales de características técnicas similares y situación parecida a fin de poder comparar las mediciones entre puntos distantes. Recientemente se han introducido importantes modificaciones como la automatización de la red y el uso de los radares lo que ha contribuido a mejorar sustancialmente la información.
- *Las observaciones procedentes de sensores remotos,* instalados sobre satélites o aviones, se caracterizan por el carácter global de la información, referida a una superficie, aunque la información corresponde a un momento concreto, el del paso del avión o satélite. Se emplean instrumentos de tecnología muy avanzada y la información exige un complejo tratamiento antes de ser utilizada.

LA VARIABILIDAD ES EL RASGO FUNDAMENTAL DE LAS PRECIPITACIONES. MADRID PRECIPITACIONES ANUALES DEL PERIODO 1971-2000. MEDIA Y PERCENTILES DE LA SERIE



Fuente: Felipe Fernández. Elaboración propia con datos de la AEMET.

“ **El cambio climático es hoy uno de los temas científicos que más impacto tiene sobre el conjunto de la sociedad y ha convertido al clima en el gran protagonista de los retos y problemas ambientales de la actualidad** ”



Los informes del IPCC (*Intergovernmental Panel for Climate Change*) se han convertido en el referente de la política ambiental actual, con implicaciones en todos los sectores económicos, sociales y ambientales del mundo actual (<http://www.ipcc.ch>). Los tres grupos de trabajo que lo forman, tienen un marcado carácter interdisciplinar y sus miembros son los encargados de recopilar, depurar y publicar los principales avances científicos en tres aspectos fundamentales como son: primero, el estudio del sistema climático, su variabilidad y tendencias; segundo, los impactos del clima sobre la sociedad y los ecosistemas y, tercero, las medidas de adaptación y mitigación que se deberían tomar para minimizar los efectos negativos.

Clima y meteorología en la actualidad

El cambio climático es hoy uno de los temas científicos que más impacto tiene sobre el conjunto de la sociedad y ha convertido al clima en el gran protagonista de los retos y problemas ambientales de la actualidad: unas veces como indicador de los daños, que un modelo de desarrollo basado en el uso indiscriminado de los recursos naturales puede provocar sobre el planeta; otros como exponente de las consecuencias negativas que tales cambios pueden tener sobre la sociedad. El calentamiento global, resultado del aumento de los gases de efecto de invernadero vertidos a la atmósfera por el hombre, es un buen ejemplo de lo primero; los desastres asociados a eventos climáticos extraordinarios, como huracanes, tornados, inundaciones, olas de frío y calor, por su parte, son los mejores ejemplos de las consecuencias que un cambio en el sistema natural puede tener sobre la sociedad.

En el campo científico se han producido importantes avances en el conocimiento del clima, debido a la posibilidad de integrar el enorme cúmulo de variables que conforman el sistema climático y realizar complejos cálculos, gracias al avance en la ciencia y técnica de la computación. Los modelos climáticos son los grandes consumidores de este producto y con ello se ha avanzado de forma considerable en el conocimiento de los mecanismos, las interrelaciones y las respuestas que cualquier cambio en una variable produce en el resto: las retroalimentaciones y las interconexiones son la clave de la teoría del cambio climático. Gracias a ello, las predicciones a corto plazo son cada vez más precisas y se ha producido un gran avance en las previsiones a medio y largo plazo.

Para saber más...

- Capel Molina, J.J. (1981): **Los climas de España**. Barcelona, Oikos-Tau, 429 pp.
- Cuadrat, J. M y Pita, M. F (2004). **Climatología**. Cátedra, 496 pp.
- Donn, W.L. (1978): **Meteorología**. Barcelona, Reverté, 610 pp.
- Fernández García, F. (1995): **Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación**. Madrid, Síntesis, Col. Espacios y Sociedades. 285 pp.
- Fernández García, F. (2006) **La diversidad climática de España. Explicación, comprensión y enseñanza**, en *El espacio geográfico español y su diversidad*. Ministerio de Educación y Ciencia, Instituto Superior de Formación del Profesorado, pp. 9-37
- Gil Olcina, A y Olcina Cantos, J (1997): **Climatología General**. Barcelona, Ariel, 577 pp.
- Martín Vide, J y Olcina Cantos, J (2001): **Climas y tiempos de España**. Madrid, Alianza, 264 pp.

Sobre los modelos de predicción meteorológica y climática

Manuel de Castro

Instituto de Ciencias Ambientales. Universidad de Castilla-La Mancha

Introducción

El tiempo meteorológico y el clima son temas que suscitan tanta atención pública porque las condiciones atmosféricas influyen en una amplia variedad de actividades socio-económicas y afectan a la salud y el bienestar de las personas. Sin embargo, resulta curioso comprobar lo poco que se conoce sobre lo que hay detrás de las previsiones del tiempo y el clima. Eso, sin duda, facilita la proliferación de ideas erróneas que pueden provocar desconfianza o inducir falsas expectativas.

La primera sorpresa que recibe la mayoría de los que quieren informarse sobre estas técnicas es que *la previsión meteorológica o climática no se basa en la estadística*. Que no se precisa conocer lo que ocurrió en tiempos pasados para pronosticar el futuro. Que, como los procesos atmosféricos obedecen a leyes y principios de la Física, las previsiones se realizan resolviendo ecuaciones a partir del mejor conocimiento del estado del sistema al inicio de la predicción. Es decir, que se trata de modelos numéricos, no estadísticos. Que los sucesos del pasado solo se tienen en cuenta para examinar la calidad de las previsiones efectuadas entonces. En definitiva, que *la estadística se usa para evaluar los pronósticos, no para realizarlos*.



A continuación se presenta una breve semblanza de los fundamentos de los modelos que se emplean para las predicciones meteorológicas y las proyecciones de cambio climático, remitiendo al lector que desee una información más completa a textos especializados.

Predicciones meteorológicas

La observación de cualquier secuencia de imágenes de satélite permite comprobar que el tiempo local está determinado por movimientos atmosféricos a escala planetaria. Por tanto, el pronóstico meteorológico debe basarse en determinar objetivamente la evolución futura de los complejos procesos atmosféricos a escala global.

Las predicciones meteorológicas se efectúan utilizando modelos globales de la atmósfera, con los que se simula la evolución temporal de las variables fundamentales que describen el estado de este sistema dinámico a partir de unas condiciones iniciales conocidas. Para ello hay que resolver un conjunto de ecuaciones que expresan leyes y principios de la Dinámica y la Termodinámica. Se trata de un complejo sistema de ecuaciones diferenciales cuyas incógnitas (variables a pronosticar) son el viento, la temperatura, la presión y la humedad del aire en cualquier punto de la atmósfera. Para su resolución tan sólo se necesitaría conocer el valor de dichas variables en toda la atmósfera en un instante inicial y el resultado obtenido sería su evolución futura. Pero existe un conjunto de limitaciones que hay que sortear:

1. La resolución de este complejísimo sistema de ecuaciones solo puede conseguirse recurriendo a esquemas numéricos aproximados. Para ello se divide el espacio ocupado por toda la atmósfera en una malla de celdillas tridimensionales con un tamaño determinado (20-50 km horizontal; 10-200 m vertical). Al iniciar la simulación, hay que asignar el valor de las variables atmosféricas en cada una de esas millones de celdillas usando los datos registrados simultáneamente en ese momento en la red mundial de observaciones atmosféricas. A partir de dicho instante inicial, se resuelven las ecuaciones en cada nodo para determinar cuánto va cambiando allí el valor de cada variable en intervalos regulares (pocos minutos). Y así se continúa iterativamente hasta completar el plazo de la predicción (generalmente 7-10 días). Una condición que imponen los

esquemas numéricos es que cuanto menor sea el tamaño de las celdillas, más cortos han de ser los intervalos de tiempo, necesiéndose entonces un mayor número de iteraciones para completar la simulación; es decir, mucho más cálculo.

2. Al dividir la atmósfera en celdillas, los procesos físicos de tamaño comparable o menor no pueden ser resueltos por los esquemas numéricos. Pero es preciso considerar esos procesos pues muchos de ellos afectan decisivamente a la evolución del estado de la atmósfera, como la formación de nubes y precipitación, el calentamiento radiativo del aire y la superficie o los intercambios turbulentos de calor entre las diversas capas atmosféricas y el suelo, entre otros. Para tenerlos en cuenta, se ha de resolver paralelamente un enorme conjunto de ecuaciones de carácter semiempírico (parametrizaciones físicas) y deducir así el efecto de cada uno de ellos sobre las variables de pronóstico.
3. La atmósfera es un sistema cuya evolución depende muy críticamente de las condiciones iniciales (sistema caótico). Es decir, cualquier imperfección al asignar los valores iniciales de las variables en cualquier punto de la atmósfera se propaga en los cálculos posteriores, provocando que la predicción vaya divergiendo de la evolución meteorológica real a medida que aumenta el plazo del pronóstico, por lo que deja de tener utilidad más allá de unos pocos días.

Por tanto, la predicción meteorológica resulta ser un ejercicio para el que se precisan los más potentes superordenadores con los que resolver *aproximadamente* un complejo sistema de ecuaciones de leyes físicas exactas, en cuya solución se amplifican progresivamente las *imperfecciones* al asignar las condiciones iniciales. Esto llevaría a formular una pregunta clave: ¿con cuánta antelación se puede realizar una previsión fiable del tiempo?, aunque su respuesta tendría poco interés práctico, pues ese plazo depende del umbral de error que se establezca para considerar que una predicción es fiable o no, y también es función de la variable atmosférica que quiera predecirse. Por eso, quizá la pregunta más pertinente sería: ¿se puede determinar la *fiablez* de las previsiones meteorológicas en el momento de realizarlas?

La Historia de la Ciencia atribuye al meteorólogo Edward Lorenz la autoría de la revolución científica que en la década de los 70 el matemático James Yorke bautizó con el nombre de “caos”. Pero la acepción no científica de “ausencia de orden” que tiene ese término puede llevar a confusión, pues los sistemas caóticos, como la atmósfera, están regidos por ecuaciones precisas. Por ello, resulta más apropiado hablar de “sistemas dinámicos complejos que presentan una gran sensibilidad a las condiciones iniciales”, aunque resulte algo más largo. También se emplea el término “caos determinístico”, porque el grado de sensibilidad a las condiciones iniciales de un sistema dinámico complejo no siempre es igual, pero se puede predecir. Los estados ini-



ciales más “estables” son menos sensibles a los errores iniciales y, por tanto, su evolución podría simularse con *mayor fiablez*, es decir resultaría *más predecible*.

Para dictaminar el grado de *predecibilidad* con que es posible pronosticar la evolución de un estado atmosférico hay que realizar un conjunto de simulaciones con un modelo meteorológico global, cada una de las cuales se ejecuta partiendo de valores iniciales *ligeramente* diferentes. De todo este conjunto de predicciones, serán más probables aquellas que más se asemejen entre sí y menos probables las que más difieran. Esta es la base de la moderna predicción meteorológica por conjuntos (en inglés, *ensemble forecasting*). De forma que, actualmente, las predicciones meteorológicas se ofrecen en términos de probabilidad de ocurrencia de un evento determinado o de probabilidad de que el valor previsto de una variable atmosférica cualquiera en un determinado lugar esté comprendido en un cierto intervalo. Así, las predicciones se expresan mediante sentencias del tipo de “la temperatura máxima en Madrid dentro de 3 días estará comprendida entre 15,3 y 17,1 grados con una probabilidad del 90%”, o bien “la probabilidad de precipitación pasado mañana por la tarde en Munich es del 60%”.

Proyecciones de cambio climático

Los modelos que se utilizan para realizar proyecciones del cambio climático que podría causar una progresiva acumulación de gases de efecto invernadero (GEIs) en la atmósfera son mucho más complejos que los aplicados a predicciones meteorológicas. Esto se debe a que han de simular multitud de procesos físicos que evolucionan mucho más lentamente que los que tienen lugar en la atmósfera, como son la mayoría de los que ocurren en los otros cuatro componentes del llamado *sistema climático*: océanos, criosfera (hielo y nieve), geosfera (suelos) y biosfera (vegetación). Por esta razón se ha convenido en denominarlos Modelos del Sistema Tierra (en inglés *Earth System Models*). Además de la dinámica atmosférica, estos modelos han de resolver también las ecuaciones de los

principios que rigen la dinámica oceánica y parametrizar los enormes intercambios de materia, calor y momento, así como las incesantes interacciones entre los componentes del sistema climático a causa de multitud de procesos físicos, químicos y biológicos. En suma, son modelos extremadamente complejos que precisan una gigantesca potencia computacional.

Uno de los procedimientos para evaluar la calidad de estos modelos consiste en simular con ellos la evolución de las condiciones climáticas durante un largo periodo temporal (generalmente los últimos 150 años), teniendo en cuenta la variación observada de la concentración atmosférica de GEIs y aerosoles, y comparar sus resultados con los registros climáticos disponibles en dicho periodo. Una vez comprobado que son capaces de reproducir aceptablemente la evolución del clima observado, se continúa la simulación hasta el final del presente siglo (o más allá), considerando distintas estimaciones plausibles sobre cómo podrían evolucionar las emisiones de GEIs y aerosoles por las actividades humanas en las próximas décadas.

