

## LA TELEDETECCIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LA METEOROLOGÍA

José Luis Casanova<sup>1</sup>

**RESUMEN:** Se presentan algunas consideraciones sobre el papel que la teledetección puede jugar en la enseñanza de la Meteorología, así como la situación actual de esta docencia en España y en los países de nuestro entorno.

### REMOTE SENSING IN TEACHING METEOROLOGY

**ABSTRACT:** *This paper presents some reflexions about the role of remote sensing in teaching Meteorology. The use of meteorological satellites in education is reviewed in different western countries as well as in Spain.*

### INTRODUCCIÓN

Desde la más remota antigüedad los fenómenos atmosféricos han tenido una profunda influencia en la vida del hombre afectando a sus costumbres, a su modo de vida e incluso a su propio sustento: unas sequías prolongadas, unas lluvias torrenciales, podían condenarle al hambre mientras que unas primaveras bonancibles y unos veranos secos auguraban unas buenas cosechas. Estas fuerzas de la Naturaleza llegaron a ser deificadas y en esa adoración pagana podemos encontrar el signo más evidente de su influencia sobre la vida humana.

Pero el hombre no se detuvo ante lo desconocido y ya en la Grecia Clásica, en el 334 a.C., apareció la primera obra que trata de la atmósfera: la Meteorología de Aristóteles. Meteoro, en griego, significa «entre el cielo y la tierra» y desde entonces, tanto en la época precientífica anterior a la invención del barómetro por Torricelli, como en la época científica posterior a éste, el estudioso de la meteorología no ha hecho

otra cosa que observar a estos «meteoros», que ocurren «entre el cielo y la tierra», para intentar comprenderlos y conocer sus hábitos y costumbres.

Hasta finales del siglo XIX la observación se hacía desde el suelo. A principios de este siglo el uso de globos permitió extender algo más las observaciones y poco más tarde el uso de cohetes y aviones permitió una observación más cercana al fenómeno. Pero la observación seguía siendo esencialmente «desde abajo». Sin embargo, cuando en el año 1958 el hombre fue capaz de colocar un nuevo satélite, fabricado por él, alrededor de la Tierra, comenzó una nueva era en las observaciones meteorológicas. Los primeros satélites artificiales apenas llevaban un emisor que confirmaba su presencia en el espacio exterior, pero rápidamente se desarrolló la tecnología espacial y comenzaron a colocarse instrumentos de observación a bordo de los satélites. Una de las más trascendentales consecuencias del uso de los satélites iba a ser el cambio del punto de vista de la observación de la atmósfera: los meteoros ya no iban a verse entre el cielo y la tierra, sino que iban a ser contemplados desde el cielo, en toda su extensión, y con todo el detalle que el hombre fuera capaz de imaginar.

### LA TELEDETECCIÓN Y LA METEOROLOGÍA

Los satélites meteorológicos son de dos tipos: geoestacionarios y heliosíncronos. Los primeros

<sup>1</sup> Laboratorio de Teledetección. Departamento de Física Aplicada, Universidad de Valladolid, 47071 Valladolid.

están a unos 36.000 km de la superficie terrestre y observan siempre la misma zona de la Tierra. Su resolución es de unos 25 km<sup>2</sup> para nuestras latitudes. Los segundos orbitan la Tierra a unos 900 km de altura, y reciben su nombre porque pasan diariamente a la misma hora sobre un mismo lugar. Su resolución es del orden de 1 km<sup>2</sup>. Cronológicamente aparecieron antes los satélites heliosíncronos, con la serie TIROS (*Television and Infrared Observation Satellite*), que comenzó el 1 de abril de 1960 y fue seguida por la serie TOS (*TIROS Operational System*), ITOS (*Improved TIROS Operational System*) y TIROS-N/NOAA, actualmente en servicio con los NOAA-9, 10, 11 y 12, y cuyo próximo representante, el número 13, será lanzado el 1 de junio de 1993. Además de éstos, la serie NIMBUS, los soviéticos METEOR o los satélites de uso exclusivo del ejército americano, pueden incluirse en el mismo tipo de plataformas.

