

**GRUPO DE TRABAJO N° 27
TELEDETECCIÓN Y SENSORES AMBIENTALES
DOCUMENTO FINAL**

Relatores:

Adolf Comerón i Tejero
E.T.S.I.T. de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña

Fernando Davara Rodríguez
Vicepresidente de la Fundación PREDENA

Victoriano Moreno Burgos
INDRA ESPACIO. San Fernando de Henares (Madrid)

Ramón Prats i Vime
ADASA SISTEMAS S.A. (Grupo Aguas de Barcelona)

Colaboradores Técnicos:

Michaël. Sicard, Francesc Rocadembosch, Alejandro Rodríguez, Constantino Muñoz y David García - Vizcaíno
E.T.S.I.T. de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña

Daniel Carrasco Díaz y Julia Pecci López
INDRA ESPACIO. San Fernando de Henares (Madrid)

Antonio de la Cruz de la Calle
Centro de Satélites de la Unión Europea. Torrejón de Ardoz (Madrid)

Joan Jorge, Antoni Riba y Joaquín J. Edo
Escuela Politécnica Superior de Manresa. Universidad Politécnica de Cataluña

José Luis Mata Vigil-Escalera, Andres Roa, José María Muñoz y Luis Alvarado
Red Eléctrica de España (REE)

Teo Vitoria, Roberto Jarauta, Antonio Vallés y Pilar Herrera
Asociación de la Industria Navarra (AIN)

Jesús Alpuente Hermosilla y Pablo Luis López Espí
Escuela Politécnica Superior. Universidad de Alcalá

Irene de Bustamante Gutiérrez
Facultad de Ciencias. Universidad de Alcalá

Carlos Hernández Medina y Cristóbal López López
Energías Renovables y Desarrollos Sostenibles (EREDA)

Coordinador:

José Javier Martínez Vázquez
Comité de Ingeniería y Desarrollo Sostenible. Instituto de la Ingeniería de España

OBJETIVOS DEL GRUPO

En el seno del V Congreso Nacional de Medio Ambiente se desarrolló el grupo de trabajo denominado: "Sensores de datos medioambientales y sistemas de teledetección", en el que se expusieron algunas aplicaciones de los sistemas de teledetección y los sensores de datos medioambientales como por ejemplo la búsqueda de recursos naturales, la repoblación forestal, el estudio de las diferentes capas de la atmósfera o la estimación de la humedad del suelo. Sin embargo, existen también otras aplicaciones de estos sistemas de gran interés en el ámbito del medio ambiente: Estudios batimétricos y de costas, análisis de la salinidad de los mares, detección de acuíferos, localización de residuos enterrados, etc, que vienen siendo objeto de estudio en sucesivas ediciones del congreso.

Puede, por tanto, entenderse este grupo de trabajo como continuación de aquéllos que se han desarrollado durante los Congresos Nacionales del Medio Ambiente 5, 6 y 7 y como demostración palpable de que los sistemas de teledetección y las redes de sensores de datos medioambientales constituyen una herramienta útil en la conservación del medio natural.

Otro objetivo importante es divulgar diferentes aspectos de estos dispositivos como pueden ser sus formas de utilización y eficacia hasta datos de índole técnica o científica, difícilmente accesibles para el estudioso, ya que son escasas las publicaciones en este área.

Por último, reseñar que a través de sucesivos congresos se va consolidando un grupo de trabajo dedicado a los sistemas de teledetección y a los sensores de datos medioambientales que reúne por un lado a representantes de empresas del sector electrónico y de las comunicaciones y del mundo universitario, como fuentes del desarrollo de nuevos equipos y, por otro lado, de las diferentes administraciones como principales usuarios de estos dispositivos.

RELACIÓN DE PONENCIAS:

INTRODUCCIÓN: LA NUEVA INTELIGENCIA AMBIENTAL Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE.

José J. Martínez Vázquez
Coordinador

RED EUROPEA DE LÍDARES AVANZADOS: EARLINET.

M. Sicard, F. Rocadembosch, A. Comerón, A. Rodríguez, C. Muñoz y D. García-Vizcaíno
E.T.S.I.T. de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña

COOPERACIÓN DE SENSORES “IN SITU” Y TELEDETECCIÓN ESPACIAL MEDIANTE TECNOLOGÍAS WEB PARA APLICACIONES MEDIOAMBIENTALES: EL PROYECTO COPS (COOPERATING EARTH OBSERVATION SENSORS)

V. Moreno, D. Carrasco y J. Pecci
INDRA ESPACIO. San Fernando de Henares (Madrid)

TECNOLOGÍAS GEOESPACIALES PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE DESASTRES MEDIOAMBIENTALES.

F. Davara Rodríguez () y A. de la Cruz de la Calle(**)*
() Fundación PREDNA*
*(**) Centro de Satélites de la Unión Europea (EUSC). Torrejón de Ardoz (Madrid)*

EL SEGUIMIENTO AUTOMÁTICO DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LAS AGUAS COSTERAS.

R. Prats i Vime
ADASA SISTEMAS S.A. (Grupo Aguas de Barcelona)

ANÁLISIS DE ZONAS DE RIESGO CERCA DE ACTIVIDADES MINERAS: EL PROYECTO e-ECORISK.