Los escenarios de cambio climático se elaboran a fin de proporcionar la información necesaria para analizar los posibles impactos y evaluar estrategias de mitigación y adaptación. Deben ir siempre acompañados por una valoración objetiva de su *grado de incertidumbre* que, como antes se ha señalado, se puede deducir disponiendo de un conjunto de simulaciones realizadas con varios modelos. Así, en el último Informe de Evaluación del IPCC (*Panel Intergubernamental para el Cambio Climático*) se consideraron los resultados de un conjunto de más de 20 modelos climáticos globales, a partir de los cuales se asignan índices de confianza a las proyecciones de cambio de las principales variables climáticas en las diversas regiones del planeta.

Por último, conviene puntualizar que el clima de cualquier región se determina a partir de promedios de las condiciones meteorológicas diarias en periodos de decenas de años, y eso es exclusivamente lo que se pretende simular con los modelos de cambio climático. Dicho de otra forma, su objetivo no es reproducir fielmente la secuencia diaria ni mensual de las condiciones meteorológicas a lo largo de decenas de años o siglos. Ya se ha señalado que es imposible predecir la evolución real de situaciones meteorológicas más allá de un plazo de pocos días, y que esto se debe esencialmente a que la atmósfera es un sistema caótico. Con los modelos climáticos, al igual que con los de predicción meteorológica, se simula la secuencia temporal de condiciones atmosféricas en cualquier zona del globo terrestre, aunque a lo largo de decenas o centenares de años en este caso. No cabe esperar que dicha secuencia coincida día a día, mes a mes o año a año con la real, aunque no haya razones físicas que imposibiliten su ocurrencia. Lo que se pretende, y así se comprueba, es que las distribuciones estadísticas (promedios y variabilidad) de dicha secuencia de valores se correspondan aceptablemente con las del clima real observado en el periodo simulado. En ese caso, es razonable asumir que tales modelos serían también capaces de simular el clima futuro considerando diversas evoluciones posibles del

contenido de GEIs y aerosoles en la atmósfera. Y, finalmente, comparando las estadísticas de los valores simulados en un periodo de referencia del pasado reciente (*clima actual*) con las de un periodo futuro de igual extensión, se deducirían los escenarios de cambio climático que cabría esperar en dicha época. Es decir, estas predicciones son del tipo “*en el último tercio de este siglo las precipitaciones en primavera disminuirán entre un 20% y un 40% respecto a los valores climatológicos actuales en el sur de España con un 90% de probabilidad, si en las próximas décadas las emisiones globales de GEIs continuaran creciendo como hasta ahora*”. Por ello los resultados con este tipo de modelos se denominan “*proyecciones*” de cambio climático, pues dependen de cómo pudieran evolucionar tales emisiones antropogénicas.

“ **Los escenarios de cambio climático se elaboran a fin de proporcionar la información necesaria para analizar los posibles impactos y evaluar estrategias de mitigación y adaptación** ”

Conclusión

La Física de la Atmósfera y del Clima se incluye entre las ramas de las ciencias experimentales que más avances ha conseguido en los últimos años. La disponibilidad de medios de observación de la Tierra cada vez más sofisticados, junto con el desarrollo de modelos más perfeccionados que el impresionante aumento de la potencia de computación permite ejecutar, han mejorado de forma muy ostensible la calidad y fiabilidad de las predicciones meteorológicas a corto y medio plazo. Por otra parte, se dispone también de modelos mucho más complejos capaces de simular aceptablemente la evolución del llamado *cambio climático antropogénico* a escala decadal y secular. Aunque existen incertidumbres, y en mayor o menor medida siempre las habrá, están ofreciendo una información valiosa para el diseño de estrategias de mitigación y adaptación ante esa formidable e inédita amenaza.

Procesos de estadística aplicada en AEMET

José A. Guijarro

Agencia Estatal de Meteorología, Delegación Territorial en Illes Balears

La Agencia Estatal de Meteorología (<http://www.aemet.es>) tiene como misión la prestación de servicios meteorológicos y climatológicos a la sociedad. La faceta más conocida por el público es la de la predicción del tiempo, que se apoya fundamentalmente en la simulación del comportamiento de la atmósfera mediante potentes ordenadores que puedan procesar las ingentes cantidades de datos necesarias para ello, que proceden de una gran variedad de fuentes (observaciones en la superficie terrestre con un cada vez más amplio abanico de instrumentos, perfiles verticales de la atmósfera medidos con radiosondas, y observaciones satelitales en diversos canales del espectro electromagnético).

Aunque la mayor parte de este proceso se dedica a calcular los sucesivos estados atmosféricos en cortos intervalos de tiempo y para extensas áreas o el planeta entero, la estadística ya juega aquí cierto papel. Por un lado, las modernas técnicas de predicción no realizan una única simulación de la evolución de la atmósfera, porque su estado inicial nunca puede reproducirse exactamente (por falta de observaciones o por errores en las mismas). Es por ello por lo que se realizan decenas de simulaciones en paralelo, alterando ligeramente ese estado inicial (“predicción por conjuntos”), con lo que se consigue una colección de predicciones posibles y puede evaluarse cuáles de ellas tienen una mayor probabilidad de cumplirse.

Pero por otro lado los estados atmosféricos futuros, previstos por las simulaciones, deben traducirse a valores de temperatura, precipitación y otras variables de interés para el público en puntos concretos como pueblos y ciudades, playas y otros lugares de interés turístico, etc. Para ello se usan métodos estadísticos como modelos de regresión múltiple o de selección de situaciones análogas extraídas de los archivos históricos.

Sin embargo, dado que el clima es el conjunto de estados atmosféricos propios de un lugar, es en el ámbito de la climatología donde la estadística juega un papel fundamental. En efecto, ya no estamos tratando del tiempo que hace hoy o del que hará en alguno de los próximos días, sino del que hizo en los últimos 30 o más años. Se entiende así la necesidad de usar herramientas estadísticas para resumir los aspectos más relevantes de tal cantidad de datos.

Las observaciones meteorológicas pasan un control de calidad básico antes de su ingreso en el banco de datos, y posteriormente también se analiza su consistencia espacial por comparación con los datos de los alrededores. Una vez validados, ya pueden ser usados para obtener fichas climáticas de valores medios y extremos, así como probabilidades de superar ciertos umbrales. Otros índices implican una mayor elaboración estadística, como por ejemplo el SPI (“Standard

Precipitation Index”), ampliamente usado en el seguimiento de las sequías, que precisa para su cálculo ajustar los datos observados a distribuciones teóricas de probabilidad. Todos estos parámetros e índices pueden cartografiarse con ayuda de un Sistema de Información Geográfica y obtener mapas climatológicos de las distintas variables, de gran utilidad para sectores como el agronómico, turístico, energético, etc.

Los parámetros estadísticos básicos pueden calcularse programando los algoritmos correspondientes en herramientas de desarrollo propio, o usarse las funciones implementadas en hojas de cálculo y demás programas de uso común. Sin embargo, para profundizar en el estudio de las relaciones de los distintos elementos climáticos entre sí, su variabilidad en el tiempo y en el espacio, y su posible dependencia de otras variables externas, es preciso recurrir a algún paquete estadístico. Uno de amplia popularidad es el paquete “R”, que además de ser libre y multiplataforma se nutre de las aportaciones de los desarrollos de la comunidad de usuarios. Algunas de estas contribuciones están dirigidas a estudios de meteorología y climatología, y una de ellas se ha desarrollado en el seno de AEMET (<http://cran.r-project.org/web/packages/climatol/>), para permitir la homogeneización automática de series, corrigiéndolas de las alteraciones que hayan podido sufrir a lo largo de su historia por cambios de emplazamiento o de instrumentación, de manera que reflejen mejor la evolución del clima.

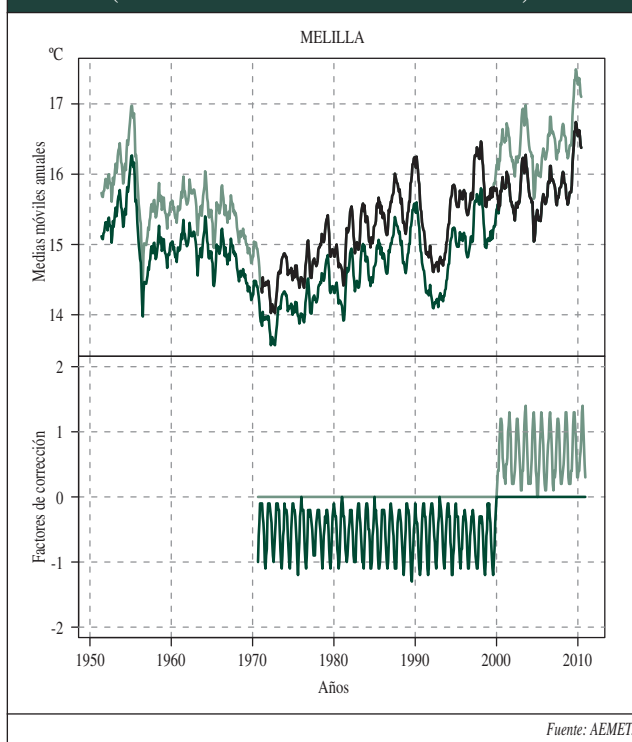
Para terminar, haremos referencia a un aspecto de la investigación climática de gran relevancia hoy en día, como es la predicción de las variaciones del clima a lo largo del presente siglo. Es de sobra conocida la preocupación existente acerca de los cambios climáticos que puede producir el continuo aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera, fruto sobre todo de la quema en pocos decenios de los combustibles fósiles que fueron fijando este gas a lo largo de millones de años. Las propiedades físicas del CO₂ hacen que retenga una parte del calor que la Tierra emitiría al

espacio en forma de radiación infrarroja de onda larga, por lo que su aumento produce el mismo efecto que si se incrementara la radiación solar que alcanza nuestro planeta, esto es, un paulatino aumento en la temperatura media. Pero este aumento no tiene por qué ser uniforme (de hecho está previsto que sea mucho mayor en las zonas polares que en las ecuatoriales), y la complejidad de todos los fenómenos involucrados hace que existan muchas incertidumbres sobre cómo puede evolucionar el clima en zonas concretas.

Para prever esta evolución se usan modelos similares a los de la predicción meteorológica, pero añadiendo el comportamiento de los océanos, la biosfera y las zonas cubiertas de hielo (criosfera). Y también hay que prever distintos escenarios respecto a la concentración prevista de CO₂, desde los optimistas que consideren que se van a adoptar medidas para paliar el cambio climático reduciendo drásticamente el uso de combustibles fósiles, hasta los más pesimistas que presuman un consumo desbocado de los mismos. Como es natural, si la previsión del tiempo deja de ser fiable al transcurrir unos cuantos días, no podemos pretender predecir el tiempo que hará un día determinado dentro de 30, 50 ó 70 años, sino que lo que tratamos de establecer es cuál será la frecuencia de los distintos tipos de tiempo en el futuro: días soleados, nubosos, con lluvia, etc., y qué valores de precipitación, temperatura, viento y demás elementos atmosféricos cabe esperar. Para ello se usan técnicas de adaptación de escala (“traducción” de mapas meteorológicos previstos a valores climatológicos en zonas concretas) similares a las mencionadas en el caso de la predicción del tiempo de los próximos días, técnicas que se aplicarán tanto para el clima futuro como para la simulación del pasado reciente, que servirá de control para validar el comportamiento de los modelos climáticos. AEMET genera y almacena este tipo de previsiones de cambio de las temperaturas y precipitaciones para cada Comunidad Autónoma, y pueden consultarse en: http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat.

Tras este breve repaso a las actividades de la Agencia Estatal de Meteorología, habrá quedado de manifiesto la importancia de las herramientas estadísticas en la mayoría de procesos que llevamos a cabo para la consecución de nuestros objetivos de prestar un servicio a la sociedad, cuya calidad esperamos mejorar día a día.