El primer satélite geostacionario fue el GOES americano, lanzado el 16 de octubre del 1975. En el momento actual un total de cinco de estos satélites orbitan la Tierra, entre ellos el Meteosat, cubriendo totalmente al globo. Estos satélites tienen menos sensores que los anteriores, típicamente tres, pero los complementan para una vigilancia permanente de la atmósfera.

Los satélites heliosíncronos permiten obtener informaciones mucho más precisas y variadas que los satélites geostacionarios debido a que suministran las radiancias de muchas más bandas y permiten por tanto una precisión mayor de las medidas, pero su periodicidad es menor: en promedio suministran dos imágenes al día, mientras que los geostacionarios dan una cada media hora.

Las imágenes transmitidas por los satélites geostacionarios son ya de uso corriente en nuestra sociedad y su aparición cotidiana en la televisión se ha hecho habitual. En estas imágenes se pueden contemplar las masas nubosas e inclu-

so, si se proyectan varias imágenes sucesivamente, la evolución de estas masas. Este análisis evolutivo es de gran importancia para la predicción en Meteorología y constituye una herramienta obligada en los gabinetes de predicción de los Observatorios Meteorológicos. Además el meteorólogo dispone de los niveles de brillo de las nubes y de su temperatura, por lo que puede conocer el tipo de nube y llegar a una comprensión más profunda de lo que implican los movimientos nubosos.

El almacenamiento de estas imágenes permite elaborar mapas climáticos de los tipos de nubes y de temperaturas, que son necesarios cuando se trata de predecir el tiempo por métodos estadísticos.

Los satélites meteorológicos llevan tanto sensores pasivos como activos. Analizando la radiación medida en las diferentes bandas y aplicando un modelo físico de transferencia radiativa a través de la atmósfera, es posible obtener sondeos verticales de temperatura y humedad, determinar la temperatura del mar y, con menor precisión por el momento, la de la tierra, saber la altura de las nubes, medir los espesores totales y los perfiles de ciertos gases, como por ejemplo el ozono, vigilar la evolución de los grandes sistemas nubosos, conocer la altura de las olas, determinar la velocidad del viento sobre el mar, etc.

Pero además hay una serie de variables que pueden obtenerse, tras alguna manipulación matemática, de los datos primarios del satélite. Entre las más importantes podemos mencionar los campos de viento derivados de las sucesivas posiciones de las nubes, los mapas de irradiación solar de la superficie, a partir del albedo, los mapas de evapotranspiración, para lo que es necesario conocer la temperatura del aire, etc.

Además los datos procedentes de satélites sirven para predecir tormentas en el mar (Stoffelen et al, 1991), cantidades de lluvia (O'Sullivan et al, 1990), contenido de agua líquida de la atmós-

fera (Lojou et al, 1991), aspectos de la circulación general de la atmósfera (Geller et al, 1992), flujos de calor latente (Miller et al, 1992), vientos catabáticos (Bromwich et al, 1992), etc., y día a día aparecen más y más aplicaciones que van ampliando el campo de trabajo y las posibilidades de los satélites en el estudio de la atmósfera.

## LA TELEDETECCIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LA METEOROLOGÍA

Tras lo expuesto en el apartado anterior, cabría esperar que la teledetección por satélite ocupase un lugar importante dentro de las enseñanzas de la meteorología e incluso de la climatología. Sin embargo la meteorología es una ciencia cuya metodología está establecida hace ya bastantes años, y que por su carácter interfronterizo y multinacional está tutelada por dos grandes organismos, la Organización Meteorológica Mundial y la Sociedad Americana de Meteorología, que se cuidan de homogeneizar los métodos y procedimientos de medida y de que las informaciones meteorológicas que se intercambian a cada momento todos los observatorios del mundo tengan formatos similares y hayan sido obtenidas de manera fiable para que sean comparables entre sí.

