

Aplicaciones de la teledetección en hidrología

M.^a Eugenia PÉREZ GONZÁLEZ y Pilar García Rodríguez

Dpto. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física (U.C.M.)
meperez@ghis.ucm.es

Recibido: 16 de noviembre de 2005

Aceptado: 7 de febrero de 2006

RESUMEN

En este artículo se sintetizan algunas de las aplicaciones en el campo de la hidrología de los satélites artificiales dedicados a recursos naturales. Se han escogido ejemplos a varias escalas (global, regional y local) y con distintos sensores de diferentes resoluciones espaciales, espectrales y temporales con el fin de conocer el amplio campo de estudio que ofrecen los datos de los satélites y su gran utilidad en el análisis de las masas de agua. La existencia de imágenes desde los inicios de los años setenta permite hacer un seguimiento multitemporal y analizar los cambios acaecidos en los últimos treinta años. La gran absorción de energía electromagnética por parte del agua permite cartografiar con precisión los espacios acuáticos y conocer algunas de sus principales variables: profundidad, salinidad, presencia de vegetación hidrohalófitas, contaminación, etc.

Palabras clave: teledetección, hidrología, evaluación ambiental, series multitemporales.

Applications of remote sensing on hydrology

ABSTRACT

In this paper, some of the remote sensing applications on hydrological ground have been synthesized. Instances of different scales (global, regional and local), with different sensors of different spatial, temporal and spectral resolutions have been chosen, in order to know the amplitude of the field study given by satellite data and their utility in the study of water extensions. Satellite images, available since the early seventies allow us to carry out a multitemporal study of the areas and to analyse the changes that have taken place there for the last thirty years. The high absorption of electromagnetic energy showed by water enables us the precise mapping of wet areas and to know some of their main variables: depth, salinity, presence of hydrohalophytic vegetation, contamination, etc.

Keywords: remote sensing, hydrology, environmental evaluation, multitemporal series.

SUMARIO: 1. Introducción. 2. Material y métodos. 3. Resultados y discusión. 4. Conclusiones. 5. Bibliografía.

Proyecto CICYT AGL 2002-0229

1. INTRODUCCIÓN

La creciente necesidad de agua dulce por parte del hombre, acelerada en las últimas décadas, ha llevado a un desequilibrio en los balances hidrológicos en muchos puntos del planeta, produciendo graves alteraciones medioambientales de muy difícil solución. Son numerosos los casos en los que se cambian los usos agrícolas tradicionales de secano por regadíos (mucho más rentables en términos económicos) a expensas de las aguas subterráneas, que tienen ciclos de recarga muy lentos. Es muy frecuente, que se empiecen a tomar medidas para minimizar el consumo de agua, sólo cuando aquéllas se han sobrexplotado o contaminado. En estos casos, también suelen haberse añadido otros problemas adicionales, como la salinización o contaminación de los suelos, formación de costras, etc., que frenan bruscamente los ingresos económicos de las regiones afectadas y, en ocasiones, ponen en riesgo la salud de sus habitantes.

En otros casos, los problemas hidrológicos están directamente relacionados con los riesgos climáticos, al ser las precipitaciones uno de los parámetros fundamentales de los balances hídricos. Así, la inoportunidad en el reparto temporal de los totales anuales de precipitaciones conduce a dos de los riesgos de mayor frecuencia: las inundaciones y las sequías.

Por último, no pueden obviarse los recursos marinos, en los que la teledetección destaca como una de las principales fuentes de información. En el ámbito marino, deben también destacarse los problemas asociados a la navegación que, con demasiada frecuencia, originan importantes catástrofes por vertidos de sustancias altamente contaminantes.

El disponer de información visual y digital de la superficie terrestre desde la década de los setenta del pasado siglo está permitiendo estudios temporales de un amplio conjunto de temas medioambientales que se sintetizan en la tabla 1.

Tabla 1. Aplicaciones de la teledetección a la hidrología

CONTINENTALES	OCEÁNICAS
Cartografía hidrogeográfica	Cartografía batimétrica
Cartografía de humedales	Cartografía de arrecifes
Inundaciones	Erosión y degradación de costas
Sequías	Dinámica litoral
Desecación y salinización de humedales y lagos	Apoyo a la cartografía de cartas de navegación
Cambio en la morfología fluvial	Análisis del transporte de sedimentos
Seguimiento de la calidad de las aguas	Temperatura del mar
Seguimiento de la contaminación hídrica	Contaminación marina y costera
Explotación y vulnerabilidad de acuíferos	Indicadores de biomasa, estudio del fitoplacton
Evolución de glaciares	Dinámica de hielos
Evolución de hielos	Oleaje y corrientes marinas
Detección de aguas subterráneas	Bancos de pesca

Al ser muy amplio el abanico de estudios en los que se relacionan la teledetección y la hidrología se han seleccionado algunos ejemplos a diferentes escalas: local, regional y global. Así, se escogen tres casos a pequeña escala en la Península Ibérica: la evolución reciente de la laguna de Gallocanta, del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel y la transformación agrícola y paisajística de Almería. Como casos regionales se analizan los problemas del mar Aral en Asia Central y de las inundaciones acaecidas en Europa en los inicios del siglo XXI. Por último, se estudia la aplicación del estudio de la temperatura superficial del mar en el Pacífico Sur para detectar los ciclos de sequías-inundaciones vinculados al fenómeno ENSO (EL Niño Oscilación Sur).

Si variados son los temas hidrológicos múltiples son también los satélites y sensores que a lo largo de las cuatro últimas décadas han ido facilitando información de la tierra. En la tabla 2 se resumen los diferentes satélites, destacando sus resoluciones y campos de aplicaciones.