J. Jorge, A. Riba y J. J. Edo
Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa. Universidad Politécnica de Cataluña

SENSORES ÓPTICOS PARA LA MEDIDA “IN SITU” DE NITRATOS EN AGUAS RESIDUALES

*J. Alpuente Hermosilla, P. L. López Espí e Irene de Bustamante Gutiérrez
Universidad de Alcalá*

UTILIZACIÓN DE UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLES) PARA INSPECCIÓN DE LINEAS AÉREAS

José Luis Mata Vigil-Escalera, Andres Roa, José María Muñoz y Luis Alvarado ()
Teo Vitoria, Roberto Jarauta, Antonio Vallés y Pilar Herrera (**)*

() RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA (REE)*

*(**) ASOCIACIÓN DE LA INDUSTRIA NAVARRA (AIN)*

SEGUIMIENTO AMBIENTAL DE DERRAMES DE PETRÓLEO MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE

*C. Hernández Medina y C. López López
Energías renovables y desarrollos sostenibles (Ereda)*

RESUMEN DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN: LA NUEVA INTELIGENCIA AMBIENTAL Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE

José J. Martínez Vázquez. Coordinador

*Vocal de la A.E.I.T. en el Comité de Ingeniería y Desarrollo Sostenible
Instituto de la Ingeniería de España*

El término Inteligencia Ambiental está referido a aquellos entornos en los que manejaremos dispositivos que nos faciliten la actividad en los distintos ambientes en los que se desenvuelve la vida diaria: el doméstico, el laboral, el social y por supuesto el medio ambiente.

Cuando se pongan en marcha los ambientes inteligentes, viviremos rodeados por redes de dispositivos que nos proporcionarán información, comunicación, servicios o entretenimiento, allí donde nos encontremos. Es más, estos dispositivos se amoldarán a nuestros usos y costumbres, e incluso, se anticiparán a nuestras necesidades y los encontraremos integrados en todo aquello que nos rodea: en la ropa, en los muebles, en los electrodomésticos, en los coches, en las oficinas, en las plazas públicas, etc.

Básicamente habrá dos clases de equipos: Las tarjetas inteligentes basadas en microprocesador, que tendrán capacidad de cálculo y almacenamiento de la información y los dispositivos sensibles que responderán a los estímulos del exterior con determinadas informaciones almacenadas de antemano en su interior. Ambos tipos de dispositivos estarán dotados de transceptores para el intercambio de información diversa vía radio.

Por ejemplo, en un ambiente inteligente, las etiquetas sensibles integradas en la ropa serán las que determinen el programa de lavado, cuando alguien cargue la lavadora en su casa. Estas etiquetas indicarán a la tarjeta inteligente integrada en el electrodoméstico datos como la temperatura máxima que puede soportar nuestra colada, el tiempo de prelavado, la clase de detergente, etc.

Los estudios que se están llevando a cabo actualmente sobre este nuevo área de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones se centran en los siguientes aspectos:

Computación ubicua. Sistemas con capacidad de cálculo, procesamiento de la información y aprendizaje, integrados en dispositivos, objetos y entornos de uso diario.

Comunicación ubicua. Integración en estos sistemas de la capacidad de comunicación entre ellos y con otros sistemas que les rodean para intercambiar información, por ejemplo, sensores que proporcionen datos sobre el entorno.

Interfaces inteligentes. Aquéllos que permitan a los sistemas relacionarse con las personas de diferentes modos y de forma personalizada y natural.

Tecnología transparente. Tecnologías de procesado de datos que ofrezcan al usuario funcionalidades atractivas y eficaces para el desarrollo de la vida diaria. Estas tecnologías serán transparentes para el usuario, dicho coloquialmente, invisibles y por tanto, no intrusivas.

Mientras el reto de la inteligencia ambiental es conseguir, en un futuro más o menos próximo, la interconexión de cientos quizás miles de pequeños dispositivos basados en microprocesador, que reciben información de multitud de tarjetas sensibles, para la ejecución conjunta de una acción, el estado, a día de hoy, de los ambientes inteligentes está muy relacionado con los sistemas informáticos distribuidos y los terminales móviles.

Un sistema distribuido se define como un conjunto de ordenadores interconectados a través de una red de comunicaciones para coordinar los procesos de una aplicación informática. La aparición de Internet ha favorecido en los últimos años la puesta en marcha de nuevas técnicas para el desarrollo de sistemas distribuidos. La más habitual hasta ahora, la arquitectura cliente – servidor, está dejando paso a otros sistemas como el **Grid** o **Pear to Pear (P2P)**, que son distribuidos, heterogéneos y dinámicos. El hecho de que sean distribuidos, implica que no están ligados geográficamente a un punto concreto. El concepto de heterogéneo tiene que ver con la amplia variedad de ordenadores, los diferentes enlaces físicos, los distintos tipos de sistemas operativos, etc. y la condición de dinámico viene de su capacidad para adaptarse rápidamente a los cambios: número de terminales conectados, nuevos tipos de dispositivos o máquinas, nuevas aplicaciones, etc. Todo esto no hace sino redundar en la ubicuidad del sistema, más aún si se tiene en cuenta la movilidad de los terminales: **2.5 G**, **3G** y **Bluetooth** en telefonía móvil, entornos **Wifi** y **Wimax** para ordenadores portátiles pasando por las **PDA's**, por citar los casos más conocidos.