Quiere esto decir que cualquier modificación profunda en la metodología de las observaciones meteorológicas o de los procedimientos de cálculo, exige un amplio debate entre los diferentes paneles de la OMM, que están compuestos por expertos de todos los países, una probación posterior del pleno de la OMM y una difusión que permita su uso común a los expertos de todos los países del mundo. En definitiva, el precio que hay que pagar por una internacionalización de los procedimientos, es que cualquier modificación implica un trámite largo y farragoso. Esta

«inercia» de la Meteorología se transmite también a su enseñanza, que sigue las pautas marcadas por los dos Organismos mencionados, y aunque las Universidades evidentemente tienen autonomía plena, los cambios son en general lentos y las modificaciones importantes no se asimilan fácilmente.

En los Estados Unidos y Canadá hay 96 Universidades que imparten estudios relacionados con la atmósfera (AMS, 1990). De ellas, sólo 18 llegan al grado de *Bachelor*, 6 al de *Master* y 72 al de *Ph.D.* Pues bien, únicamente en 34 Universidades se ofertan cursos o seminarios relacionados con la Teledetección o con los satélites meteorológicos, generalmente entre aquéllas que pueden otorgar el grado de *Doctor*. Lo más usual es que se oferte un sólo curso, para graduados, con títulos tales como «*Radiation and Satellite Meteorology*», «*Remote Sensing*», «*Satellite Meteorology*», «*Satellite Data in Meteorology*» o «*Satellite Climatology*». Solamente 6 Universidades ofertan dos cursos, normalmente para los niveles de graduado y pre-graduado. En estos cursos no se suelen considerar temas como el tratamiento de imágenes, sino que solamente se abordan cuestiones meteorológicas desde el punto de vista del usuario final, que aprovecha unos datos para sus propios estudios meteorológicos.

En la Comunidad Europea la situación es análoga. Existen estudios de Meteorología en Gran Bretaña, Francia y Alemania, pero solamente algunas Universidades, en porcentajes todavía inferiores, incorporan cursos dedicados específicamente a la teledetección por satélite.

En España ni tan siquiera existen estudios de Meteorología. En las Licenciaturas de Ciencias Físicas de las Universidades Complutense, Central de Barcelona, Islas Baleares, Salamanca y Valladolid existen algunas asignaturas, en cuarto y quinto curso de carrera, relacionadas con la Meteorología, pero solamente en la Complutense de Madrid forman parte de la especialidad de

Física de la Tierra y del Cosmos, mientras que en las demás se limitan a completar los conocimientos generales de los Licenciados en Física, sin que tengan entidad suficiente como para poder hablar de una especialización.

En las Escuelas de Ingenieros Agrónomos existe una asignatura de Meteorología Agrícola, que está dedicada específicamente a esta rama de la Meteorología y, finalmente, en las Licenciaturas de Geografía existe una asignatura en la que se trata la Climatología. Asimismo puede mencionarse una Meteorología en las Facultades de Ciencias del Mar, y alguna referencia a la Meteorología en áreas tales como la Producción Agrícola y poco más. Como se ve, en el momento actual la enseñanza de la Meteorología y sus ciencias afines no figuran en un lugar destacado dentro de la Universidad española.