RECONSTRUCCIÓN DE LA SERIE DE TEMPERATURAS MÍNIMAS MEDIAS DE MELILLA, CORRIENDO UNA INHOMOGENEIDAD. (VALORES ORIGINALES EN NEGRO):



VALORES CLIMATOLÓGICOS NORMALES. MADRID (1971-2000) ALTITUD: 667 METROS; LATITUD: 40° 24' 43" N; LONGITUD: 3° 40' 41" O

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	6.1	9.7	2.6	37	71	6	1	0	5	6	8	148
Febrero	7.9	12.0	3.7	35	65	6	1	0	4	3	6	157
Marzo	10.7	15.7	5.6	26	54	5	0	1	2	1	7	214
Abril	12.3	17.5	7.2	47	55	7	0	1	1	0	5	231
Mayo	16.1	21.4	10.7	52	54	8	0	3	0	0	4	272
Junio	21.0	26.9	15.1	25	46	4	0	3	0	0	8	310
Julio	24.8	31.2	18.4	15	39	2	0	3	0	0	16	359
Agosto	24.4	30.7	18.2	10	41	2	0	2	0	0	14	335
Septiembre	20.5	26.0	15.0	28	50	3	0	2	0	0	9	261
Octubre	14.6	19.0	10.2	49	64	6	0	1	1	0	6	198
Noviembre	9.7	13.4	6.0	56	70	6	0	0	5	1	7	157
Diciembre	7.0	10.1	3.8	56	74	7	1	0	6	4	7	124
Año	14.6	19.4	9.7	436	57	63	4	16	24	16	97	2769

Legenda: T: Temperatura media mensual/anual (°C). TM: Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C). Tm: Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C). R: Precipitación mensual/anual media (mm). H: Humedad relativa media (%). DR: Número medio mensual/anual de días de precipitación >= 1 mm. DN: Número medio mensual/anual de días de nieve. DT: Número medio mensual/anual de días de tormenta. DF: Número medio mensual/anual de días de niebla. DH: Número medio mensual/anual de días de helada. DD: Número medio mensual/anual de días despejados. I: Número medio mensual/anual de horas de sol.

La cocina de los datos meteorológicos

Domingo F. Rasilla Álvarez

Profesor Titular de Geografía Física. Dpto. de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio. Universidad de Cantabria

Cuando la redacción de la revista Índice me pidió una colaboración, afronté cierto miedo escénico ante el reto de hacer accesible a profesionales de las Ciencias Estadísticas, con un fuerte bagaje matemático, los entresijos de una disciplina como la Climatología, en la que, amén de una fuerte componente estadística, confluyen aspectos de las denominadas Ciencias Naturales y Sociales, y sometida a intereses y polémicas que desbordan el mero conocimiento científico. Afortunadamente, las musas vinieron en mi auxilio, recordándome los respingos con los que afrontamos, con ocasión de algún fenómeno meteorológico señalado, las preguntas de los “plumillas” (particularmente los medios de comunicación regionales). Muchos compañeros convendrán conmigo que frecuentemente han sido interpelados acerca de si “¿es verdad que anteayer fue el día más...en los últimos X años?, ¿es eso normal?, ¿qué relación tiene con el cambio climático?...”. Los lectores comprenderán que estamos abocados a simplificar una respuesta que desgraciadamente, oculta al público un proceso previo de depuración y tratamiento de los datos, poco lucido y en muchos casos tedioso, pero esencial. Sirvan estas líneas para sacar a la luz todo aquello que nos gustaría contar, pero que rara vez ocurre fuera de los circuitos científicos.

Volviendo a nuestro interlocutor, la respuesta debería comenzar con el encuadre del fenómeno meteorológico en cuestión dentro de la evolución climática de la región en la que se inserta. Su excepcionalidad podría establecerse, bien por la magnitud alcanzada por una variable meteorológica que se inserta en un fenómeno bien conocido en esa región (p.e. las temperaturas durante la ola de calor de 2003), bien por ser el resultado de un proceso atmosférico ajeno a su dinámica habitual (p.e. la llegada del huracán Vince al Sur de España en 2005). Si en el primer caso no es difícil calcular su periodo de retorno a través de alguno de los conocidos procedimientos estadísticos sobre análisis

de extremos, en el segundo caso debería recurrirse a un análisis algo más complejo. En ambos casos, un requisito previo esencial es disponer de series meteorológicas extendidas en el tiempo, con una resolución temporal adecuada y de calidad.

Para obtener estas series, deberemos comenzar recopilando esa información meteorológica en forma del mayor número de series disponibles en nuestro ámbito de trabajo. Llegados a este punto, deberíamos alertar a nuestro interlocutor de que el análisis de una única serie podría conducirnos a afirmaciones erróneas, mientras que la detección de un mismo fenómeno o tendencia simultáneamente en varios observatorios



refuerza la validez de nuestros análisis. Hasta hace aproximadamente un par de décadas, la mayor parte de la información de carácter meteorológico procedía del antiguo Instituto Nacional de Meteorología (INM), hoy Agencia Estatal de Meteorología, sostenida por los presupuestos del estado. Por ley, centralizaba toda la información, tanto generada por ella como por otras instituciones (p.e. Cuencas Hidrográficas). Durante el último decenio, el acceso a dicha información estuvo limitado por una suerte de “copago”, es decir, no era gratuita. La conocida capacidad de improvisación de los investigadores españoles solventó este obstáculo recurriendo en unos casos al intercambio de datos entre colegas, o en otros a la búsqueda de fuentes alternativas internacionales, como el National Climatic Data Center (NCDC) de EE.UU., United Kingdom Meteorological Office (UKMO) de Reino Unido, etc. Afortunadamente, la política de AEMET ha cambiado en los dos últimos años, permitiendo el acceso gratuito a numerosos datos, aunque nunca se sabe... A partir de la década de los noventa han proliferado otras redes meteorológicas a cargo de organismos públicos (Comunidades Autónomas, Ayuntamientos, etc.), instituciones privadas o incluso particulares. Aunque han venido a cubrir la carencia de información en ámbitos geográficos de gran interés ambiental, por ejemplo las áreas de montaña, y ofrecen un elevado grado de accesibilidad, la falta de una política global de estandarización y calibración del equipamiento hace difícil su comparación con los datos de AEMET.

La gran mayoría de los datos meteorológicos, actualmente en soporte digital, no suelen remontarse más allá de comienzos del s. XX, a diferencia de otros países, más cuidadosos con la información estadística en general, y la meteorológica en particular. No obstante, existen datos antiguos, incluso de mediados del s. XVIII, que proceden de particulares, muchas veces profesionales liberales (p.e. médicos) movidos por una curiosidad intelectual notable. Estas series sólo son accesibles a través de una labor de recopilación bibliográfica en archivos y bibliotecas, pero su explotación es aún problemática a causa de la pobreza de las fuentes de información (coloquialmente conocidas como “metadatos”) que describen su emplazamiento, sus unidades de medida (“pies castellanos”, pulgadas, grados Reamur, etc.), instrumental, etc. Para remontarse aún más atrás en el tiempo también se recurre a fuentes de información alternativas (“paraclimáticas”), entre las que destacaremos los anillos de los árboles (“Dendroclimatología”), documentos públicos y privados, como las Rogativas Eclesiásticas, etc. (“Climatología Histórica”). Estas fuentes exigen un proceso de filtrado y depuración de información no climática muy estricto, que podría hacer pensar al profano que la información extraída es poco representativa. No obstante, esta “arqueología de datos”, objeto de numerosos proyectos de investigación en el último decenio, es esencial, puesto que, gracias a ellos podremos cuantificar el estado del Sistema Climático en un momento en el que el impacto de las actividades humanas habría sido mínimo.

Si para nuestro estudio hemos decidido limitarnos al análisis de las series meteorológicas que llamaremos “oficiales” (p.e. las procedentes de AEMET), no crea el lector que se han acabado los problemas. En primer lugar, incluso las series oficiales muestran valores “sospechosos”, resultado del proceso de medición, manipulación, formateado, transmisión y archivo de los datos, y cuya validez deberá ser contrastada. Por otro lado, dichas series no siempre son continuas, sino que presentan “lagunas”, es decir, periodos más o menos largos en los que no se hicieron mediciones, o éstas se han perdido. Las causas son múltiples, pero en su mayoría responden a los periodos de inestabilidad social o política, como la Guerra Civil española o la Segunda Guerra Mundial en Europa, o al fallecimiento de la persona que estaba a cargo de la estación. Para la detección de casos sospechosos y en su caso eliminación, al igual que para el relleno de las series originales, se han diseñado diferentes procedimientos. Éstos están basados en su comparación con observaciones meteorológicas realizadas en ámbitos próximos (aunque a medida que nos remontamos en el tiempo el radio de búsqueda se amplía lo cual forzosamente reduce su fiabilidad), o, alternativamente, en la búsqueda de información sobre sus efectos (p.e. hemerotecas). Si los valores sospechosos son considerados reales, deben ser mantenidos en las series pero tratados estadísticamente como valores extremos (“outliers”) y sometidos a las técnicas adecuadas para el tratamiento de estos fenómenos.

“ **La gran mayoría de los datos meteorológicos, actualmente en soporte digital, no suelen remontarse más allá de comienzos del s. XX** ”

El lector podrá imaginarse que llegados a este punto, la resistencia del climatólogo es digna de encomio, y en algunos casos, justificaría un rictus irónico ante el entrevistador. Otra fuente adicional de potenciales errores son los cambios sufridos por el emplazamiento de las estaciones. La mayor parte de las observaciones meteorológicas españolas comenzaron allá por mediados del s.XIX o comienzos del XX, a cargo de catedráticos de Universidad o Instituto de Ense-

ñanzas Medias, en el edificio de la propia institución, sita en el casco antiguo. En la década de los años 20-30 algunos se trasladaron a edificios creados ex profeso, en barrios conocidos como “Ciudad-Jardín”, entonces en la periferia de las ciudades. Pero el gran desarrollo urbano acaecido entre los años 50 y 70 los engulló literalmente, de tal suerte que algunos han vuelto a cambiar de emplazamiento en los últimos 20 años. Estos desplazamientos producen discontinuidades que no responden a un factor climático, pero que inadvertidas dan lugar a variopintas interpretaciones. Las series meteorológicas que no han sufrido cambios de emplazamiento están afectadas, sin embargo, por un fenómeno adicional, el crecimiento de las ciudades a su alrededor (p.e. El Retiro en Madrid). La ciudad genera un microclima característico, resultado de la alteración de los balances energéticos que tiene su mayor impacto en las temperaturas, sobre todo las mínimas nocturnas durante noches despejadas (lo que se conoce como “isla de calor urbana”) y en el viento, notablemente ralentizado. Diferencias de 6°C durante las noches invernales, y reducciones del viento de hasta 50 km/h no son desconocidas, y su persistencia en el tiempo provoca también tendencias anómalas en las series meteorológicas. Esta alteración se detecta incluso en aeropuertos, fuera de las ciudades, dado que en las últimas décadas han sido rodeados de edificaciones que también perturban la fiabilidad de algunos parámetros, como el viento. Para no aburrir más al lector, simplemente señalaré que a todo lo anteriormente expuesto, habría que añadir también como fuentes de incertidumbre los cambios en los instrumentos de medida (anemómetros, garita meteorológica), las unidades de medida (mm y hPa), así como las horas de observación.

Pese a todos estos inconvenientes, existen procedimientos muy robustos tanto para el control de calidad como para la identificación y corrección de potenciales discontinuidades. Los primeros detectan y etiquetan errores obvios (datos anómalos –p.e. temperatura > 100°C–, desplazamientos de coma, repetición del mismo valor varias veces consecutivas, valores negativos de lluvia, errores en las unidades de medida –el viento se mide en m/s en los mensajes meteorológicos, km/h o nudos en los aeronáuticos–), establecen los umbrales e identifican los casos fuera de rango (test de tolerancia) o verifican la consistencia interna de cada parámetro (p.e. que la temperatura mínima no sea superior a la máxima), etc. Tras ellos, se aplican además diferentes test de homogeneidad interna cuya finalidad es la detección y corrección de discontinuidades en las series.

Para concluir, si hemos realizado bien nuestra tarea, nuestras series habrán sido depuradas de toda aquella información potencialmente perturbadora y podremos contestar a nuestro interlocutor, tras analizar si el fenómeno descrito se enmarca o no con una tendencia conocida, si responde a una situación meteorológica típica de nuestra región o si la magnitud alcanzada por un parámetro presenta un periodo de recurrencia elevado, o bien al contrario, si nuestra memoria meteorológica no sólo es corta, sino también selectiva. De hecho, even-

“ Pese a todos estos inconvenientes, existen procedimientos muy robustos tanto para el control de calidad como para la identificación y corrección de potenciales discontinuidades ”

tos tachados de excepcionales hoy no lo son tanto si echamos la mirada atrás y analizamos el mero fenómeno meteorológico; cosa bien distinta es la mayor vulnerabilidad de la sociedad actual (tenemos más que perder porque tenemos más), a pesar de nuestra sofisticación tecnológica. Además, nuestra capacidad de adaptación ha disminuido, no por que seamos menos resistentes (la estatura de las nuevas generaciones indica una mejora sustancial), sino porque no toleramos que la naturaleza se cruce en nuestro camino y nos altere un programa de actividades diseñado al milímetro y poco dado a las improvisaciones. De ahí que el estudio del Cambio Climático y su impacto tanto en el medio natural como en las actividades humanas requiere no sólo que la comunidad científica trabaje con el máximo rigor posible, sino también que sea capaz de trasladar al gran público todo lo que se esconde detrás de un párrafo o una simple cifra.

Para saber más...