Las redes **Grid**, utilizan un software de aplicación (**middleware**) que permite a los clientes y servidores comunicarse por medio de diálogos de peticiones y respuestas, salvando así el carácter heterogéneo de la red. Las peticiones son siempre iniciadas por el cliente, que no tiene constancia de la posición del servidor, siendo esto último el concepto clave de este tipo de procesamiento distribuido. La idea consiste en admitir que el procesado de información es un servicio más como pueden ser el teléfono, el gas o la electricidad. Cuando alguien está en su casa y enciende la luz, no le preocupa desde donde le suministran la energía eléctrica. Lo único que le interesa es que le den servicio. De la misma manera, cuando alguien desde su ordenador personal intenta obtener una información, ejecutar una aplicación informática o procesar unos datos, no le interesa saber que servidor le está atendiendo, sólo quiere que le den un servicio. El término "**Grid Computing**" viene de la denominación inglesa, **Grid**, para redes de distribución de energía eléctrica. De esta forma, igual que existe un servicio de suministro de energía eléctrica soportado por una red de distribución de energía eléctrica, podrá existir un servicio de suministro de "energía computacional" a través de una gran red de computadoras.

El proyecto **Earth System Grid (ESG)**, pretende facilitar el acceso a los datos y modelos de simulación para el estudio del clima global que están almacenados en los ordenadores de diversas instituciones americanas de California, Tennessee, Colorado y Nuevo México. El objetivo de este proyecto es simplificar el acceso a estos datos, de gran utilidad para la comunidad científica, y hacerlo tan sencillo como entrar en una página web. Hasta ahora, este tipo de actividad estaba restringida a especialistas con un equipamiento específico para la búsqueda y el análisis de la información contenida en cualquiera de los ordenadores que forman la red. De otra forma, era inevitable el paso por procesos previos, que podríamos calificar de tediosos, para llegar a esta documentación. El proyecto **ESG** está en marcha desde principios de esta década y funciona a través de un portal en Internet que permite la búsqueda interactiva de contenidos. Otras características del portal **ESG** son: control de seguridad y de acceso

por medio de un registro de usuarios, formatos de datos normalizados, velocidades de transmisión a elegir por el usuario y uso del lenguaje **XML** para la búsqueda, utilización, análisis, gestión y distribución de datos.

Las redes **P2P** intentan resolver el problema que surge cuando la cantidad de información que se desea trasegar a través de Internet es grande. En estos casos resulta tan caro como lento emplear la arquitectura tradicional cliente – servidor. Las redes **P2P** aprovechan el enorme potencial de los recursos no utilizados por el ingente número de terminales que en un momento determinado están conectados a Internet. La diferencia entre un servidor y un ordenador personal hay que buscarla, hoy en día, en cuestiones relativas a la gestión de red, fiabilidad o ancho de banda de entrada y salida que son capaces de procesar, pero no en cuanto a velocidad de procesamiento o capacidad de almacenamiento de la información. De acuerdo con esto, en los sistemas **P2P** los ordenadores clientes se convierten, a su vez en servidores de otros clientes, pudiendo crecer así la red indefinidamente. Si lo que se va a distribuir es información, esta se fragmenta previamente. Los clientes solicitan del servidor y de otros clientes la transferencia de la información, convirtiéndose cada cliente en servidor de aquel fragmento de la información que se le ha trasvasado. Los sistemas **P2P** pueden también emplearse para compartir capacidad de procesamiento. Las aplicaciones y protocolos **P2P** pueden utilizar el exceso de potencia de cálculo y almacenamiento de los terminales de usuario para crear sistemas donde estos realicen todo el procesamiento en lugar de los servidores. La última generación de redes **P2P**, denominadas **P2P estructuradas**, organiza los nodos de la red con una determinada estructura, siendo el propio sistema el que determina y gestiona la situación de los datos. Las redes estructuradas presentan, con respecto a las no estructuradas, algunas ventajas como por ejemplo una notable reducción en los costes de implantación y explotación, así como un incremento de la seguridad en los enlaces.

Entre las posibles aplicaciones medioambientales de las redes **P2P** podríamos señalar aquí la distribución de las informaciones obtenidas vía satélite mediante sistemas de teledetección. Los datos fluirían desde los **hubs** terrestres a través de redes **P2P**, a distintos puntos del globo para su análisis posterior, resultando mucho más económico que la utilización de enlaces o circuitos punto a punto dedicados. Por otra parte, los avances en la fabricación de microsensores de bajo coste basados en microprocesador y equipados con transceptores de radio dará lugar a la aparición de redes inalámbricas para protección y control medioambiental, con un número elevado de dispositivos de este tipo que generarán grandes cantidades de información y cuyo manejo en tiempo real puede resultar muy útil. La estructuración de redes **P2P** podría ser una respuesta rápida y económica a esta situación, con la mejora añadida de que la información proporcionada por las redes de microsensores puede transmitirse no sólo a un puesto central sino a distintos puntos para su análisis.

En otro orden de cosas, hay que indicar que esta reflexión no sería completa sin tener en cuenta el posible impacto ambiental de los nuevos ambientes inteligentes. Desde este punto de vista se exponen a continuación algunas consideraciones de interés:

Al igual que ocurrió con las sucesivas generaciones de microprocesadores y ordenadores personales, se pasará de una generación a otra de dispositivos sensibles y tarjetas inteligentes sin solución de continuidad y antes de que estos sistemas cumplan su periodo de vida útil en funcionamiento. Así pues es previsible un notable incremento en la producción de chatarra electrónica. No obstante, parece lógico pensar que paralelamente

se producirá una potenciación de las técnicas de reciclado tanto de materiales como de componentes y dispositivos.