Tabla 2. Satélites espaciales y características de cada uno de ellos

SATÉLITE	TIPO DE SENSOR	RESOLUCIÓN ESPACIAL	RESOLUCIÓN ESPECTRAL	RESOLUCIÓN TEMPORAL	APLICACIÓN PRINCIPAL
LANDSAT	Óptico	Media	Media	Media	Terrestre
SPOT	Óptico	Media	Media	Baja	Terrestre
ASTER	Óptico	Media	Media	Media	Terrestre
IRS	Óptico	Media	Media	Media	Terrestre
IKONOS	Óptico	Alta	Media	Alta	Terrestre
QUICK BIRD	Óptico	Alta	Media	Alta	Terrestre
ORBVIEW	Óptico	Alta	Media	Alta	Terrestre
NOAA	Óptico	Baja	Media	Alta	Terr. y marina
MODIS	Óptico	Baja	Media	Alta	Terr. y marina
ENVISAT	Radar	Variable	Media	Alta	Terr. y marina
ERS	Radar	Media	Media	Baja	Terr. y marina
JERS	Radar	Media	Media	Baja	Terr. y marina
RADARSAT	Radar	Media	Media	Alta	Terr. y marina
NIMBUS	Óptico	Baja	Media	Alta	Marina
EXPLORER	Óptico	Baja	Baja	Media	Marina
SEASAT	Radar	Media	Baja	Baja	Marina
TOPEX/ POSEIDON	Rádar	Baja	Media	Alta	Marina

Además de estos satélites, en la actualidad existen numerosos sensores hiperespectrales, algunos a bordo de satélites (FTHSI, HYPERION) y la mayoría en aviones (AVIRIS, HYDICE, PROBE, EPS-H, DAIS, AISA, ARIES, PROBA, NEMO, PRISM, etc.), que operan con un gran número de canales en las longitudes de onda del visible e infrarrojo.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se han empleado imágenes del satélite Landsat 5 y 7, de los sensores TM y ETM, con las siguientes escenas y fechas (tabla 3):

Tabla 3. Imágenes de satélite utilizadas en los casos estudiados

SATÉLITE	SENSOR	LOCALIZACIÓN	FECHA
TOPEX/POSEIDON	RÁDAR	Océano Pacífico	Abril 97/98
LANDSAT	TM	Mar Aral	16-08-89
LANDSAT	ETM	Mar Aral	29-07-2000
ENVISAT	ASAR	Alemania	19-08-2002
SPOT	SPOT 4	Francia	07-12-2003
LANDSAT	TM	Gallocanta	14-04-1987
LANDSAT	ETM	Gallocanta	30-06-2001
LANDSAT	TM	Tablas De Daimiel	25-03-1989
LANDSAT	ETM	Tablas De Daimiel	22-04-2002
LANDSAT	TM	Almería	14-04-1987
LANDSAT	ETM	Almería	25-4-2000

Las imágenes han sido tratadas con el programa ERDAS Imagine 8.6; se han georreferenciado a coordenadas UTM y se han realizado diversas mejoras espaciales, espectrales y radiométricas con el fin de mejorar su visualización. En cada imagen multispectral se analizan las bandas independientemente y mediante combinaciones e índices estadísticos que permiten identificar mejor los espacios acuáticos. También se han realizado algunos perfiles espectrales y espaciales con el fin de conocer los valores digitales en las diferentes bandas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el presente estudio se han seleccionado algunos casos que muestran claramente las ventajas de utilizar imágenes y datos de satélite en el seguimiento de masas de agua. Se ha escogido un caso a escala global que hace referencia a grandes masa de agua oceánica: la corriente del Pacífico sur —ENOS—, tres casos regionales: la desecación del lago Aral y el impacto de dos inundaciones en Europa y tres casos locales, situados en la Península Ibérica: la laguna de Gallocanta, el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel y el litoral de Almería.

APLICACIONES A ESCALA LOCAL

1. La laguna de Gallocanta

Localizada al Suroeste de la Comunidad de Aragón, es el humedal de mayor tamaño de la Península Ibérica y un área crucial de paso e invernada para la grulla

(Grus grus). Esta laguna, formada en una depresión intraibérica (fosa tectónica), está experimentando recientemente un notable retroceso en cuanto al volumen y calidad de sus aguas. En este trabajo se ha hecho un seguimiento de la laguna a través de imágenes Landsat durante los últimos 18 años. En la figura 1 se destacan los resultados más visibles en cuanto a cantidad de agua en la laguna de Gallocanta y en otra muy próxima a ella —La Zaida—, entre 1987 y 2001. En la imagen de abril de 1987 los vasos lagunares de las dos lagunas tenían un importante volumen de agua, por lo que dan tonos muy oscuros que permiten delimitar con mucha precisión el área de inundación de los humedales. Además, los perfiles espectrales son característicos de aguas con cierta profundidad. Por el contrario, en el mes de junio