- COST ACTION ES0601-Advances in homogenisation methods of climate series: an integrated approach HOME
<http://www.homogenisation.org/>.
- The MEditerranean climate DATA REscue:
<http://www.omm.urv.cat/MEDARE/index.html>
- Proyecto Salvá-Sinobas:
<http://salva-sinobas.uvigo.es/>
- RODRÍGUEZ, R.; BARRIENDOS, M.; JONES, P.D.; MARTÍN-VIDE, J. y PEÑA, J.C. (2001): “Long pressure series for Barcelona (Spain). Daily reconstruction and monthly homogenization”. *International Journal of Climatology*, 21, 1693-1704. Disponible en:
http://www.ub.edu/gc/Documentos/IJC_Roberto_etal.pdf

La reconstrucción del clima a partir de testimonios históricos. Encrucijada metodológica entre la fuente cualitativa y su expresión numérica

Mariano Barriendos

Institut de Ciència i Tecnologia Ambiental (ICTA). Departament d'Història Moderna (Universitat de Barcelona)

La constatación de cambios climáticos ocasionados por efecto de la emisión antropogénica de gases de efecto invernadero ha generado cierta preocupación por la puesta en marcha de alteraciones a escala global con repercusiones ambientales y sociales desconocidas hasta la actualidad.

La actividad científica desarrolla recursos para atender las cuestiones que plantea el cambio climático, que se dirigen hacia la modelización del clima futuro que puede resultar de esta alteración, pero también el estudio de comportamientos climáticos del pasado para buscar patrones de similitud y alimentar con largas series de datos los modelos climáticos y así robustecer su predictibilidad.

El clima del pasado se investiga con técnicas basadas en testimonios físico-biológicos (*proxy-data*): depósitos sedimentarios y glaciales o registros en anillos de árboles, entre otras fuentes. A finales del siglo XX se incorporó a esta batería de técnicas la posibilidad de recuperar en archivos históricos los testimonios escritos de nuestros antepasados. Pese a las reservas suscitadas por tratarse de información car-

gada de subjetividades, sesgos, e incluso errores, se ha aceptado su empleo por la alta resolución temporal que ofrecen sus registros, su exacta datación absoluta y por ofrecer aspectos vinculados a los efectos o impactos que los comportamientos climáticos o meteorológicos ocasionan en las comunidades humanas. Este nuevo *proxy-data* cultural tiene como singularidad el empleo de documentación manuscrita que contiene información mayoritariamente cualitativa. El reto metodológico, pues, supone una importante componente del trabajo a realizar, pues el paso de testimonios cualitativos manuscritos a series numéricas que sean aptas para un análisis climático convencional o asimilables por un modelo climático no es fácil y carece de referentes metodológicos previos.



Como dificultad añadida, en el contexto cultural católico mediterráneo las fuentes documentales más frecuentes son indirectas, apenas se centran en la descripción del propio fenómeno meteorológico o climático. El norte de Europa dispone de excelentes registros de observación meteorológica cualitativa, fácilmente cuantificable por tratarse de informaciones pautadas en un sistema de clasificación. Las estadísticas fiscales o de administración de explotaciones agrarias también son una información altamente cuantificable. Sin embargo, en nuestro contexto abundan más los registros descriptivos de eventos meteorológicos adversos que no el registro metódico de la gestión de la cotidianidad: grandes inundaciones y grandes sequías era lo que aquí preocupaba, impactaba y dejaba testimonios escritos.

Se trata de fenómenos de difícil cuantificación en series estadísticas largas, por lo que se ha optado por acumular la información y convertirla en índices numéricos según la severidad de los eventos documentados. La mayor parte de información que se encuentra para datar y caracterizar adversidades climáticas se expresa mediante ceremonias de rogativas. ¿Se puede llegar a generar series de datos con este material? La respuesta es afirmativa, aunque requiere un trabajo paciente.

Las ceremonias de rogativas constituyen actos litúrgicos controlados institucionalmente y desarrollados dentro de un rígido procedimiento administrativo y protocolario. Si se hubiera tratado de actos movidos por el pánico y por iniciativas espontáneas, no serían susceptibles de cuantificación. Afortunadamente, el proceso se ponía en marcha a instancia de los gremios de labradores que veían alguna afectación en el desarrollo de los cultivos. Los consejos municipales recibían los informes y después de deliberar sobre la situación mandaban el encargo de realización de las rogativas a la autoridad eclesiástica local. Este procedimiento asegura la fiabilidad documental de las rogativas por estar registradas en actas administrativas de diferentes instituciones. Además, las rogativas son creíbles por estar generadas en ámbitos profesionales y políticos, fruto de decisiones acordadas colegiadamente tras deliberación y con acta rubricada por un notario público.

Pero el aspecto clave para poder cuantificar rogativas, ya sean *pro pluvia*, *pro serenitate*, contra el frío o las plagas, era su jerarquización según la gravedad de la situación. Los actos litúrgicos eran más solemnes y costosos a medida que se agravaban los impactos. En un primer nivel se desarrollaban oraciones simples dentro de las parroquias. En un segundo nivel se exponían reliquias o imágenes de advocaciones en el altar mayor de la iglesia. En un tercer nivel, se realizaban procesiones públicas por las calles con otras reliquias o imágenes diferentes. El cuarto nivel consistía en inmersiones en agua de reliquias o imágenes específicas. Finalmente, en un quinto nivel, se acudía en peregrinación a santuarios de especial veneración fuera de las localidades afectadas. Esta clasificación, con pautas formales muy rígidas e inamovibles en el tiempo, permite valorar cuantitativamente la información generando índices de anomalía hidrometeorológica a resolu-

ción mensual/anual para periodos pluriseculares, habitualmente entre los siglos XV y XIX, con una escala entre 0 (normalidad) y +5 (situación extrema).

Los excesos pluviométricos tienen un procedimiento de clasificación similar, aislando los efectos que ocasionan en las poblaciones y clasificando su magnitud según el comportamiento del evento y los daños asociados: 1) crecida ordinaria, sin desbordamiento ni daños apreciables; 2) inundación extraordinaria, desbordamiento moderado con daños leves o destrucción de algún elemento no permanente; 3) inundación catastrófica, desbordamiento severo con destrucción de infraestructuras y construcciones permanentes (edificios, puentes, molinos, caminos...).

“ **Actualmente la climatología histórica está en una encrucijada metodológica porque se plantea la conveniencia de realizar nuevos pasos y abrir vías de trabajo con otras especialidades paleoclimáticas** ”

El análisis climático de estos simples índices ha servido hasta la actualidad para describir las anomalías de la precipitación en los últimos siglos en España. Los recursos estadísticos utilizados han sido mínimos, por prudencia, aplicando filtros para suavizar los resultados cuando se querían observar anomalías pluridecenales (medias móviles de 11 y 31 años, filtros gaussianos, etc.). El potencial de explotación de estos datos no procedería tanto de la sofisticación de los índices generados sino de aplicar la investigación a todo el territorio español, con toda la complejidad orográfica y diversidad ambiental que presenta. Por ahora sólo se han generado índices para unas 16 localidades. La documentación administrativa histórica que contiene información climática en España ha sido recopilada y analizada sólo en un 4% del total disponible. Queda mucho clima por conocer, pero está confinado en unos 1.800 kilómetros lineales de estantería de archivo.

Una vez que se han detectado y analizado anomalías pluviométricas, actualmente la climatología histórica está en una encrucijada metodológica porque se plantea la conveniencia de realizar nuevos pasos y abrir vías de trabajo pen-

sando en la colaboración con otras especialidades paleoclimáticas. Hay tres problemas básicos que exigen el diseño de propuestas para la investigación futura, y en buena medida pasan por el desarrollo de procedimientos estadísticos:

“ La reconstrucción climática no puede basarse únicamente en situaciones adversas. Se requiere también de información dentro de los umbrales de normalidad ”

1) Los testimonios humanos sólo hacen referencia a situaciones de anomalía. Los documentos históricos son inhábiles para detectar situaciones cercanas a la normalidad, porque nadie se preocupaba por documentar que “todo iba bien”. La reconstrucción climática no puede basarse únicamente en situaciones adversas. Se requiere también de información dentro de los umbrales de normalidad. Ante su ausencia, sería aconsejable aunar esfuerzos con otras fuentes de *proxy-data*. La dendroclimatología ofrece excelentes potencialidades, pues los árboles son sensibles en franjas de normalidad y apenas registran las situaciones extremas ya que bloquean su crecimiento. El problema hoy por hoy radica en la necesidad de crear un procedimiento estadístico que permita integrar índices climáticos históricos y dendrocronológicos. Los primeros trabajos son frustrantes porque se limitan a buscar altas correlaciones entre índices ya elaborados, cuando expresan matices diferentes del clima. Ante ese error conceptual, deberían integrarse las informaciones y generar unos índices únicos *ex novo*.

2) La calibración de los datos históricos con datos instrumentales. Durante la segunda mitad del siglo XIX hay una pérdida de información histórica, cuando las autoridades municipales abandonan la estrecha vinculación con la Iglesia a través de las ceremonias de rogativas. Las grandes ciudades son dominadas por corrientes anticlericales. Por ejemplo, las rogativas se interrumpen en Barcelona en 1825 cuando el obispo es apedreado y vejado durante una rogativa *pro pluvia* de nivel 3. Por desgracia, esta interrupción se produce a menudo mucho antes de iniciarse observaciones meteorológicas instrumentales, por lo que se hace casi imposible solapar ambos tipos de series y establecer una comparación consistente, con sus periodos independientes de calibración y verificación.

3) Un último aspecto a considerar es la diversificación de información. Las rogativas y descripción de eventos adversos ya tienen unos procedimientos de análisis contrastados. En cambio, las series climáticas podrían enriquecerse con la aportación de estadísticas de recaudación fiscal y de producción agraria. La vinculación de estos registros al devenir climático es evidente y enriquecería la información en la banda de la normalidad. El problema planteado sería el de intentar validar una información que inherentemente contiene un fuerte componente de ocultación de producciones e ingresos, por la sempiterna condición humana de evadir obligaciones tributarias, ya sea ante el señor feudal del siglo X o ante la Agencia Tributaria del siglo XX. Si se solventara esta dificultad, las calibraciones a realizar serían múltiples, sobre diferentes productos y variables climáticas, con matices sobre técnicas agrarias, calidades del suelo, altitudes y localizaciones, datos instrumentales disponibles...

Los retos planteados son variados y apenas están explorados, pero el potencial de sus resultados nos obliga a perseverar en la búsqueda de herramientas estadísticas que ayuden a tratar la información de los archivos históricos y nos la presente en formatos que se puedan compartir con los diferentes ámbitos de la investigación ambiental.

Las incertidumbres sobre el cambio climático y las alteraciones ambientales que puede ocasionar son suficiente aliado para este esfuerzo complejo e interdisciplinario.

Para saber más...

- Martín Vide, J.; Barriendos, M. (1995): “The use of rogation ceremony records in climatic reconstruction: a case study from Catalonia (Spain)”, **Climatic Change**, 30, (2)201-221. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Barriendos, M.; Martín Vide, J. (1998): “Secular Climatic Oscillations as Indicated by Catastrophic Floods in the Spanish Mediterranean Coastal Area (14th-19th Centuries)”, **Climatic Change**, 38, 473-491. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Pfister, C.; Brazdil, R.; Glaser, R.; Barriendos, M.; Camuffo, D.; Deutsch, M.; Dobrovolny, P.; Enzi, S.; Guidoboni, E.; Kotyza, O.; Miltzer, S.; Racz, L.; Rodrigo, F.S. (1999): “Documentary evidence on Climate in Sixteenth Century Europe”, **Climatic Change**, 43, 55-110. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Barriendos, M. (1999): “La climatología histórica en el marco de la antigua Monarquía Hispánica”, **Scripta Nova**, 3, 53, <http://www.ub.es/geocrit/nova.htm>
- Pfister, C.; Brázdil, R.; Barriendos, M. (2002): “Reconstructing Past Climate and Natural Disasters in Europe Using Documentary Evidence”, **PAGES News**, 10, 3, 6-8.

El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid

Felipe Fernández García

Catedrático de Geografía Física. Universidad Autónoma de Madrid

Alberto Martilli

Investigador del CIEMAT

Introducción

La ciudad constituye la forma más radical de transformación del paisaje natural, pues su impacto no se limita a cambiar la morfología del terreno, sino que además modifica las condiciones climáticas y ambientales. El asfalto, los edificios y el trazado de la red viaria modifican los balances de radiación entre el suelo y el aire, reducen la evaporación, aumentan la escorrentía superficial y disminuyen la velocidad del viento a la vez que aumenta la turbulencia. Todo ello se traduce en un aire altamente contaminado y la aparición de un clima urbano característico, cuyo rasgo más destacable es el aumento de las temperaturas en relación a las áreas suburbanas. La *isla de calor urbana o UHI (Urban Heat Island)* es el concepto que mejor define el clima urbano y en cualquier ciudad se pueden distinguir dos tipos: la primera, denominada *isla de calor atmosférica*, representa las diferencias en la temperatura del aire entre las zonas urbanas y las rurales; la segunda, denominada *isla de calor superficial*, indica las diferencias térmicas entre las superficies artificiales (pavimento, aceras, tejados de los edificios, etc.) y las naturales (vegetación, cultivos, roquedo).