También, dado que algunos de estos equipos van a funcionar muy próximos a nuestro organismo y que la densidad de potencia crece de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, es muy probable que, a pesar de los bajos niveles de potencia radiada por estos sistemas, se superen los límites establecidos en la normativa.

Finalmente, reseñar que se producirán situaciones hasta ahora inéditas. Imaginemos un almacén de logística en donde miles de productos esperan ser inventariados. Una tarjeta inteligente dará la orden para que los dispositivos sensibles instalados en los productos transmitan sus datos y en cuestión de décimas de segundo el resultado del inventario estará en el ordenador del contable. La comodidad será tremenda, no habrá necesidad de ir leyendo uno a uno los códigos de barras de los productos almacenados, sin embargo, el entorno a considerar se ha vuelto incontrolado, con la consiguiente rebaja en los niveles contemplados en las normas.

Estas limitaciones en los niveles normalizados, que acaban de mencionarse, podrían tener una repercusión directa sobre los pliegos de condiciones de los proyectos de ingeniería preceptivos para la construcción y ejecución de ambientes inteligentes.

Por último y a modo de conclusión, conviene señalar que la nueva inteligencia ambiental, al igual que cualquier otro área de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, tiene con respecto al medio ambiente dos vertientes bien diferenciadas. Por un lado, introduce mejoras en los sistemas y dispositivos de protección y control del medio ambiente a través de las nuevas técnicas para el desarrollo de aplicaciones distribuidas basadas en Internet y la movilidad de los terminales. Por otro lado, ocasiona algunos riesgos de impacto ambiental causados por el propio funcionamiento de esta nueva tecnología.

RED EUROPEA DE LIDARES AVANZADOS: EARLINET

Adolfo Comerón, Michaël Sicard, Francesc Rocadenbosch, Alejandro Rodríguez, Miguel Angel López, Constantino Muñoz, David García-Vizcaíno

Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Campus Nord UPC, Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona

Los aerosoles atmosféricos (partículas sólidas y gotas en suspensión) tienen un efecto importante en el balance radiativo global. Según su composición, pueden tener efectos predominantes de reflexión de la radiación solar y del infrarrojo térmico, o bien de absorción de la misma, por lo que pueden contribuir a disminuir o aumentar la diferencia entre la radiación incidente y la reflejada por el sistema Tierra-atmósfera. Además de este efecto directo, tienen un efecto indirecto mediante la modificación de las propiedades microfísicas de las nubes y, por tanto, de su cantidad y de sus propiedades radiativas. Al mismo tiempo, existen grandes incertidumbres en cuanto a las distribuciones de aerosoles a nivel global y a su composición, por lo que resulta difícil evaluar su influencia en los modelos climáticos. En relación con esta incertidumbre suele citarse la estimación del forzamiento radiativo¹ de distintos agentes para el año 2000, respecto de 1750 (justo antes de la revolución industrial), efectuada por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático en su informe de 2001¹, resumida en la figura 1. En dicha figura se observan las grandes incertidumbre adscritas al forzamiento radiativo de los aerosoles, para el cual, en algunos casos, no existe tan siquiera una estimación razonable. Por otra parte, a corto plazo, los aerosoles influyen en la salud de los seres vivos y en los ecosistemas, con consecuencias importantes desde el punto de vista personal, social y económico. Existe, por tanto, una necesidad de instrumentos y metodologías para la

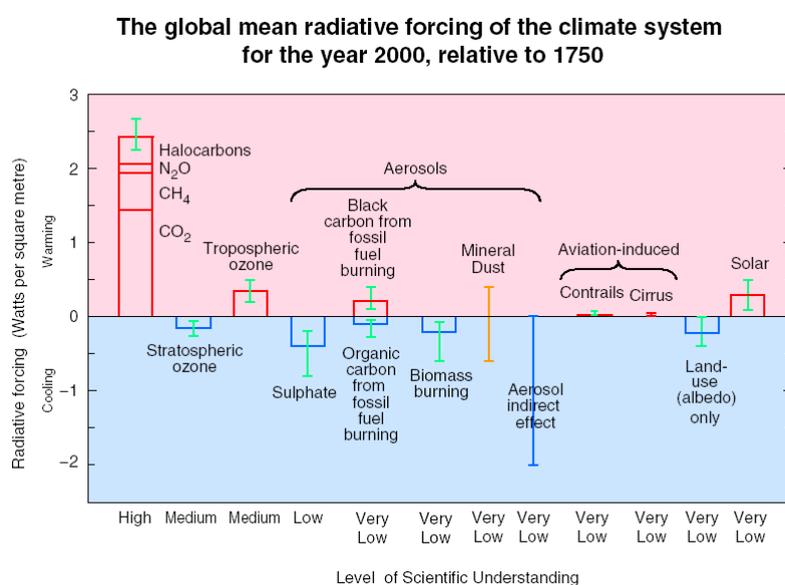


Fig. 1. Estimación del forzamiento radiativo medio global para el año 2000 en relación con 1750¹.

¹ El forzamiento radiativo se define como el “cambio en la irradiancia (solar más infrarroja (4-100 μm); en W/m^2) neta (descendente menos ascendente) en la tropopausa debido a la perturbación o introducción de un agente, habiendo dejado a las temperaturas estratosféricas reajustarse al equilibrio radiativo y manteniendo las temperaturas y el estado de la superficie y de la troposfera en sus valores sin perturbar” (ref. i, p. 353).