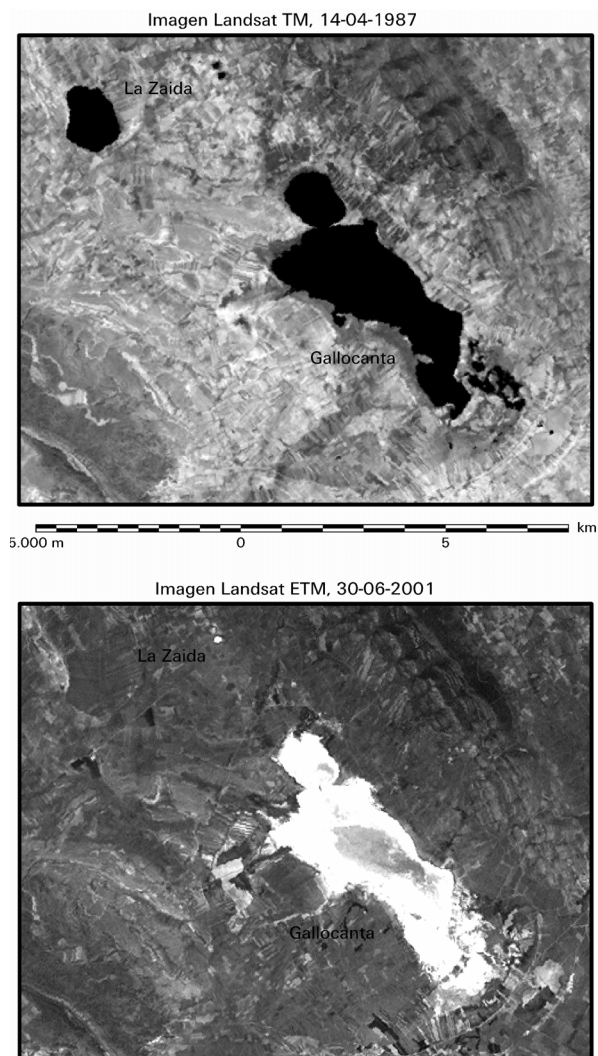


Fig. 1. Imágenes Landsat: evolución de las lagunas de Gallocanta y La Zaida entre 1987 y 2001. En 1987 los dos humedales tienen una lámina de agua profunda, mientras que en 2001 la laguna de La Zaida ha sido transformada en campos de cultivo y Gallocanta sólo tiene humedad en el centro de su vaso lagunar.

de 2001 la laguna de Gallocanta presenta tonos muy blanquecinos, por la ausencia de agua y, en sus perfiles espectrales valores muy altos en la banda 5, propios del reflejo de las sales. Apenas hay humedad en el centro del humedal, bien visible por los tonos grises. Llama la atención que la laguna de La Zaida en la imagen de 2001 se ha transformado en campos de cultivo, aunque todavía puede dibujarse el contorno. En imágenes de marzo, junio y noviembre de 1999 (Pérez et al., 2000, 2001 y García et al., 2001) ya se pudo comprobar, confirmado con datos de campo, que el humedal de Gallocanta apenas tenía agua y que la laguna de la Zaida ya había sido transformada.

Junto a la progresiva desecación de la laguna de Gallocanta son cada vez más numerosas las parcelas dedicadas a regadío, que hacen descender el nivel del acuífero. Las surgencias de estas aguas a la laguna, bien recogidas en la toponimia con el nombre de «Los Ojos», son cada vez menores, apenas perceptibles en años secos y, sólo llegan a inundar someramente la laguna en años muy húmedos. Así, antiguas alturas de agua, superiores a 2 m, citadas en los años ochenta (Gracia Prieto, 1993) son en la actualidad inimaginables, pues sólo llegan a alcanzar escasos centímetros cuando las condiciones meteorológicas son muy favorables. De no frenar pronto la explotación del acuífero el futuro de Gallocanta está abocado a su desaparición y con ella, la visita anual de miles de grullas.

2. El Parque Nacional de las Tablas de Daimiel

Otro de los ejemplos españoles en los que el uso indiscriminado del agua ha modificado un espacio natural corresponde al P. N. de Las Tablas de Daimiel. El incremento de los cultivos de regadío en las últimas décadas ha conducido al brusco descenso del acuífero 23, uno de los principales aportes hídricos que tenía el humedal. Las soluciones parciales encaminadas a trasvasar aguas del canal Tajo-Segura a través del río Cigüela hasta el Parque no logran recuperar la antigua lámina de agua y, además, han variado la calidad de las mismas, lo que ha conducido a modificaciones en la cadena trófica. Así, se sustituyen aportes de aguas subterráneas —que lavan los sedimentos ricos en yesos suprayacentes dando lugar a aguas salobres—, por aguas fluviales mucho más dulces. La respuesta de la vegetación es rápida y progresiva; in situ puede observarse la rápida extensión de los carrizales (*Phragmites australis*), especie higrófila de amplia adaptabilidad, en detrimento de otras más exigentes en cuanto a la calidad de las aguas como la masiega (*Claudium mariscus*).

En la figura 2 se observa la evolución de Las Tablas de Daimiel entre los años 1989 y 2002. La lámina de agua y la extensión de la vegetación higrófila es superior en la primera fecha. A su vez, es visible el incremento de las parcelas de regadío en las proximidades del Parque, responsable en gran medida de la disminución del agua en Las Tablas y del descenso de nivel en el acuífero. Otro aspecto hidrológico que se refleja en las imágenes es el descenso del caudal del río Azuer, afluente del Guadiana por su margen izquierda.