El inicio de la moderna climatología urbana se sitúa a comienzos del XIX, cuando Howard publica en 1818 su obra sobre *el clima de Londres deducido de observaciones meteorológicas* y se consolida tras la publicación de la obra *Das Stadtklima* (Kratz, 1937) de carácter general y la de Chandler sobre *el clima de Londres*, treinta años posterior. En España los estudios de clima urbano no se inician de forma sistemática hasta bien entrado el siglo XX. En 1984 se publicó el primer estudio sobre el clima urbano de Madrid por un grupo de geógrafos de la Universidad Autónoma de Madrid y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

En la actualidad la climatología urbana es una de las ramas más dinámicas de la moderna climatología debido, por un lado, al perfeccionamiento de las técnicas de observación y al empleo de la teledetección y los SIG como herramienta de integración y análisis; por otro, a la importancia de las ciudades en los problemas ambientales actuales: la población urbana representa más del 50% de la población total y, aunque el área ocupada por las ciudades, apenas representa el 2% de la superficie del planeta, consumen más

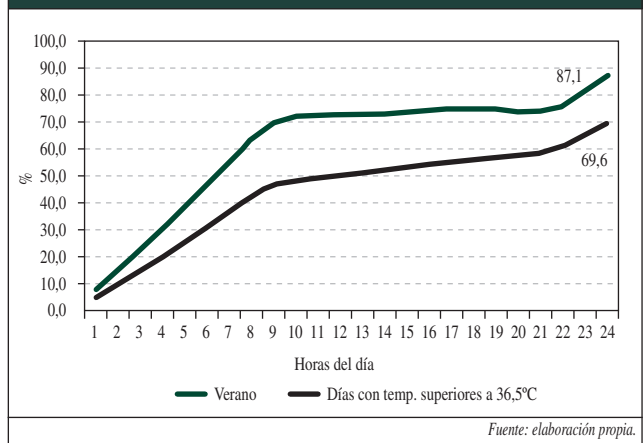
del 75% de los recursos naturales y de ellas proceden más del 80% de las emisiones de gases a la atmósfera. Todo ello ha convertido a las ciudades en las zonas más vulnerables a los impactos negativos del calentamiento global y piezas claves en las políticas para frenar el calentamiento y mitigar sus impactos.

Fuentes y metodología

El clima urbano es un clima regional modificado y su caracterización se realiza en términos de comparación con su entorno próximo. A escala regional la intensidad de estas modificaciones depende del tamaño y extensión de la ciudad; a escala intraurbana se observa un complejo entramado de microclimas diferenciados, debido al trazado y anchura de la red viaria, los usos de suelo, los materiales del asfalto y edificios, así como por las diferentes alturas y orientaciones.

La caracterización de la *isla de calor* a partir de las diferencia entre la temperatura urbana y rural es el método más adecuado para caracterizar el clima urbano, sin embargo presenta bastantes problemas a la hora de determinar los límites entre ambos espacios, especialmente en las grandes

FIGURA 1. EXCESO TÉRMICO ACUMULADO DE LA CIUDAD RESPECTO A LAS ZONAS NO URBANAS



áreas metropolitanas, en las que el proceso de artificialización desdibuja los límites entre ambas zonas. Además, las redes meteorológicas convencionales se han diseñado para conocer el clima regional y, precisamente para evitar el efecto urbano, en las ciudades hay muy pocos observatorios y los que existen se sitúan en los grandes parques urbanos. Por todo ello la caracterización del clima urbano se realiza utilizando tres métodos diferentes, pero complementarios:

La comparación entre observatorios urbanos y rurales, pertenecientes a la red meteorológica convencional, para establecer los principales rasgos del clima urbano, a escala del conjunto de la ciudad. Recientemente se han incorporado datos procedentes de otras redes no convencionales como las redes meteorológicas municipales y las pertenecientes a la red de vigilancia de la contaminación atmosférica.

Los recorridos o transectos térmicos realizados con instrumentos de medida no convencionales instalados sobre vehículos, permiten obtener información sobre un gran número de puntos y trazar mapas y perfiles bastante detallados.

La teledetección es la técnica más reciente utilizada en los estudios de clima urbano. Los sensores situados en satélites o aviones captan la temperatura radiante de las superficies urbanas, lo que permite un análisis detallado de la distribución espacial de la misma y su correlación con variables urbanas.

Líneas de investigación de la climatología urbana y su aplicación al área de Madrid

Los primeros estudios del clima urbano se centraron en la génesis y caracterización de la isla de calor, pero desde la segunda mitad del siglo pasado se han desarrollado otro tipo de estudios tendentes a evaluar sus impactos sobre la salud y el confort de los habitantes de las ciudades, así como en las

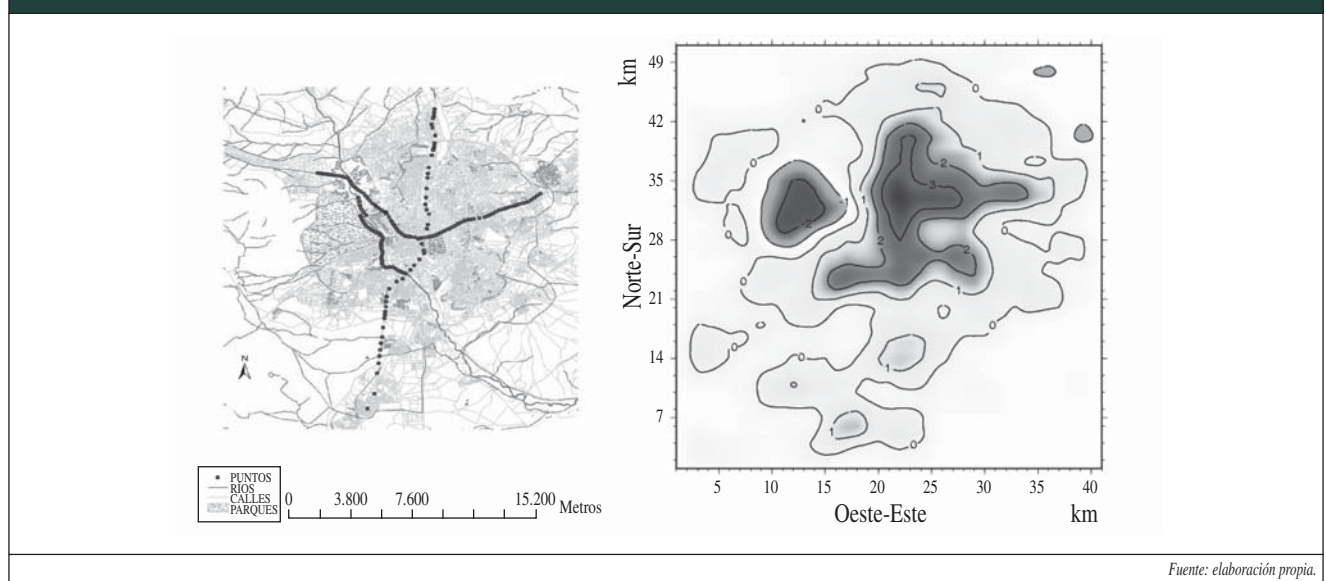
“ Desde la segunda mitad del siglo pasado se han desarrollado los estudios tendentes a evaluar sus impactos sobre la salud y el confort de los habitantes de las ciudades ”

estrategias para disminuir tales impactos. En la actualidad las principales líneas de investigación podemos resumirlas en:

- El análisis de la intensidad y frecuencia de la isla de calor, como indicativo de la magnitud del fenómeno urbano.
- La modelización espacial de la isla de calor atmosférica y superficial en diferentes situaciones meteorológicas, especialmente en eventos extremos como las olas de calor en el periodo estival.
- La evaluación de impactos sobre el confort térmico y el consumo energético.

Estas tres líneas se han desarrollado de forma sistemática en Madrid, desde los primeros estudios iniciados en 1984. Pasamos a presentar algunos de los resultados más significativos, como representativos de los temas que acabamos de exponer.

FIGURA 2. TRANSECTOS TÉRMICOS Y ESTRUCTURA DE LA ISLA DE CALOR MEDIA EN MADRID

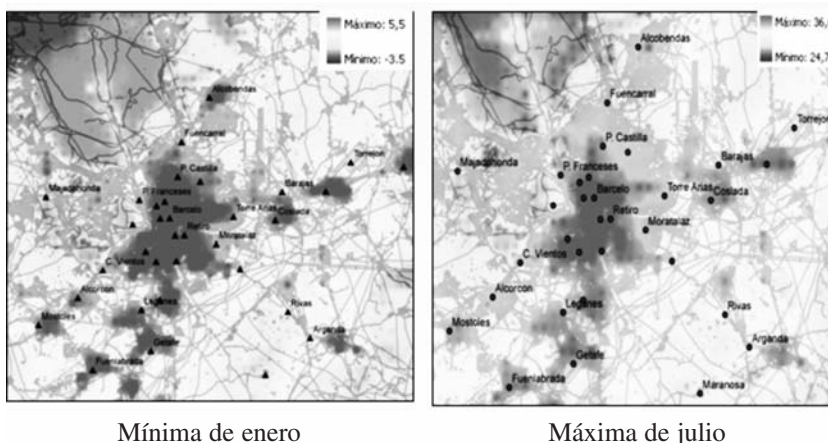


1.- La isla de calor durante los episodios cálidos. Uno de los aspectos más preocupantes en la actualidad es la influencia urbana durante las olas de calor, cuyos efectos se ven agudizados como consecuencia de la isla de calor urbana. El calor estival es el rasgo dominante del verano en el área metropolitana madrileña y a fin de evaluar la incidencia de la ciudad durante las olas de calor, hemos comparado la frecuencia e intensidad de la isla de calor en el conjunto de los días estivales y en aquellos en los que la temperatura máxima supera los 36,5°C. La suma acumulada de la isla de calor horaria (figura 1), demuestra que durante los días más cálidos el excedente térmico urbano es 18°C superior a los días estivales normales lo que es un claro indicio de la agudización del efecto térmico durante estos periodos.

2.- Modelización de la isla de calor. En la figura 2 se muestra la estructura de la isla de calor madrileña, obtenida a partir de la relación existente entre la estructura térmica y morfológica de Madrid. La primera se ha obtenido a partir de más de 100 transectos agrupados en tres trayectos que cubren la mayor parte de la ciudad a diversas horas del día. Las isoterma presentan un trazado concéntrico desde el centro urbano, más cálido, hacia la periferia, más fría. La casa de campo, hacia el oeste y el parque del Retiro, en el interior de la ciudad aparecen como zonas frescas o frías, rompiendo la regularidad del trazado.

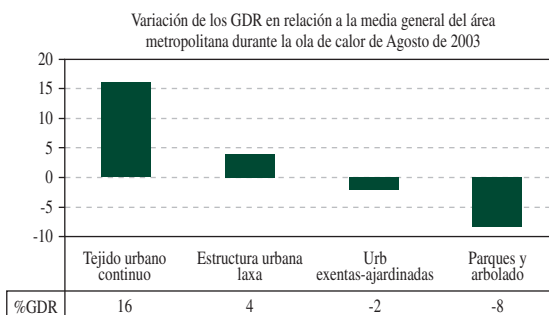
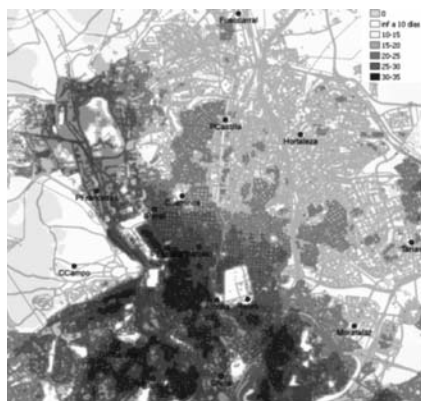
3.- Caracterización del régimen de confort. Uno de los impactos más negativos de la isla de calor es la agudización del estrés térmico con repercusiones muy importantes en la salud y el consumo eléctrico asociado al aumento de los ai-

FIGURA 3. VALORES DE LA TEMPERATURA FISIOLÓGICA EN INVIERNO Y VERANO EN EL ÁREA METROPOLITANA MADRILEÑA



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS DÍAS EXTREMADAMENTE CÁLIDOS EN MADRID (2002-2004)



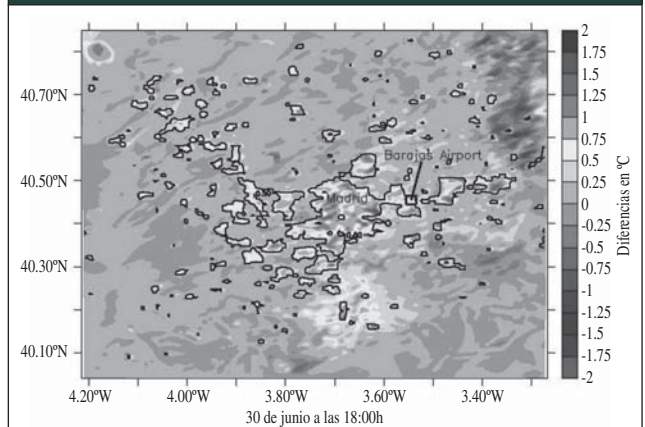
Fuente: elaboración propia.

res acondicionados. En la figura 3 se representa la temperatura fisiológica equivalente, resultante al combinar la temperatura del aire, la del suelo, la humedad y el viento. La influencia urbana queda claramente reflejada en el archipiélago de puntos cálidos asociados a los núcleos urbanos del área metropolitana.