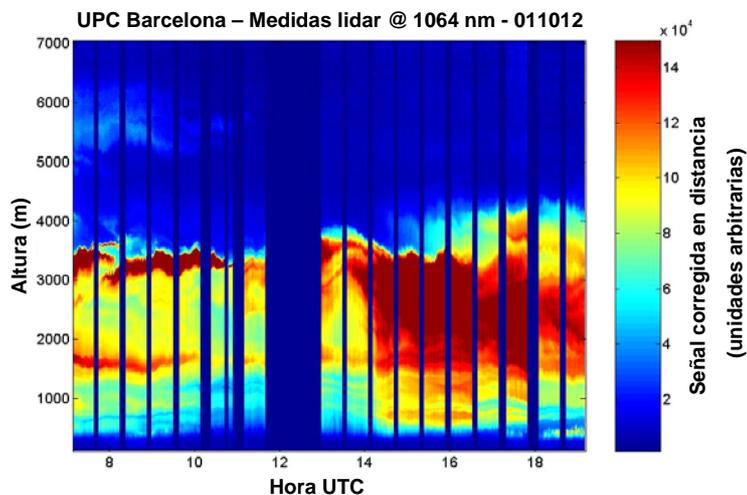
determinación de las distribuciones de aerosoles y, en la medida de lo posible, de su composición, a escalas, por lo menos, regionales y continentales.

Las determinaciones de distribuciones de aerosoles desde satélites por medios pasivos proporcionan cobertura global, pero adolecen de falta de sensibilidad a los aerosoles que se encuentran cerca de la superficie terrestre. Por otra parte, no proporcionan información detallada sobre la distribución vertical, necesaria para el estudio de fenómenos de transporte y transformación. La misma falta de resolución espacial afecta a los instrumentos terrestres pasivos, capaces de medir contenido columnar de aerosoles, como los fotómetros solares, que, además, sólo pueden funcionar de día y en ausencia de nubes.

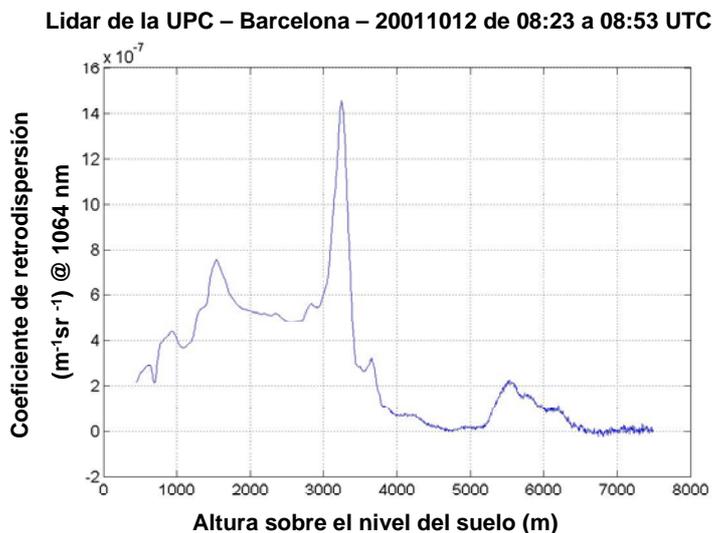
Los instrumentos activos del tipo lidar (de light detection and ranging) o radares láser, por el contrario, proporcionan información detallada sobre la distribución espacial de los aerosoles a lo largo de su línea de visión, tanto de día como de noche. Los lidares terrestres permiten obtener información sobre la distribución vertical de los aerosoles (y de otros parámetros atmosféricos) con un muestreo temporal denso (algunos son capaces de funcionar de manera continua durante largos períodos de tiempo). La figura 2 ilustra estas capacidades. La figura 2 (a) corresponde a la señal corregida en distancia (potencia retrodispersada desde una celda de resolución detectada por el fotorreceptor del lidar multiplicada por la distancia a la celda al cuadrado, aproximadamente proporcional al coeficiente de retrodispersión atmosférico) sobre la vertical del lidar en función del tiempo, y permite apreciar las estratificaciones de aerosoles y su evolución temporal; la resolución espacial es de 7.5 m y la temporal de 1 minuto. La figura 2 (b) muestra la contribución de los aerosoles al coeficiente de retrodispersión en función de la altura (resolución espacial de 7.5 m) promediado durante media hora; se aprecia la coincidencia con las estratificaciones observadas en la figura 2 (a) en el intervalo temporal entre las 8:23 y las 8:53 UTC. Incidentalmente, esta figura corresponde a medidas efectuadas en Barcelona durante una invasión de polvo del Sahara, que aportaba grandes cantidades de aerosoles en altura.

Sin embargo, las medidas de un lidar terrestre están restringidas a una localización determinada o a un área geográfica pequeña. Por otra parte, los lidares embarcados en satélites (GLAS, a bordo de ICESAT (2003), CALIOP, a bordo de CALIPSO (2006), a los que seguirán otras misiones) ofrecen cobertura global, pero con tiempo de “revisita” de un lugar dado de la decena de días.