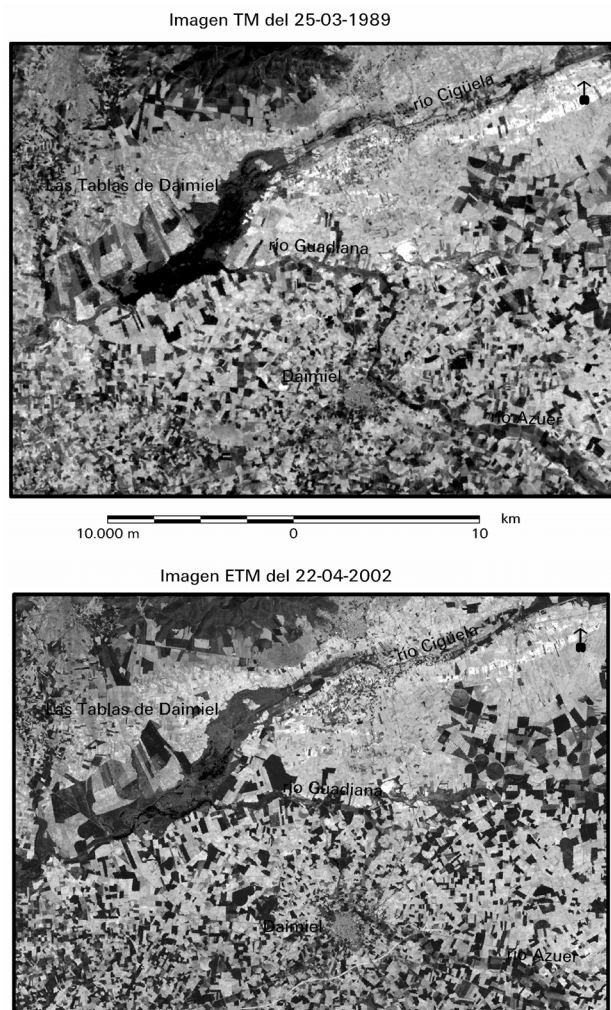


Fig. 2. Imágenes Landsat: evolución del P.N. de Las Tablas de Daimiel, pérdida del volumen de agua, incremento de regadíos en torno a Daimiel y fuerte reducción del caudal del río Guadiana

Estudios hiperespectrales de este humedal han permitido cartografiar las variaciones en los contenidos en las sales de los suelos que se han desecado (Riaza et al., 2003)

3. Almería

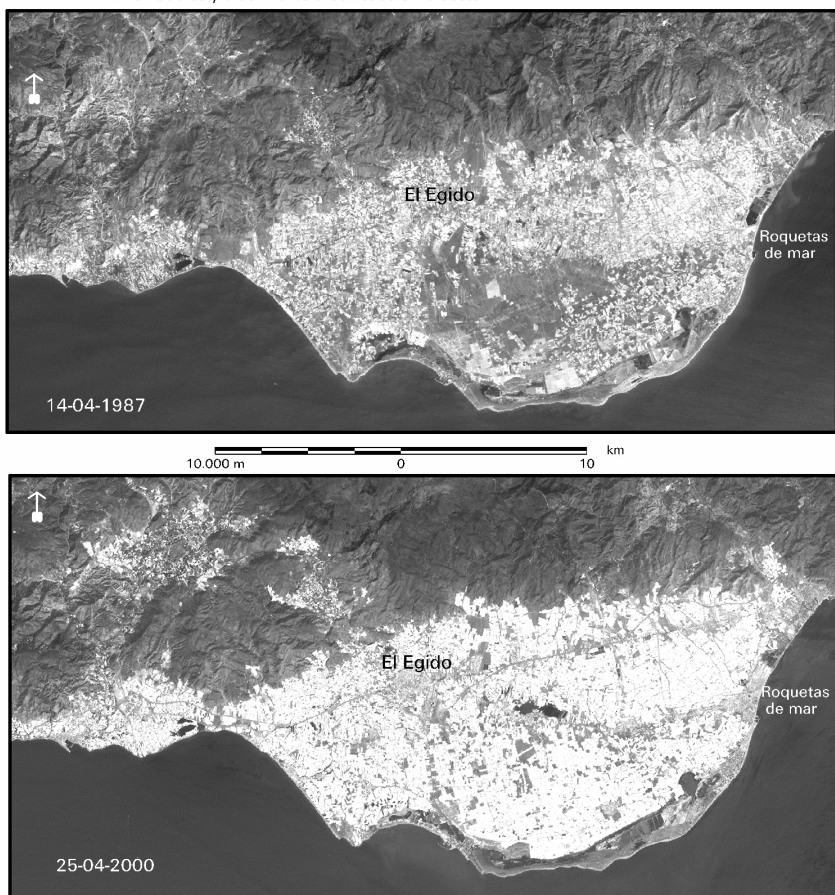
En el año hidrológico 2004-05 parte de España está clasificada meteorológicamente como año seco, con precipitaciones anuales entre el 25 y 50% respecto a la media y, cabe señalar que es el primer año seco desde 1995. La sequía meteorológica se acentúa con la repetición de valores inferiores a la media en años contiguos,

por lo que de momento no debería de acompañar déficits hídricos importantes. Sin embargo, las necesidades reales de agua nos llevan al concepto de sequía agrícola, que este año es considerada extrema, debido a la mayor necesidad de agua por el incremento imparable del consumo. Esto muestra el desfase entre sequía agrícola y sequía meteorológica. Uno de los ejemplos más claros de ello se observa en el sureste español, con la transformación radical de algunos espacios, como el suroeste de la provincia de Almería en el que las imágenes muestran los enormes cambios acaecidos en pocas décadas.

En imágenes captadas por los primeros satélites dedicados a recursos naturales en los años setenta (O.N.U., 2005, imagen MSS de Landsat de 1974) se podía observar como el suroeste de la provincia de Almería apenas estaba afectado por la acción antrópica. La densidad de población era muy baja y el paisaje era característico de áreas semidesérticas, con algunos cultivos en secano y amplias extensiones improductivas con vegetación arbustiva xerófila, dominada por los espartales. Posteriormente, se descubre un gran «mar de agua» en el subsuelo y, en los años ochenta, este paisaje empieza a sufrir grandes y rápidas transformaciones con la proliferación de los cultivos bajo plástico, que aumentan de forma exponencial la renta «per cápita» de sus habitantes.