En la figura 4, se representa la distribución espacial de los días extremadamente cálidos en la ciudad de Madrid y la variación porcentual de los grados días de refrigeración (GDR) en diferentes zonas. El hecho más destacable es la marcada influencia de las zonas verdes, dibujándose en el mapa de forma muy nítida la mancha fría en invierno y fresca en verano del parque del Retiro y el claro contraste entre el sector SW de la ciudad, de urbanización compacta y escasa vegetación, frente a las zonas más frescas del N y NE, donde predominan las urbanizaciones abiertas, viviendas unifamiliares y abundante vegetación en las calles y plazas.

Por último, en la figura 5, se representa la distribución de la isla de calor en el área metropolitana obtenida a partir de un modelo de simulación mesoescalar.

FIGURA 5. DIFERENCIAS DE TEMPERATURA ENTRE UNA SIMULACIÓN CON LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO EMITIENDO CALOR A LA ATMÓSFERA Y NO EMITIENDO



Fuente: Salamanca et al. 2011.

Para saber más...

- Fernández- García, F. Galán-Gallego, E. y Cañada-Torrecilla, R. Coord. (1998): **Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas**. Madrid, Ed. Parteluz, 606 pp.
- Fernández-García, F., et al. (1999). *Airborne remote sensing as a tool to study the links between land use and urban heat island*, en **3rd Historical cities. Sustainable Development: The GIS as Design and Management Support**. Siracusa, Italy. 20-21 de abril de 1999. European Commission. Histocity Network.
- Fernández-García, F. (2001-2002): *El clima urbano de Madrid y su influencia sobre el confort térmico*. **Boletín de la Real Sociedad Geográfica**, pp. 169 a 185.
- Fernández-García, F. Montavez, J.P., et al. (2003): *A PCA analysis of the UHI form of Madrid (Spain)*, en **Fifth International Conference on Urban Climate**. Lodz (Polonia). 55-58.
- Fernández García, F. y Rasilla, D. (2009): *Urban enhancement of the heat waves in Madrid and its metropolitan area*, en **Geophysical Research Abstracts**, Vol. 11, EGU2009-6123, 2009. EGU General Assembly 2009. *6th Annual Meeting of the EMS/6th ECAC*.
- Fernández-García, F (2009): *Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid*. **Investigaciones Geográficas**, 49:173-195.
- Fernández-García, F., et al. (2010). *Caracterización del régimen bioclimático medio del área metropolitana de Madrid mediante la aplicación de la temperatura fisiológica (PET)*, en **Clima, ciudad y ecosistemas** (Felipe Fernández, Encarna Galán y Rosa Cañada, eds.). Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie A, 7:505-514.
- Fernández-García, F. and Martilli, A. (2011): Country Report: *Urban Climate Research in Spain. Urban Climate News_ IAUC (International Association Urban Climate)*. Pp. 34-40.
- López Gómez, A., y Fernández García, F. (1984): La isla de calor en Madrid: avance de un estudio de clima urbano. *Revista de Estudios Geográficos*, 174: 5-34.
- López Gómez, A, J, Fernández- García, F., y Moreno-Jiménez, A (1993a). *El clima urbano. Teledetección de la isla de calor en Madrid*. Madrid, Ministerio de Obras públicas y Transportes, Serie Monografías. 230 pp.
- López Gómez, A., Fernández García, F. et al. (1993b). **El clima de las ciudades españolas**. Madrid, Cátedra, 268 pp.
- Martilli, A., Clappier, A., Rotach, M.W. (2002). An urban surface exchange parameterisation for mesoscale models. **Boundary-Layer Meteorology** 104, 261-304.
- Salamanca, F., Martilli A., Yague C. (2011). A numerical study of the urban boundary layer over Madrid during the DESIREX (2008) campaign with WRF and an evaluation of simple mitigation strategies of the Urban Heat Island. **International Journal of Climatology**.

Cómo se analiza el impacto de las olas de calor sobre la mortalidad a partir de series de datos estadísticos

Cristina Linares, Área de epidemiología ambiental y cáncer. Centro Nacional de Epidemiología. Instituto de Salud Carlos III

Julio Díaz, Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III

Recientemente se ha celebrado la cumbre sobre cambio climático en la ciudad de Durban (Sudáfrica). El objetivo principal perseguido en esta reunión era la prorrogación del “Protocolo de Kioto” que finaliza en 2012 y que, hasta la fecha, suponía la existencia de escenarios futuros en los que se limitarían las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial. Esta cita con el futuro del planeta, ha concluido sin compromisos claros, por lo que parece inalcanzable que al final del siglo, la temperatura media del Planeta no se eleve más de 2°C de manera global. Incrementos superiores a este límite tendrían efectos irreversibles sobre nuestro clima.

En el caso de España, este aumento de la temperatura puede suponer, según diferentes simulaciones, elevaciones en los meses de verano de hasta 6°C en el interior de la Península. Estos incrementos de temperatura ya están teniendo repercusiones inmediatas sobre la salud de la población debido a diferentes factores. Por una parte, el aumento en frecuencia e intensidad de las olas de calor en los meses de verano y las elevaciones en los niveles de contaminantes atmosféricos como el ozono troposférico y las partículas en suspensión que aumentarán la morbi-mortalidad asociada a causas respiratorias y circulatorias, especialmente en grupos más vulnerables como ancianos y niños. Por otra parte, se producirá una alteración de los vectores que transmiten enfermedades tropicales como la malaria o el dengue. Además, los eventos meteorológicos extremos como ciclones y tornados serán cada vez más intensos y por tanto, más devastadores. Todo ello va ligado a un incremento de las enfermedades infecciosas transmitidas por el agua y los alimentos, ya que la intensidad de las precipitaciones se verá afectada, aconteciendo largos periodos de sequía seguidos de fuertes inundaciones, lo que afecta a la producción de las cosechas, acentuando los problemas de malnutrición en las regiones más desfavorecidas. Puesto que las políticas de mitigación de emisiones no se están implementando de manera efectiva, la única opción viable ante los problemas de salud comentados es la puesta en marcha de medidas de adaptación, articuladas mediante el funcionamiento de sistemas de prevención dirigidos a minimizar los efectos.

En los países desarrollados, existe un claro ejemplo que ha servido para tomar conciencia de la magnitud del problema del cambio climático y su repercusión sobre la salud de la población: la ola de calor que asoló Europa en el verano

de 2003. Según estudios recientes, este evento meteorológico extremo provocó un exceso de mortalidad de 70.000 personas, de las que al menos 7.000 se produjeron en España en un periodo de quince días. Aunque ya se habían realizado estudios previos en España sobre el impacto de las olas de calor sobre la mortalidad, fue realmente a partir de esta fecha cuando se aumentó la investigación en este tema.

El tipo de estudio epidemiológico utilizado para describir y cuantificar el impacto del calor sobre la salud, se denomina “ecológico” puesto que la unidad de estudio es un grupo de población (datos agregados), del cual se recogen una serie de variables de interés. Las variables utilizadas corresponden ge-

“ El tipo de estudio epidemiológico utilizado para describir y cuantificar el impacto del calor sobre la salud, se denomina “ecológico” puesto que la unidad de estudio es un grupo de población ”

neralmente a dos tipos, ambientales (series de temperatura ambiente) y variables de salud (series de mortalidad) y están referidos a un área geográfica concreta. La unidad temporal utilizada es el día. Por tanto, en primer lugar, se deben de obtener los datos de mortalidad diaria a lo largo de un periodo de tiempo suficientemente extenso para disponer de una serie temporal estable y representativa. Esta serie de mortalidad codificada oficialmente debe referirse no sólo a la mortalidad por todas las causas probables de muerte (excluyendo accidentes), si no a las patologías que, a priori, pueden considerarse más relacionadas con los efectos del calor, como son las circulatorias y las respiratorias. Puesto que el impacto del calor va a ser mayor en los grupos de mayor edad, especialmente por las patologías de base implicadas y su estado de salud deteriorado, es preciso que esta mortalidad también esté desagregada por grupos etarios. Para el caso de la ciudad de Madrid, por ejemplo, estos datos los proporciona la Consejería de Hacienda.

Una vez obtenida la variable dependiente del estudio, es necesario tener datos de las variables independientes o ambientales. En el caso que nos ocupa son las variables meteorológicas las primeras a tener en cuenta. Se debe considerar la temperatura máxima diaria, la temperatura mínima diaria, la temperatura media y analizar cuál de éstas presenta mayor asociación con la serie de mortalidad. La Agencia Estatal de meteorología (AEMET) es la encargada de proporcionar esta información según el observatorio de referencia. Si se escoge modelizar las series temporales de ambas variables mediante metodología ARIMA, se obtienen los residuos correspondientes a la parte “no explicada” por los componentes deterministas (AR) y aleatorios de la serie (MA). Su representación en un diagrama de dispersión, permite determinar la temperatura de disparo de la mortalidad, es decir, identificar a partir de qué temperatura se considera “ola de calor” por su especial impacto sobre la mortalidad estudiada. Conjuntamente hay que tener en cuenta otras variables meteorológicas que juegan un importante papel a la hora de cuantificar el efecto del calor, como son la humedad relativa del aire y la tendencia de presión. Estos datos también los suministra la AEMET.

Existen además otros factores ambientales que pueden influir en la relación entre la mortalidad diaria (especialmente si se analizan las causas respiratorias y circulatorias) y la temperatura y que es preciso considerar a la hora de cuantificar el impacto del calor. Estos factores pueden ser de origen químico, como la contaminación atmosférica, o de origen biológico como los pólenes. Por lo tanto, para un estudio más completo serían necesarias series temporales de la misma longitud que las series de mortalidad y temperatura de los valores medios diarios de contaminantes atmosféricos como partículas inferiores a diez micras, partículas inferiores a 2,5 micras, dióxido de nitrógeno y ozono troposférico. En el caso de la ciudad de Madrid, estos datos los proporciona el Ayuntamiento de Madrid a través de su Red de Control de la Contaminación Atmosférica. Por último, es preciso considerar la contaminación biótica, a través de las concentraciones medias diarias de los pólenes con mayor potencial alérgico en la zona geográfica

“ Además de la temperatura hay que tener en cuenta otras variables meteorológicas para cuantificar el efecto del calor, como son la humedad relativa del aire y la tendencia de presión ”

fica estudiada, por ejemplo, las concentraciones de gramíneas, cupresáceas, plátano y olivo. Estos datos son suministrados por la Red Palinocam, para el caso de la ciudad de Madrid corresponden al medidor situado en la Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense de Madrid.

Una vez que se disponen de todos los datos validados y depurados, es preciso la realización de modelos que cuantifiquen el riesgo en salud, es decir que nos proporcionen cuánto aumenta el riesgo de morir por grado centígrado que aumente la temperatura ambiental durante una ola de calor en una persona expuesta frente a otra no expuesta, teniendo en cuenta todas las variables ambientales consideradas. El tipo de modelización utilizada para calcular este riesgo es ARIMA con variables exógenas, para series de mortalidad con distribución normal y Modelos Aditivos Generalizados con Regresión Poisson para las distribuciones no normales. De este modo, se obtienen, las variables ambientales estadísticamente significativas que se relacionan con la mortalidad y los estimadores, que indicarán el impacto sobre la mortalidad debida al calor.

Para saber más...

- Portal web del Observatorio de Cambio Climático y Salud: <http://www.oscc.gob.es>.
- F Ballester, J Díaz, JM Moreno. Cambio climático y salud pública: escenarios después de la entrada en vigor del Protocolo de Kioto. Gaceta Sanitaria. 2006; 20 (sup11):160-174.
- J Díaz, C López, A Jordán, JC Alberdi, R García, E Hernández, A Otero. Heat waves in Madrid, 1986-1997: effects on the health of the elderly. International Archives Occupational and Environmental Health. 2002; 75:163-170.