Las redes de lidares terrestres, trabajando de manera coordinada, ofrecen a la vez, por una parte, la alta resolución temporal y vertical disponible de los instrumentos individuales y, por otra, el muestreo espacial de una zona geográfica extensa, de lo que pueden inferirse distribuciones de aerosoles cuatridimensionales (espacio más tiempo). Además, los lidares terrestres pueden ofrecer prestaciones que aún tardarán en poderse implementar en instrumentos embarcados en satélites. En mayo de 2000 empezó a funcionar, impulsada por un proyecto europeo del 5º Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Comisión Europea (contrato nº EVR1-CT-1999- 40003), la red de lidares EARLINETⁱⁱ (European Aerosol Research Lidar Network to Establish an Aerosol Climatology). EARLINET se inició con 21 estaciones lidar distribuidas sobre Europa.



(a)



(b)

Fig. 2. (a) Evolución temporal de la señal corregida en distancia (escala de color) sobre la vertical del lidar. (b) Contribución de los aerosoles al coeficiente de retrodispersión de la atmósfera. El ejemplo corresponde a las medidas efectuadas por el lidar de la Universidad Politécnica de Cataluña el 12 de octubre de 2001, durante una invasión de polvo sahariano con grandes concentraciones de aerosol en altura.

Desde el final del proyecto de 5º programa marco, la red ha continuado funcionando como una asociación voluntaria de organismos de investigación con interés en los aerosoles atmosféricos y consta, en la actualidad, de 28 estaciones con la distribución geográfica de la figura 3 (en algunas localizaciones hay más de una estación)².

² En España hay tres estaciones de la red: Barcelona (Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones), Madrid (CIEMAT, Departamento de Medio Ambiente, Unidad de Contaminación Atmosférica), Granada (Universidad de Granada, Centro Andaluz de Medio Ambiente).

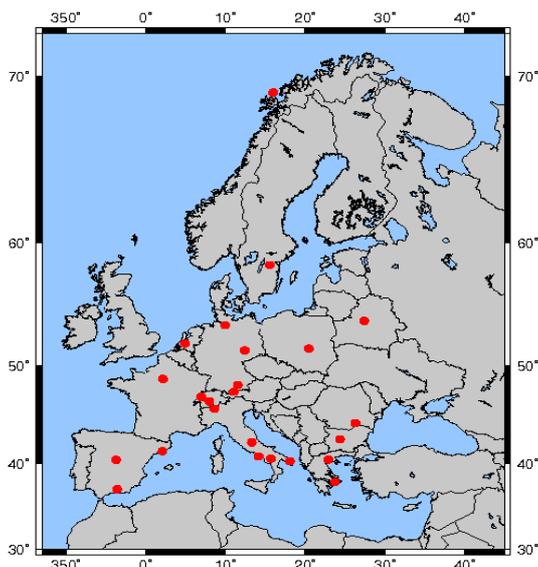


Fig. 3. Distribución geográfica de los lidares de la red EARLINET.

EARLINET ha permitido obtener el conjunto de datos más extenso hasta la fecha sobre la distribución espacio-temporal de aerosoles a escala continental.

Desde marzo de 2006, la red se encuentra respaldada por la Acción Coordinada EARLINET-ASOS del 6º Programa Marco (contrato nº 025991 (RICA)), cuya finalidad es mejorar la infraestructura de EARLINET en cuanto a cobertura espacial y temporal, calidad del sistema de observación completo y rápida disponibilidad de los datos en un formato estándar. Actualmente los lidares de EARLINET presentan una gran variedad de características y capacidades de medida.

Una de las finalidades de EARLINET-ASOS es la optimización de los instrumentos y la definición de lidares avanzados capaces de funcionar de

manera autónoma y recoger información suficiente para llegar a determinar con resolución espacial los parámetros ópticos atmosféricos (coeficientes de retrodispersión y de extinción) asociados a los aerosoles a las longitudes de onda empleadas por el lidar, así como las propiedades microfísicas (concentración, radio efectivo de las partículas, índice de refracción complejo,...) de los aerosoles detectados. La combinación en los lidares de canales de recepción del retorno elástico a las longitudes de onda de emisión y de canales para el retorno de la radiación desplazada por efecto Raman por el nitrógeno atmosférico permite la determinación de los parámetros ópticos sin necesidad de suposiciones adicionalesⁱⁱⁱ; por otra parte, la utilización de, por lo menos, tres longitudes de onda en emisión (por ejemplo, la longitud de onda fundamental a 1064 nm del láser de Nd:YAG y las de sus armónicos doble y triple, a 532 nm y 355 nm respectivamente, obtenidas mediante multiplicación de frecuencia en cristales no lineales) y de cinco en recepción (los retornos elásticos a las longitudes de onda de emisión y los retornos a dos longitudes de onda desplazadas por efecto Raman bajo la excitación de dos de las longitudes de onda de emisión), permite la inversión de las propiedades microfísicas^{iv}. Por otra parte EARLINET-ASOS recoge y extiende las metodologías de control de calidad de material^v y programas^{vi,vii} establecidas durante el proyecto del 5º Programa Marco.

EARLINET, en su estado actual y con las mejoras propiciadas por EARLINET-ASOS, pretende contribuir de manera significativa a la evaluación del efecto de los aerosoles atmosféricos en el medio ambiente Europeo y global, servir de apoyo a futuras misiones de satélites de observación de la atmósfera y ser la semilla de una futura red de lidares de ámbito mundial dentro de Sistema de Sistemas de Observación Global de la Tierra (GEOSS).

Referencias

[i]. IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001. Puede descargarse gratuitamente de http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm.