En la figura 3 se puede observar el cambio acaecido entre los años 1987 y 2000. Ya en el año 87 los alrededores del municipio del Egido constituían un auténtico mar de plásticos (que se refleja en tonos muy claros en la imagen), pero aún quedaban amplias áreas sin ocupar al sur de esta población y el oeste de Roquetas de Mar. Por el contrario en el año 2000, toda la superficie está cubierta por invernaderos o cultivos bajo plástico, hasta las estribaciones de la sierra y aún, ascendiendo por la misma, con una extensión superior a 27.000 hectáreas. Además, el crecimiento urbanístico en la costa, especialmente en las áreas próximas a Roquetas, Almerimar y Adra, ha conducido al sellado de la mayor parte de los suelos. El incremento de la población gracias a los grandes beneficios que aporta la agricultura bajo plástico, y del turismo en las áreas costeras, está llevando al agotamiento y salinización del acuífero. Aún cuando se están tomando medidas que frenen la proliferación de los invernaderos (con seguimiento y vigilancia mediante satélite) éstos siguen aumentando, tanto en este sector como más al noreste, hacia Níjar, lo que exige una gran demanda de agua, que las bolsas subterráneas son incapaces de aportar. La construcción de plantas desalinizadoras como la de Carboneras, aún no han conseguido resolver el gran problema de demanda hídrica imprescindible en este tipo de agricultura, por otra parte, económicamente muy rentable y apta en un clima donde el sol luce casi todo el año y, donde, gracias al desarrollo de los cultivos hidropónicos, el suelo ya no es una necesidad.

Figura 3. Imágenes Landsat de Almería: transformación paisajística mediante cultivos bajo plásticos, invernaderos y crecimiento urbanístico en la costa



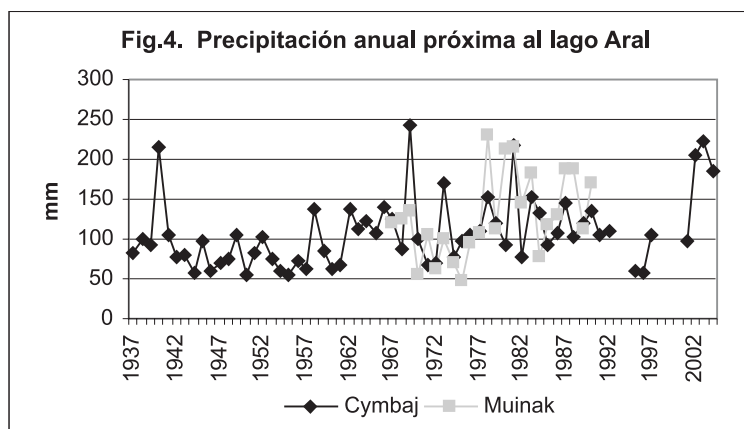
APLICACIONES A ESCALA REGIONAL

4. El mar Aral

A escala regional uno de los ejemplos más evidentes de la pésima gestión del agua es la ocurrida en la Cuenca del Mar de Aral en el Asia Central. Los métodos agrícolas destinados a intensificar la producción de algodón en los decenios 1950-70 dio lugar a la creación de una vasta red de canales de riego en zonas desérticas de Uzbekistán y Turkmenistán a expensas del desvío del agua de los ríos Amudar'ya y Syrdar'ya, que alimentan el Mar de Aral. Las tres décadas escasas de beneficios agrícolas y económicos acabaron en los inicios de los años ochenta al producirse una concatenación de problemas de muy difícil solución: incremento de la salinización y degradación de los suelos, brusco retroceso del volumen del mar

Aral, salinización de acuíferos, contaminación de las aguas, pérdida de la actividad pesquera, etc.

El retroceso del mar Aral ha sido provocado exclusivamente por el hombre. Así, la figura 4 muestra la distribución de las precipitaciones anuales en las estaciones meteorológicas próximas a dicho mar. Puede observarse que las precipitaciones no registran una tendencia decreciente, por lo que no es posible responsabilizar al clima de la pérdida de agua del Mar Aral. Además, las escasas aportaciones anuales de la región desértica de Uzbekistán (entre 50 y 250 mm) hacen inviable la regeneración natural de dicho mar, pues, en la actualidad existe un evidente desequilibrio en el ciclo hidrológico natural.



Las imágenes del satélite Landsat muestran la pérdida progresiva de la lámina de agua y el aumento de la salinización de los suelos del perímetro entre los años 1987 y 2000 (figura 5). Las imágenes georreferenciadas de la mitad meridional del mar Aral permiten medir la dimensión del retroceso de la superficie y altura del agua. Así, la imagen de 2000 no sólo tiene una lámina de agua mucho más reducida, sino que los tonos claros de buena parte de los bordes actuales denotan una escasa profundidad. Esto se confirma obteniendo los perfiles espectrales y espaciales de las dos fechas. En el canal 5 (infrarrojo) (figura 6) se puede comprobar como en el transecto W-E realizado en el sur del lago, en 1987 se obtienen valores propios de una lámina profunda de agua (con números digitales inferiores a 20), mientras que en el 2000 los valores digitales son elevados, característicos de suelos secos. Comparando ambos perfiles se observa el gran retroceso del agua entre los años 1989 y 2000 y, por tanto, el gran incremento de superficie emergida, con el consiguiente perjuicio para la economía de los habitantes de los pueblos ribereños.

5. Inundaciones en centro Europa

Uno de los riesgos naturales de mayor recurrencia son las inundaciones. Hasta hace pocos años los estudios de este evento se realizaban a partir de satélites mete-