Cambio climático: evidencia científica y respuestas al problema

Miguel Buñuel González

Universidad Autónoma de Madrid

Evidencia científica

Fundamentalmente, el clima está determinado por las radiaciones solares. Debido a la diferencia de temperatura entre el sol (6.000°K) y la superficie terrestre (288°K), las radiaciones emitidas o reflejadas por ambos cuerpos son de longitud de onda diferente; las primeras son de onda corta y las segundas son de onda larga. Los gases termoactivos, comúnmente conocidos como gases de efecto invernadero (GEIs), son básicamente transparentes a las radiaciones de onda corta y opacos a las de onda larga, por lo que dejan pasar la mayor parte de las radiaciones solares y absorben, junto a las partículas en suspensión, parte de las radiaciones generadas por la reflexión de las solares sobre la superficie terrestre. De esta forma, las partículas en suspensión y los GEIs acumulados en la atmósfera provocan un calentamiento en las capas bajas de ésta, análogo al producido por el tejado de vidrio de un invernadero. Este efecto invernadero natural es fundamental para mantener la temperatura en la superficie terrestre que ha hecho posible la existencia de vida en la Tierra tal como la conocemos.

Por tanto, resulta inapropiado llamar al problema del cambio climático el problema del efecto invernadero; el problema es el del efecto invernadero *realzado por el hombre*. En efecto, el factor causante de las grandes alteraciones del clima predichas por las simulaciones de los modelos climáticos es el aumento de la concentración atmosférica de GEIs provocado por el ser humano de forma ininterrumpida desde la Revolución Industrial, debido fundamentalmente a la quema masiva de combustibles fósiles¹. Por otra parte, estas alteraciones han empezado a producirse ya, como evidencian los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar². Aunque no se ha podido demostrar que estos cambios puedan atribuirse exclusivamente a las actividades humanas, no cabe duda que sólo pueden explicarse como consecuencia de las emisiones antropogénicas de GEIs. Por ello, políticos y científicos, reunidos bajo la dirección del Grupo de Expertos Intergubernamental sobre Cambio Climático de Naciones Unidas (IPCC), han reconocido que existe una influencia humana perceptible en el cambio climático mundial.

En el pasado, las alteraciones en la concentración atmosférica de los GEIs (principalmente dióxido de carbono y metano) han estado asociadas a profundos cambios climáticos. La diferencia fundamental entre estos cambios naturales y la evolución actual del sistema climático reside en la velocidad a la que se producen las alteraciones, tanto en la concentración atmosférica de los GEIs como en el clima. Las proyecciones más recientes del IPCC (Cuarto Informe de Evaluación, 2007³) indican que las temperaturas globales medias y el nivel del mar pueden aumentar, respectivamente, entre 1,8 y 6,4°C y entre 18 y 59 centímetros en 2100. También se proyecta que se produzcan notables cambios en las precipitaciones, resultando en aún mayor aridez en las zonas áridas y semiáridas, y que aumente la frecuencia e intensidad de fenómenos como el conocido como *El Niño*, episodios de altas temperaturas extremas, inundaciones, sequías, incendios y aparición de plagas, entre otros. Las consecuencias de todos estos efectos pueden ser funestas para el ser humano: disminución del agua disponible en zonas áridas y semiáridas; pérdida de vidas y daños materiales causados por inundaciones, incendios, etc.; disminución de la productividad agrícola en muchas regiones; reducción de la biodiversidad y alteración permanente de muchos ecosistemas; impactos adversos sobre la salud humana; efectos de la subida del nivel del mar sobre el asentamiento de poblaciones, las infraestructuras, el turismo, la agricultura, etc.

Acuerdos internacionales

La seriedad de las consecuencias mencionadas en el epígrafe anterior llevó a la firma de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) en 1992, que se limita a reconocer la existencia del problema, estableciendo mínimas obligaciones para las Partes. En 1997 se fijaron compromisos concretos de reducción de las emisiones de GEIs para los países desarrollados en el Protocolo de Kioto, adoptado en la Tercera Sesión de la Conferencia de las Partes, órgano supremo de la CMCC⁴.

La principal característica del Protocolo es que establece para los países desarrollados la limitación y reducción cuantificada de sus emisiones de seis GEIs: dióxido de carbono (CO₂), metano, óxido nitroso, carburos perfluorados, carbu-

1 Las fuentes estadísticas de la referencia [1] son las principales en estas materias.

2 *Ibidem*.

3 http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml.

4 Los datos derivados de la aplicación de estos acuerdos, tales como los inventarios nacionales de emisiones de cada país, se contienen en la referencia [2].

ros hidrofluorados y hexafluoruro de azufre. La UE asumió un compromiso global de reducción del 8%, que repartió entre sus Estados miembros. Como resultado, a España se le permitió aumentar sus emisiones hasta un 15%. Los objetivos acordados lo fueron para el primer periodo de compromiso, comprendido entre 2008 y 2012. Recientemente, se ha acordado prorrogar la vigencia del Protocolo hasta 2017 o 2020, aunque con menos participantes, a la espera de alcanzar un nuevo acuerdo internacional al que se sumen todos los países. No obstante, la UE ya ha adoptado su compromiso unilateral de reducir sus emisiones en un 20% en 2020⁵.

“ Aunque no se ha podido demostrar que estos cambios puedan atribuirse exclusivamente a las actividades humanas, no cabe duda que sólo pueden explicarse como consecuencia de las emisiones antropogénicas de GEIs ”

Otra característica fundamental del Protocolo es que se prevé la posibilidad de que los países con compromisos cuantitativos de reducción usen dos vías alternativas a la reducción de emisiones propias para cumplir con dichos compromisos. La primera de esas vías consiste en el uso de los llamados sumideros (cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe un GEI o un precursor de un GEI en la atmósfera). La segunda vía alternativa es la formada por los llamados *mecanismos de flexibilidad*, que persiguen disminuir el coste para los países desarrollados de cumplir con sus obligaciones y contribuir al desarrollo sostenible mediante la promoción de proyectos encaminados a reducir la emisión de GEIs. En particular, el Protocolo prevé tres mecanismos:

1. El *comercio de los derechos de emisión*: posibilita que un país que emite menos de lo que le está permitido venda la parte de su cuota de emisión no usada a un segundo país, de forma que éste pueda emitir la suma de su cuota original más la comprada al primero.

2. La *aplicación conjunta (joint implementation)*: permite a las Partes del Anexo I del Protocolo de Kioto (los países desarrollados, incluyendo los países con economías en transición) recibir créditos por reducciones de emisiones conseguidas cooperativamente (a través de proyectos) en otros países del Anexo I⁶.
3. El mecanismo para un desarrollo limpio (*clean development mechanism*): también permite a las Partes del Anexo I recibir créditos por reducciones de emisiones conseguidas cooperativamente, pero esta vez en países en desarrollo⁷.

Análisis económico y políticas públicas

El análisis económico del problema sugiere la conveniencia de una actuación más decisiva que la que se deriva de la respuesta internacional que hoy observamos. Una fuente de información básica en este ámbito es el *Informe Stern sobre la Economía del Cambio Climático* [5]. La principal conclusión del Informe Stern es que los beneficios de actuar temprana y fuertemente contra el cambio climático superan considerablemente los costes de dicha actuación. El Informe concluía originalmente que se requerían inversiones anuales del 1% del PIB mundial para evitar los peores efectos del cambio climático, y que no llevarlas a cabo podía suponer que el PIB mundial fuera hasta un 20% inferior que si se acometieran dichas inversiones. En 2008, Stern aumentó su estimación de las inversiones necesarias al 2% del PIB, dado que las nuevas predicciones anticipaban un cambio climático más rápido.

Cálculos como los del Informe Stern parten a su vez de las estimaciones de las emisiones de GEIs en distintos escenarios. La principal fuente sobre estos escenarios es la Agencia Internacional de la Energía (AIE) [6-8]. En *Energy Technology Perspectives* [6], las mejores estimaciones de la AIE en el escenario sin adopción de medidas adicionales (escenario “business-as-usual”) prevén un aumento del 70% en la demanda de petróleo en 2050, resultando en un aumento del 130% en las emisiones de CO₂. Estas son las emisiones que en las predicciones del IPCC conducen a aumentos de las temperaturas globales sobre los 6°C, teniendo como consecuencia cambios significativos en todos los aspectos de la vida humana y cambios irreversibles en el medio natural.

Por tanto, necesitamos un cambio radical en la forma en la que producimos y usamos energía, que resulte en un modelo energético sostenible. Los escenarios contemplados tanto por el IPCC como por la AIE encuentran cuatro opciones principales de mitigación del cambio climático: la eficiencia energética, que es la más importante a corto plazo, pues existen múltiples oportunidades de aumentarla con

6 La principal fuente de datos sobre este mecanismo es <http://ji.unfccc.int/index.html>.

7 La principal fuente de datos sobre este mecanismo es <http://unfccc.int/2860.php>.

5 Los datos sobre emisiones, compromisos y políticas de la UE se contienen en las referencias [3] y [4].

coste negativo; las energías renovables, que en la mayoría de escenarios constituyen la principal fuente de reducción de emisiones; las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono, que permitirían seguir utilizando combustibles fósiles sin emitir CO₂, pero sobre las que todavía existen múltiples incertidumbres sobre su viabilidad y costes; y la energía nuclear, con sus propios y evidentes problemas, que ponen en duda el aumento futuro de su papel.

La transición a un modelo energético sostenible requiere que las políticas públicas creen una notable certeza a largo plazo sobre la demanda futura de tecnologías bajas en carbono, lo que permitiría su desarrollo a tiempo para lograr escenarios compatibles con un aumento de temperaturas no superior a 2°C, que es el objetivo asumido internacionalmente para evitar los peores efectos del cambio climático. Para que dichas políticas sean eficientes, es decir, para que la reducción de las emisiones de GEIs se produzca al mínimo coste, el análisis económico demuestra que deben basarse prioritariamente en instrumentos económicos (fundamentalmente, impuestos sobre emisiones y permisos de emisión negociables). La ventaja fundamental de los instrumentos económicos es que permiten minimizar los costes totales de disminuir las emisiones, al hacer que se igualen los costes marginales de reducir dichas emisiones entre las distintas fuentes de emisión. Además de esta virtud de eficiencia estática, los instrumentos económicos son también eficientes de manera dinámica; los impuestos sobre las emisiones y los permisos de emisión negociables proporcionan los mayores incentivos para el desarrollo de tecnologías que permitan reducir las emisiones de GEIs a un menor coste.

La necesidad de minimizar los costes de disminuir las emisiones de GEIs se manifiesta en el propio Protocolo de Kioto, que prevé el uso de los *mecanismos de flexibilidad*. También para satisfacer esa necesidad, la UE estableció el Régimen Europeo de Comercio de Derechos de Emisión⁸, al que desde 2005 están sometidos los grandes emisores de CO₂. Los precios de este mercado deberían proporcionar la señal inequívoca a los agentes económicos que conduzca a la necesaria inversión en tecnologías reductoras de las emisiones, pero su nivel actual es demasiado bajo para garantizar un despliegue masivo de las tecnologías mencionadas anteriormente⁹.

Aunque la UE ha optado por los permisos de emisión como principal instrumento económico en materia de cambio climático, sus propuestas impositivas para reducir las emisiones de GEIs tienen décadas y muchos países europeos han introducido impuestos medioambientales con este fin¹⁰. Una ventaja del uso de instrumentos fiscales es que pueden ser la base para una *reforma fiscal ecológica*, que podría proporcionar benefi-

8 Ver <http://www.marm.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/documentacion-y-normativa/default.aspx> y http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/128012_es.htm.

9 Entre las múltiples fuentes de datos sobre las transacciones en el régimen europeo y sus precios pueden consultarse [9] y [10].

10 La referencia [11] proporciona una completa base de datos sobre tributos medioambientales frente al cambio climático.

“ Necesitamos un cambio radical en la forma en la que producimos y usamos energía, que resulte en un modelo energético sostenible ”

cios económicos más allá de los ligados al medio ambiente. Se trata de usar los ingresos proporcionados por los tributos medioambientales para reducir otros tributos ya existentes que generen grandes distorsiones en la economía y, por ello, pérdidas de bienestar, como los que gravan el trabajo, los beneficios o el ahorro, así como las contribuciones a la seguridad social. El uso de los permisos de emisión para los sectores con unidades emisoras grandes y localizadas y los impuestos para los sectores “difusos” (residencial, agrícola, transporte), cuyas emisiones son más difíciles de controlar, resulta una combinación adecuada de instrumentos económicos que permitiría reducir los costes de la radical reducción de emisiones de GEIs que debemos acometer a lo largo de este siglo.

Para saber más...