[ii]. <http://www.earlinet.org>

[

[iii]. A. Ansmann, M. Riebesell, and C. Weitkamp, "Measurement of atmospheric aerosol extinction profiles with a Raman lidar", *Opt. Lett.* vol. 15, 13, pp. 746-748, Julio de 1990.

[iv]. C. Böckmann, I. Mironova, D. Müller, L. Schneidenbach, R. Nessler, "Microphysical aerosol parameters from multiwavelength lidar", *J. Opt. Soc. Am. A* vol. 22, 3, pp. 518-528, Marzo de 2005.

[v]. V. Matthias et al., "Aerosol lidar intercomparison in the framework of the EARLINET project. 1. Instruments", *Appl. Opt.* vol. 43, 4, pp. 961-976, Marzo de 2004.

[vi]. C. Böckmann et al., "Aerosol lidar intercomparison in the framework of the EARLINET project. 2. Aerosol backscatter algorithms", *Appl. Opt.* vol. 43, 4, pp. 977-989, Marzo de 2004.

[vii]. G. Pappalardo et al., "Aerosol lidar intercomparison in the framework of the EARLINET project. 3. Raman lidar algorithm for aerosol extinction, backscatter and lidar ratio", *Appl. Opt.* vol. 43, 28, pp. 5370-5385, Octubre de 2004.

COOPERACIÓN DE SENSORES IN SITU Y TELEDETECCIÓN ESPACIAL MEDIANTE TECNOLOGÍAS WEB PARA APLICACIONES MEDIOAMBIENTALES: EL PROYECTO COPS (COOPERATING EARTH OBSERVATION SENSORS)

Julia Pecci López, Daniel Carrasco Díaz, Victoriano Moreno Burgos.

Indra Espacio. Calle Mar Egeo, nº4. 28830 San Fernando de Henares. jpecci@indra.es

1. RESUMEN

COPS (Cooperating Earth Observation Sensors) es un proyecto de investigación, desarrollo e innovación iniciativa de la Agencia Espacial Europea (ESA) en el que colaboran dos grupos de trabajo especialistas en aplicaciones de teledetección y sistemas (un grupo español y otro finlandés); ambos engloban entidades públicas y privadas y el conjunto está liderado por **Indra Espacio**.

Los sensores remotos y los datos adquiridos mediante redes de sensores “in situ” poseen una serie de características intrínsecas en cuanto a periodicidad temporal, resolución espacial y magnitudes medidas, etc, que ciertamente son complementarias. La tecnología actual tanto emergente como ya consolidada (redes de datos, sensor web, telecomunicaciones, interoperabilidad GIS, etc) permite acceder a los datos derivados de ambos tipos de sensores en tiempo real desde múltiples plataformas e instantáneamente comparables.

El objetivo de COPS es el de identificar y desarrollar (en modo prototipo) un conjunto de aplicaciones **innovadoras** en las que el acceso a los datos de las redes de sensores *in situ*, por parte del usuario de Teledetección, mediante plataformas **GIS** y tecnologías **sensor web** constituya una ventaja respecto a la solución actualmente existente para esa aplicación. En particular, la tecnología Sensor Web Enablement, permitirá en breve acceder a información de sensores como si se tratase de recursos web. Las aplicaciones se clasifican en varias áreas temáticas, entre ellas, una de las más importantes es la relativa **a las aplicaciones ambientales** (meteorología de alta resolución, subsidencia, agroambiente, medioambiente marino y urbano, etc).

2. INTRODUCCIÓN

COPS (Cooperating Earth Observation Sensors, referencia GSTP-RTDA-EOPG-SW-05-0002) es un proyecto de I+D de la Agencia Espacial Europea (ESA). El proyecto tiene una duración de 2 años y participa en él un Consorcio Internacional compuesto por 8 socios liderados por Indra Espacio: Space System Finland, VTT, Finís Meteorological Institute, Vaisala, Starlab, la Universitat Politècnica de Catalunya y el Instituto de Ciencias del Mar.

La idea del proyecto COPS partió de la base que los sensores remotos y los datos adquiridos mediante redes de sensores “in situ” poseen una serie de características intrínsecas en cuanto a periodicidad temporal, resolución espacial, parámetros etc, que son, en esencia, complementarias. La base de este proyecto es encontrar la plataforma única donde poner en común y procesar o analizar ambas fuentes de datos en tiempo cuasi-real o diferido. La tecnología clave a utilizar será el Sensor Web Enablement (SWE de la OGC) que permite convertir los sensores in-situ en recursos web. Gracias a esto pueden ser desarrolladas las aplicaciones COPS que se describirán más adelante.

3. OBJETIVO GENERAL DE COPS

El objetivo principal del proyecto COPS es el de identificar y desarrollar en forma de prototipos aplicaciones innovadoras en las que el uso simultáneo de los datos de ambos tipos de sensores mediante nuevas tecnologías (“**sensor web**”, especialmente) constituya una ventaja respecto a la solución actualmente existente para esa aplicación. Dichas aplicaciones pueden ser innovadoras en uno o varios aspectos: modo en el que se accede a los datos, modo en el que se realizan operaciones que hasta ahora difícilmente automatizables, generación de nuevos o mejores productos derivados de ambos tipos de datos, etc.