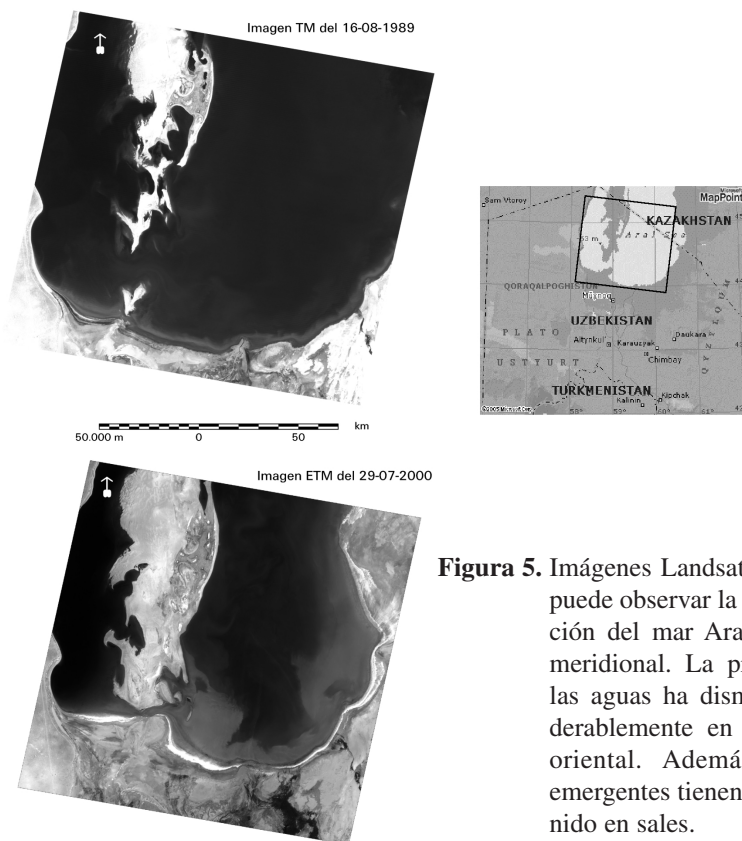


Figura 5. Imágenes Landsat en las que se puede observar la rápida desecación del mar Aral en su mitad meridional. La profundidad de las aguas ha disminuido considerablemente en el borde sur-oriental. Además los suelos emergentes tienen un alto contenido en sales.

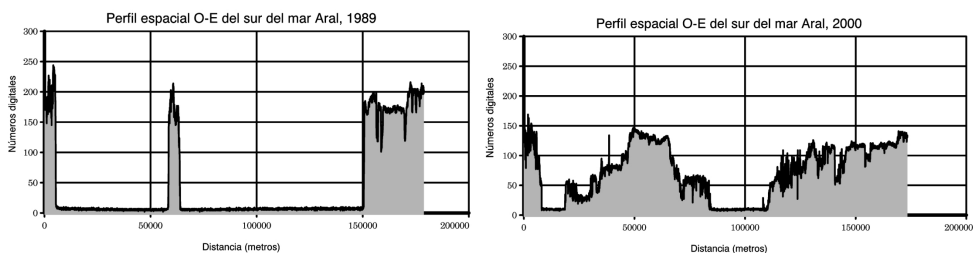


Figura 6. Estas figuras representan los números digitales de la banda 5 de los satélites Landsat en un transecto al sur del Mar Aral, con dirección Oeste-Este: 44° 23' N, 58° 10' E - 43° 54' N, 60° 19' E. Los valores más bajos corresponden con las áreas inundadas.

orológicos mediante el análisis de las nubes y conjuntos convectivos a mesoescala, pero los cálculos de agua precipitada y la cartografía de las superficies inundadas no podían realizarse en tiempo real porque los satélites medioambientales (Landsat, Spot, Noaa, etc.) no tienen capacidad de atravesar la cobertura nubosa. Ya en la década de los noventa se utilizaron en Europa las imágenes de los radares ERS (sensores activos utilizados habitualmente por otros países como Japón —JERS— y Canadá —RADARSAT—), con la ventaja de que pueden obtener imágenes aún cuando haya cubierta de nubes, con buenos resultados tanto para el medio terrestre como para el océano.

Para uno de los ejemplos de inundaciones recientes se ha seleccionado una imagen del satélite europeo Envisat, utilizando un radar de apertura sintética (ASAR), con una resolución espacial de 25 m, cuando aún este satélite estaba en sus fases de prueba. En ella se refleja el desbordamiento del río Elba el 19 de agosto de 2002 y sus consecuencias en el centro de Europa (figura 7). Se puede observar en tonos

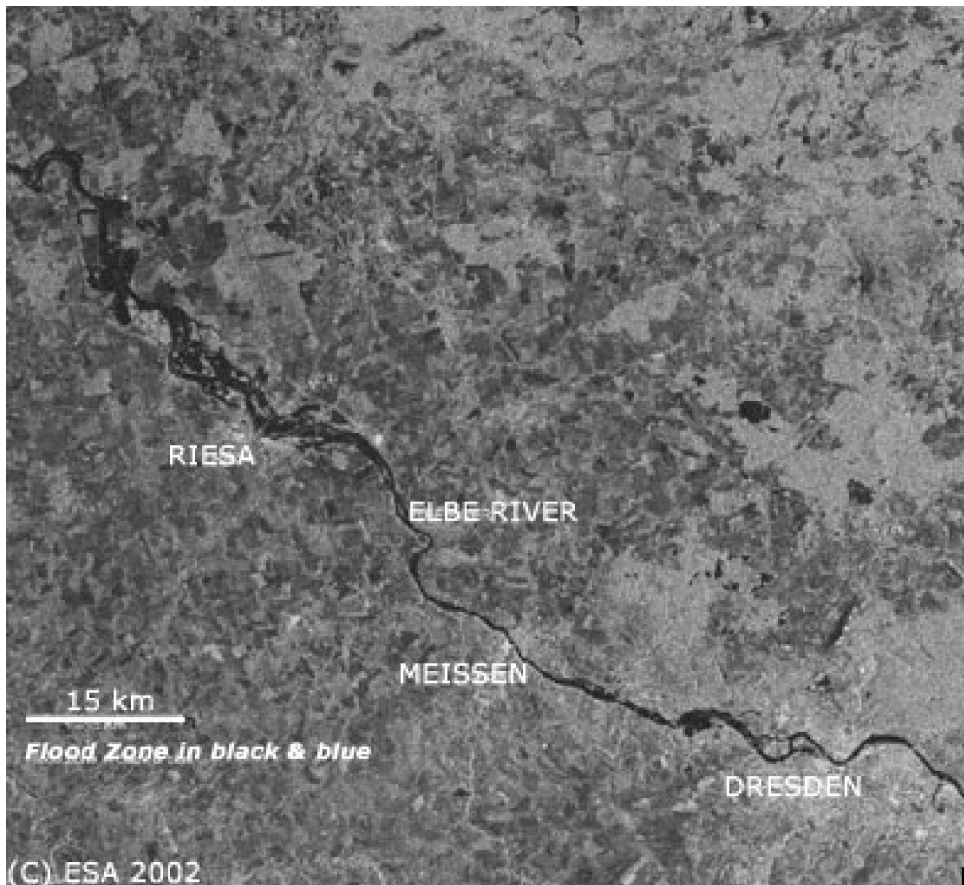


Figura 7. Imagen Envisat del 19-08-2002. Inundaciones del río Elba en Alemania.