- [1] IPCC, http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data.shtml, <http://www.ipcc-data.org/>
- [2] CMCC, <http://unfccc.int/2860.php>
- [3] Eurostat, http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Climate_change_statistics
- [4] Agencia Medioambiental Europea (AME), <http://www.eea.europa.eu/themes/climate>
- [5] Nicholas Stern, *Informe sobre la Economía del Cambio Climático*, http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm
- [6] AIE, *Energy Technology Perspectives*, <http://www.iea.org/techno/etp/index.asp>
- [7] AIE, <http://www.iea.org/stats/index.asp>
- [8] AIE, <http://www.iea.org/publications/index.asp>
- [9] AME, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/emissions-trading-viewer>
- [10] Sendeco2, <http://www.sendeco2.com/>
- [11] OCDE, <http://www2.oecd.org/ecoinst/queries/>

Solvencia II y las estadísticas sobre el clima

Miguel Ángel Vázquez

Responsable de Análisis y Estudios de Unespa

El denominado futuro entorno de Solvencia II consiste en un nuevo cálculo de cargas de capital económico para el sector asegurador. Esto quiere decir que el cálculo de los recursos propios que un asegurador debe tener a disposición para responder por los hechos inesperados y negativos que le puedan suceder deberá estar basado en el perfil de los riesgos a los que está expuesta y las pérdidas potenciales que, si dichos riesgos se presentaren en la realidad, generarían.

En este artículo nos referiremos sólo a uno de los grandes módulos de riesgo existentes en Solvencia II, que es el denominado riesgo de suscripción de seguros no vida. Dentro de esta familia de riesgos de suscripción se encuentra uno, que es el catastrófico. El riesgo catastrófico se presenta con frecuencia baja (pocas veces) pero costes elevados (daños excesivos) y es un riesgo no sistemático. Esto quiere decir que, al ser su frecuencia baja, su producción es (aparentemente) caótica y, por lo tanto, es difícilmente predecible mediante los métodos estadísticos basados en la observación de la experiencia anterior, que son el alimento básico de las técnicas actuariales.

Descripción básica del método de cálculo

Tomemos el riesgo de tormenta como ejemplo, ya que, al ser la metodología igual en los otros sub-módulos, sólo tenemos que tener en cuenta los cambios de parámetros.

El cálculo de riesgo catastrófico de Solvencia II incluye un cálculo para una serie de regiones, que básicamente coinciden con los estados, al que se debe sumar una carga de capital derivada para otras regiones europeas que están fuera de la metodología general.

“ El riesgo catastrófico se presenta con frecuencia baja (pocas veces) pero costes elevados (daños excesivos) y es un riesgo no sistemático ”

Cada una de estas regiones, según nos dice la actual redacción del acto delegado o reglamento de Solvencia II, debe subdividirse en áreas; pero esta subdivisión no es prescrita por el reglamento.

La subdivisión de las regiones en zonas, nos dice la futura norma, debe hacerse de tal manera que «sean suficientemente homogéneas en relación con el riesgo de tormenta al que están expuestas aseguradoras y reaseguradoras». Esto es, cada zona deberá caracterizarse por un comportamiento tormentoso razonablemente homogéneo; lo cual nos lleva al importante papel que en el futuro habrá de jugar la adecuada captura y tabulación de los datos meteorológicos, en orden a precisar, en la mejor medida posible, estas zonificaciones.

Cada región tiene adjudicado un factor de riesgo de tormenta, basado en la probabilidad. Este factor sí que está definido en un anexo del reglamento y, como decíamos antes, es notablemente bajo para España como consecuencia de la interacción del sistema Consorcio.

Junto con este factor de riesgo, que como vemos está prescrito en el reglamento, debe calcularse otro factor, peso o ponderación de riesgo en cada una de las zonas que se defina, $W_{(windstorm,r,i)}$ ¹. Esta ponderación deberá estar calculada de manera que su multiplicación por el factor de riesgo derive la pérdida producida en seguros a la propiedad (normalmente denominados multirriesgos en España, en algunos casos seguro de incendios, aunque cada vez es más raro que esta cobertura se presente en solitario) a causa de tormentas, expresada en forma de porcentaje sobre la suma asegurada total de los contratos, y calibrada en un valor en riesgo con un intervalo de confianza de 99,5.

Asimismo, para cada par de zonas delimitadas en cada región (por ejemplo: si en España se crease una zona para cada comunidad o ciudad autónoma, habría 19 zonas distintas), deberá fijarse un factor de correlación, que podemos

¹ En todas las referencias que vamos a ver en este artículo, el subíndice *r* se refiere a la región, y el subíndice *i* a la zona.

identificar como la probabilidad de producción de daños simultáneamente en ambas zonas. Estos factores podrán ser de 0, 0,25, 0,50, 0,75 o 1. Estas correlaciones deben derivar, una vez aplicada, la pérdida derivada para toda la región con un intervalo de confianza de 99,5; y, por supuesto, deberán reflejar la dependencia entre zonas.

Una vez hechos todos estos trabajos, se calculará para cada zona de cada región la suma asegurada por el riesgo de tormenta por su ponderación. A partir de ahí, se calcula la pérdida posible en cada región por el riesgo de tormenta, mediante la siguiente fórmula:

$$L_{(tormenta,r)} = Q_{(tormenta,r)} \times \sqrt{\sum_{ij} Corr_{(tormenta,r,i,j)} \times SAP_{(tormenta,r,i)} \times SAP_{(tormenta,r,j)}}$$

Siendo:

$L_{(tormenta,r)}$: la carga de capital por tormenta para una determinada región.

$Q_{(tormenta,r)}$: el factor de riesgo calculado para la región.

$Corr_{(tormenta,r,i,j)}$: la matriz de correlación entre las zonas i y j de la región r , para el riesgo de tormenta.

$SAP_{(tormenta,r,i)}$: la suma asegurada ponderada por el riesgo de tormenta en la zona i de la región r .

$SAP_{(tormenta,r,j)}$: la suma asegurada ponderada por el riesgo de tormenta en la zona j de la región r .

El sumatorio nos está indicando que la operación deberá realizarse para todas las combinaciones de dos zonas que existan en la región; es decir, para todos los territorios con comportamientos específicos e internamente homogéneos respecto de la tormenta.

De esta forma, la fórmula deriva cargas de capital más elevadas de carteras: con mayores coberturas en zonas con mayor probabilidad de tormenta; con fuerte presencia en zonas que correlacionen muy fuertemente entre ellas respecto del riesgo. Técnicamente, pues, se puede entender que la fórmula, en sí, está fomentando la diversificación del riesgo, es decir su extensión geográfica.

Finalmente, la misma operación de correlación se realiza entre regiones y, en un escalón superior, entre riesgos.

“ **El proceso de Solvencia II, cuando pase a estar completamente implantado, devendrá en una demanda creciente de información precisa, completa y de calidad referida a los fenómenos meteorológicos** ”

Conclusión: una futura relación más estrecha

El adecuado conocimiento del perfil de riesgo en materia catastrófica, derivado de la fórmula estándar de Solvencia II o de la eventual construcción de modelos internos de cálculo en cada entidad o grupo, presupone la existencia de bases de información cada vez más nutridas y de mejor calidad sobre los resultados pasados en materia de fenómenos meteorológicos. Como hemos visto, la zonificación es un aspecto en parte abierto que será altamente dependiente de la disponibilidad de datos; entidades especialmente establecidas en territorios concretos y con la ambición de generar modelos internos bien podrían tentar ejercicios de micro-zonificación que permitiesen calcular con mayor precisión sus riesgos, lo cual no tiene por qué tener beneficios únicamente en la derivación del capital de solvencia, sino también en la propia gestión del negocio.

No resulta difícil, por lo tanto, adelantar la idea de que el proceso de Solvencia II, cuando en los próximos 30 a 40 meses pase a estar definitiva y completamente implantado, devendrá en una demanda creciente de información precisa, completa y de calidad referida a los fenómenos meteorológicos.



Cifras INE. Financiación de empresas

Necesidad y acceso a financiación en España y en la UE

Publicación en la web:

www.ine.es

En 2010 el INE llevó a cabo la Encuesta sobre Acceso a Financiación de las Empresas, una operación que se realizó con criterios armonizados en 20 países de la Unión Europea. Los resultados permiten conocer al detalle los problemas y limitaciones que tienen las empresas de tamaño pequeño y mediano a la hora de acceder a la financiación. Las empresas seleccionadas pertenecen a la industria, la construcción y los servicios no financieros, están ubicadas en el territorio nacional y no son filiales de otras empresas. Para formar parte de la muestra las empresas debían cumplir una triple condición: poseer entre 10 y 249 empleados en el año 2005, continuar desarrollando su actividad en 2008 y disponer de un mínimo de 10 empleados en el período de referencia (2010).

Algunos de los resultados más relevantes de la Encuesta son que, en España, una de cada cuatro empresas que solicitó un préstamo en 2010 no pudo obtenerlo (es uno de los países europeos en los que más se ha reducido el éxito en este tipo de financiación respecto a 2007) y que el 60,0% de las empresas españolas considera que la disposición de los bancos para facilitar financiación ha empeorado con respecto a 2007, la cifra más alta de las registradas en el conjunto de países investigados.

Direcciones y teléfonos de interés

INE- Pº de la Castellana, 181 y 183 -28046 Madrid
www.ine.es

Atención a usuarios

Tfno: 91.583.91.00

Fax: 91.583.91.58

Consultas: www.ine.es/infoine

Lunes a jueves de 9 a 14 y de 16 a 18 horas.

Viernes de 9 a 14:30 horas

Encuesta Industrial de Productos 2010

Publicación incluida en el CD-Rom

INEbase Noviembre

CD-Rom. 18,84 € IVA incluido

Información detallada en INEbase:

www.ine.es

La Encuesta Industrial Anual de Productos elaborada por el INE es una operación estadística anual destinada a proporcionar en el menor tiempo posible una información precisa y fiable sobre un conjunto de productos industriales (alrededor de 4.000) que cubren una parte importante del sector industrial español (secciones C y D de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas de 2009).

La publicación objeto de estudio va dirigida a los establecimientos industriales (con independencia de la actividad principal de la empresa a la que pertenezcan) necesarios para cubrir el 90% de la producción de cada clase de la CNAE (4 dígitos). Para cada una de estas clases se encuestan los establecimientos industriales pertenecientes a empresas de 20 y más personas ocupadas y para ciertas clases, además se encuestan los establecimientos industriales con menos de 20 personas ocupadas.

Los resultados nacionales se presentan en cantidad y valor para cada uno de los 4.000 productos individualizados y los resultados por Comunidades Autónomas se ofrecen para 16 grandes agrupaciones de actividad.

Publicaciones editadas por el INE en diciembre de 2011 y enero de 2012

INEbase. Diciembre 2011

CD-Rom. 18,84 € IVA incluido

Suscripción anual 164,70 € IVA incluido (12 entregas)

Contenido:

Boletín Mensual de Estadística. Diciembre de 2011

Indicadores coyunturales:

– Índice de Precios de Consumo (IPC). Base 2006

– Índice de Precios de Consumo Armonizado (IPCA). Base 2005

– Índice de Precios Industriales. Base 2005.

CNAE- 2009 (IPRI)

– Índice de Producción Industrial. Base 2005.

CNAE- 2009 (IPI)

– Índices de Comercio al por Menor. Base 2005.

CNAE- 2009 (ICM)

Encuesta Trimestral de Coste Laboral ETCL.

Base 2008 CNAE-2009. Serie 1º trimestre

2008-3º trimestre 2011

Índice de Coste Laboral Armonizado ICLA.

Base 2008 CNAE-2009. Serie 1º trimestre

2000-3º trimestre 2011

Encuesta de Morbilidad Hospitalaria 2010

Flujos Migratorios Estimados. Año 2010

(actualización)

Estadística de Bibliotecas 2010

El Empleo de las Personas con Discapacidad.

Serie 2008-2010

Censo de Aranda. T. VIII.

Papel. 565 páginas

53,56 € IVA incluido

Censo de Aranda. T. IX.

Papel. 620 páginas

58,38 € IVA incluido

Clasificación Nacional de Ocupaciones 2011. (CNO 2011)

Papel. 403 páginas

25,72 € IVA incluido

Cifras INE. Financiación de empresas

Necesidad y acceso a financiación en España y en la UE

Folleto de 8 páginas

Disponible en formato electrónico en la web del INE.

Cifras INE. La empresa en el mundo global

Estadísticas sobre empresas filiales

Folleto de 7 páginas

Disponible en formato electrónico en la web del INE.

INEbase. Noviembre 2011

CD-Rom. 18,84 € IVA incluido

Suscripción anual 164,70 € IVA incluido

(12 entregas)

Contenido:

Boletín Mensual de Estadística. Noviembre de 2011

Indicadores coyunturales:

– Índice de Precios de Consumo (IPC). Base 2006

– Índice de Precios de Consumo Armonizado (IPCA). Base 2005

– Índice de Precios Industriales. Base 2005.

CNAE- 2009 (IPRI)

– Índice de Producción Industrial. Base 2005.

CNAE- 2009 (IPI)

– Índices de Comercio al por Menor. Base 2005.

CNAE- 2009 (ICM)

Censo Agrario 2009

Contabilidad Nacional Trimestral de España.

Base 2000. Tercer trimestre 2011

Demografía Armonizada de Empresas 2009

Estadística del Taxi. Serie 1994-2011

Estadística de la Enseñanza Universitaria

en España. Curso 2009-2010

Encuesta Industrial de Productos 2010

Estadísticas de Residuos 2009