Los nuevos Planes de estudio, cuya implantación parece inmediata, sin llegar a remediar esta situación de grave carencia, abordan la enseñanza de la Meteorología con bastante más intensidad. Aunque es difícil predecir cual será la situación final, debido a que la tramitación de los nuevos Planes sigue unos trámites diferentes para cada Universidad, si puede decirse que las Universidades Complutense, Salamanca, Islas Baleares y Valladolid, y posiblemente otras, aumentarán sustancialmente las asignaturas dedicadas a la Meteorología, con carácter optativo. Creemos que dada la enorme utilidad que los satélites meteorológicos tienen en la Meteorología operativa y su progresivo perfeccionamiento, que hace que sus medidas sean cada vez más exactas y amplias, es conveniente introducir, al menos, una descripción básica de los mismos. Esto puede hacerse dentro de la Meteorología Física, en los temas relacionados con la radiación solar y terrestre, ya que en definitiva un satélite lo que hace es soportar un radiómetro en el espacio.

Sin embargo, las potencialidades de los siste-

mas de observación espaciales son tan grandes y su desarrollo tan rápido que no parece conveniente limitar este estudio solamente al producto final. Un adecuado tratamiento de una imagen permite obtener unos detalles de la misma que aparecen ocultas a la simple observación visual. Las imágenes de un frente térmico o del núcleo de una borrasca, tratadas mediante una simple convolución, permiten determinar las estructuras finas de los dos meteoros. Por otra parte la progresiva accesibilidad a las imágenes de los satélites meteorológicos, hace que estas técnicas que hasta hace poco tiempo eran prohibitivas por su elevado coste, sean fácilmente asumibles por un Departamento universitario.

La Universidad de Valladolid incluirá en su nuevo Plan de Físicas dos asignaturas específicamente dedicadas a la teledetección, una de carácter teórico y otra de carácter práctico. En la primera se incluirán temas sobre tratamiento de imágenes, junto con los principios físicos de la teledetección. Y en las prácticas los alumnos utilizarán paquetes de tratamiento de imágenes y determinarán magnitudes meteorológicas. Es decir, no nos limitaremos a hablar del producto final, sino que también se incluirán temas sobre «manejo de la herramienta».

Creemos que las Universidades que no hayan previsto incluir esta materia deberían reconsiderar su decisión, porque la teledetección es una herramienta de tal potencia y con tanto futuro en todos los campos, que cualquier alumno, sea cual sea su orientación, se podrá beneficiar con su aprendizaje.

## REFERENCIAS

AMS (1990): *Curricula in the Atmospheric, Oceanic and Related Sciences*.

Bromwich, D.H., Carrasco, J.F. and Stearns, Ch. (1992): «Satellite Observations of Katabatic-Wind

Propagation for Great Distances Across the Ross Ice Shelf», *Mon. Wea. Rev.*, 120, 1940-1949.

**Geller, M.A., Nash, E.R., Wu M.F. y Rosenfield, J.A.** (1992): «Residual Circulations Calculated from Satellite Data: their Relations to Observed Temperature and Ozone Distributions», *Journal Atmos. Sci.*, vol. 49, pp. 1127-1137.

**Lojou, L.Y., Fouin, R. y Bernard, R.** (1991): «Comparison of Nimbus-7 SMMR and GOES-1 VISSR Atmospheric Liquid Water Content», *J. Appl. Meteor.*, vol. 30, pp. 187-198.

**Miller, D.K. y Katsaros, K.B.** (1992): «Satellite-derived Surface Latent Heat Fluxes in a Rapidly

Intensifying Marine Cyclone», *Mon. Wea. Rev.*, vol. 120, pp. 1093-1107.

**Nicholson, S.E.** (1989): Remote sensing of land surface parameters of relevance to climate studies, *Progress in Physical Geography*, vol. 13, pp. 1-12.

**O'Sullivan F., Wash, C.H., Steward, M. y Motell, C.E.** (1990): «Rain Estimation from Infrared and Visible GOES Satellite Data», *J. Appl. Meteor.*, vol. 29, pp. 209-223.

**Stoffelen, A.C.M. y Cats, G.J.** (1991): «The Impact of Seasat-A Scatterometer Data on High-Resolution Analysis and Forecast: The Development of the QE II Storm», *Mon. Wea. Rev.*, vol. 119, pp. 2794-2802.