muy oscuros las áreas inundadas, más extensas en las proximidades de la ciudad de Riesa. El ASAR al tener la posibilidad de una polarización dual mejora las imágenes de anteriores radares permitiendo cartografiar mejor las áreas inundadas.

Se ha seleccionado también otra imagen de la inundación acaecida en diciembre de 2003 y que afectó a la región de la Camargue (Francia). La imagen ha sido tomada por el satélite francés SPOT con una resolución de 20 m (figura 8). En ella se observa claramente el desbordamiento del río Ródano muy próximo a su desembocadura y cómo se produce un incremento en los niveles de agua de los humedales próximos al Mar Mediterráneo. La inundación abarca una amplia extensión al tratarse de un área muy llana. En la figura. 8 se observa que la lámina de agua invade pequeños municipios y espacios con vegetación natural y cultivos, provocando graves daños.

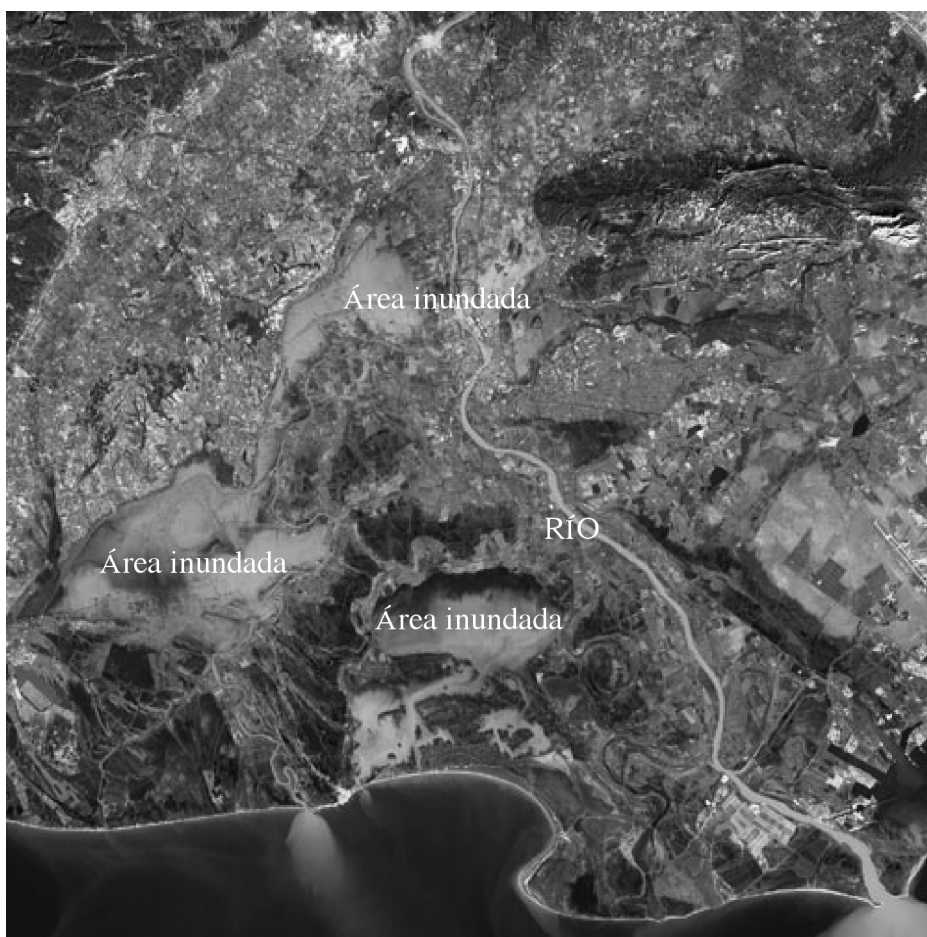


Figura 8. Imagen Spot del 7-12-2003. Extensión de las inundaciones en el valle del Ródano y La Camarga.

La teledetección no sólo permite medir los daños causados por una inundación y cartografiar la amplitud del área afectada, sino que también se puede utilizar para prevenirlas, inventariando las áreas de riesgo y, en unión con satélites meteorológicos, medioambientales y oceanográficos, ver sus posibles escenarios.

APLICACIONES A ESCALA GLOBAL

6. El fenómeno ENOS (El Niño Oscilación Sur)

El estudio de las corrientes en el Pacífico sur ha mejorado notablemente gracias a la aportación ofrecida por los satélites espaciales. En concreto son dos los parámetros claves para conocer este fenómeno: la temperatura superficial del mar y la altimetría de la misma. Esa información es ofrecida diariamente por un conjunto de sensores remotos. La temperatura superficial del mar es registrada por varios satélites, pero los que tienen una cobertura global son el NOAA-n AVHRR y el MODIS. Respecto a la topografía del océano, uno de los sensores que ofrece mayor precisión (2 cm) es el radar altimétrico TOPEX/Poseidón. Existe una gran documentación visual en Internet con una gran calidad en las imágenes elaboradas, por ello, se ha preferido citar las direcciones más útiles para conocer e ilustrar este fenómeno.

Todos los sensores remotos pasivos y activos han permitido conocer mejor las corrientes marinas y, con ellas, los múltiples aspectos del amplio campo de la hidrología.

La temperatura del mar tiene grandes interrelaciones con la localización de los principales bancos de pesca y sus fluctuaciones espacio-temporales son esenciales para la economía de muchos países. Además, dicho parámetro, que repercute en las variaciones de la altimetría del mar, ha revelado las interconexiones entre el océano y la dinámica atmosférica terrestre y, también puede ser la voz de alarma de la retirada de la pesca en un lugar determinado y el detonante de un ciclo hidrológico-atmosférico concreto: El Niño. Este fenómeno del Pacífico Sur, periódico y no cíclico, ha sido bien estudiado en España por Capel (1999).

Uno de los puntos clave para cualquier gestión es conocer la duración e intensidad de los episodios adversos como los que acompañan al Niño: retirada de la pesca en las costas de Chile-Perú, calentamiento anómalo de la superficie del mar, hundimiento de la pendiente termohalina, formación de bajas presiones frente a las costas chilenas que generan fuertes lluvias y, todos los procesos opuestos en la fachada australiana del Pacífico. Sin embargo, al igual que sucede con otros aspectos de la climatología, como por ejemplo las sequías, hasta ahora podemos analizar los episodios pasados, detectar el inicio de un fenómeno, pero, por desgracia seguimos sin poder prever cuándo termina. En el caso de las oscilaciones del Océano Pacífico y gracias al preciso conocimiento del Niño durante el episodio de 1997-1998, sí podrá determinarse en un futuro similitudes de intensidad y duración según sean los

valores de temperatura y altimetría del mar; aunque siempre quedará un margen de incertidumbre.

4. CONCLUSIONES

La información obtenida por los satélites meteorológicos, oceanográficos, medioambientales, radares y sensores hiperespectrales ha permitido nuevos campos de investigación en hidrología y, sobre todo, facilitan datos espaciales difíciles de obtener por otros métodos. Las más de tres décadas de recogida de imágenes en casi toda la Tierra proporcionan una valiosa información para estudios multitemporales, con lo que puede analizarse la evolución de numerosos espacios acuáticos.

Las imágenes Landsat revelan retrocesos importantes de grandes masas de agua, como es el caso del mar Aral en Asia Central y, otros de menor escala, pero igualmente significativos, en numerosos humedales del centro peninsular español: Gallocanta y Las Tablas de Daimiel. En todos estos casos la disminución de las láminas de agua se deben a la sobreexplotación de los recursos hídricos y no a variaciones significativas en las tendencias de precipitación. Uno de los ejemplos más notables es la transformación del suelo en Almería a expensas de las aguas subterráneas. El análisis detallado de dichas escenas también permite cartografiar otros parámetros significativos en las láminas de agua: contaminación, salinización, cambios en la profundidad y extensión de la vegetación hidrófila.

Entre las aplicaciones de la teledetección, en tiempo real, destaca el seguimiento de corrientes oceánicas y su relación con otros factores naturales y socioeconómicos. La máxima interrelación entre estos factores se produce en el fenómeno ENSO.

Los datos de satélites medioambientales son una herramienta cada vez más utilizada en la evaluación de riesgos naturales y en la cartografía de las áreas afectadas. Los dos casos recientes de inundaciones en Europa muestran claramente la utilidad de las imágenes.

5. BIBLIOGRAFÍA

- CAPEL MOLINA, J. J. (1999): *El Niño y el sistema climático Terrestre*. Ed. Ariel. Barcelona. 131 pp.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, M.^a P.; PÉREZ GONZÁLEZ, M.^a E. y SANZ DONAIRE, J. J. (2001): «Variación estacional de los niveles de agua en la llanura de Gallocanta (Zaragoza-Teruel)». Rosell y Martínez Casanovaa (coord.). Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global, Ed. Universidad de Lleida, y Asociación Española de Teledetección, 2001, pp. 338-342.
- GRACIA PRIETO, F. J. (1993): Fisiografía de la laguna de Gallocanta y su cuenca. *Xiloca*, 11: 177-204.
- O.N.U. (2005): *Un planeta, mucha gente: Atlas de un Medio Ambiente que cambia*. PNUMA; 300 pp.

- PÉREZ GONZÁLEZ, M.^a E. y GARCÍA RODRÍGUEZ, M.^a P. (2000): Estudio microclimático de la laguna de Gallocanta. En AGUADO, I. y GÓMEZ, M. (Edits) *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*. Universidad de Alcalá de Henares, Madrid: 102-114 pp.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M.^a E. y GARCÍA RODRÍGUEZ, M.^a P. (2001): Estudio de la depresión intraibérica Guialguerrero-Gallocanta mediante el sensor TM». *Revista de Teledetección* 15: 27-37 pp.
- RIAZA, A.; GARCÍA-MELÉNDEZ, E.; SUÁREZ, M.; HAUSOLD, A.; BEISL, U. y VAN DER ERFF, I. (2003): Marcadores climáticos minerales en lagos fósiles con datos hiperspectrales DAIS 7195 (Tablas de Daimiel, La Mancha) en *Teledetección y desarrollo Regional* (PÉREZ y MARTÍNEZ, coord.). X Congreso Nacional de Teledetección. Cáceres; 431-434.

DIRECCIONES DE INTERNET

http://www.jason.oceanobs.com/html/applications/enso/nino1997-98_es.html

http://www.wmo.ch/web/wcp/clips2001/html/el_nino_updates.html

<http://www.proteccioncivil.gov.ar/nino.htm>

http://www.senamhi.gob.pe/el_nino/

<http://mitosyfraudes.8k.com/Calen/ENSO.html>

<http://www.eurimage.com>

<http://www.spotimage.fr>