Las aplicaciones se clasifican en varias áreas temáticas; entre ellas, una de las más importantes es la relativa a las aplicaciones ambientales. Las áreas temáticas consideradas en este proyecto son las siguientes:

- Aplicaciones marinas
- Calidad del aire
- Meteorología de alta resolución
- Medioambiente
- Movimientos de tierra
- Seguridad
- Otros (medio rural, ingeniería civil, etc)

La ejecución del proyecto se divide en varias fases:

- 1.- Fase de identificación de aplicaciones y desarrollo teórico de las mismas, donde se definirá la arquitectura y especificaciones técnicas de las mismas.
- 2.- Fase de selección de las aplicaciones más interesantes en base a criterios de selección previamente definidos.
- 3.- Diseño de un prototipo de las aplicaciones seleccionadas.

Aunque en este documento centra la atención en los elementos que forman las aplicaciones COPS, durante el desarrollo del proyecto también se presta alta atención a la identificación y descripción de los estándares y herramientas que se han venido utilizando hasta el momento en cada una de las aplicaciones identificadas y a la situación actual de los sensores web, sea como estándares descritos por Open Geospatial Consortium , sea por otro tipo de estándares reconocidos. Existe un documento especialmente dedicado a este tema.

4. ELEMENTOS CLAVE

Son tres los elementos clave de las aplicaciones COPS: los datos de observación de la Tierra, utilizados normalmente por cualquier usuario de Teledetección; los sensores localizados *in situ* y la metodología especial para comunicarse y acceder con los sensores *in situ*. A continuación se describen en detalle cada uno de estos elementos.

A) Datos de observación de la tierra

En principio, cualquier dato de observación de la tierra (*EO: Earth Observation*) es susceptible de ser utilizado dentro de una aplicación COPS. Aunque el proyecto ha sido financiado por la ESA, es perfectamente factible el desarrollo de productos y aplicaciones que no utilicen satélites europeos o que se utilicen en combinación con otros.

Por otro lado, tampoco existen restricciones respecto al volumen de los datos ni al tipo de algoritmo o procesamiento aplicado. El satélite que tome de los datos puede ser tanto óptico multiespectral o hiperespectral, como radar, lidar, cámaras aéreas, etc.. Además, se permiten distintos niveles de procesado de los productos de observación de la Tierra como entrada a COPS (tanto imágenes en bruto, como productos derivados de estas imágenes).

Como ejemplos podemos citar: imágenes brutas de satélite de cualquier resolución espacial o espectral, mapas de usos de suelo, mapas de parámetros físicos, series temporales de imágenes, ortofotos, productos de niveles 1, 2, 3 ó 4, etc. .

B) Sensores in situ.

Este es el apartado donde más dudas se han planteado desde un principio en la ejecución del proyecto: ¿qué tipo de sensores in situ se utilizan en las aplicaciones COPS?.

En principio, casi cualquier sensor individual o red de sensores colocado sobre la superficie terrestre y que pueda dar información sobre fenómenos ambientales o antrópicos es susceptible de ser un sensor COPS: estaciones automáticas meteorológicas, boyas oceanográficas, cámaras web, circuitos cerrados de televisión, cámaras instaladas en vuelos aéreos, redes de monitorización de aguas, suelos o atmosféricos, sensores GPS, etc.

La dificultad está en la mayor o menor dificultad de hacer accesible esos datos a través de las metodologías que expondremos a continuación, que exigen ciertos condicionantes técnicos (bases de datos, lenguaje de intercomunicación, estándares GIS, etc) y tecnológicos (sistemas energéticos, telecomunicaciones, automatizaciones, etc.) a los que no todos los sensores o redes de sensores están actualmente adaptados, aunque sí las modernas redes de sensores ambientales, de auscultación, etc. Asimismo, es de destacar la nueva línea emergente de investigación relacionada con las redes de microsensores que hacen más fácil el establecimiento de redes a lo largo del territorio a bajo coste, fácilmente instalables y de bajo mantenimiento que utilizan los últimos sistemas de telecomunicaciones por satélite, móvil o radio.

Es necesario aclarar que cada institución propietaria de redes de sensores (sean públicas o privadas) poseen su propia política de acceso a los datos, estando normalmente restringidos a ciertos usos y usuarios. En COPS, un proyecto de demostración tecnológica, se considera que los datos son siempre públicos si bien ciertas aplicaciones están dirigidas justamente a los propietarios de los datos y son herramientas de gestión o toma de decisiones. No es el fin del proyecto modificar las políticas de acceso a los datos, sino facilitar su explotación en relación a los usuarios de datos de Teledetección. Es de esperar que en un futuro previsible esta tecnología tenga un gran impacto en la política y forma de manejo de los datos.

C) Servicios web y Sensores web (Sensor Web Enablement, SWE).

En este apartado se describe el modo en el que se accede a los datos de los sensores in situ y que permite el desarrollo de las aplicaciones COPS identificadas: los "Sensores web". Esta solución se basa en la nueva tecnología de Servicios Web (*Web Services*), del cual los "Sensores web" son un caso particular.

Un servicio Web es una colección de protocolos y estándares que sirven para intercambiar datos entre aplicaciones de software desarrolladas en lenguajes de programación diferentes y ejecutadas sobre cualquier plataforma utilizando como vía de comunicación Internet. La interoperabilidad se consigue mediante la adopción de estándares abiertos. Las organizaciones OASIS y W3C son los comités responsables de la arquitectura y reglamentación de los servicios Web. Para mejorar la interoperabilidad entre distintas implementaciones de servicios Web se ha creado el organismo WS-I, encargado de desarrollar diversos perfiles para definir de manera más exhaustiva estos estándares.

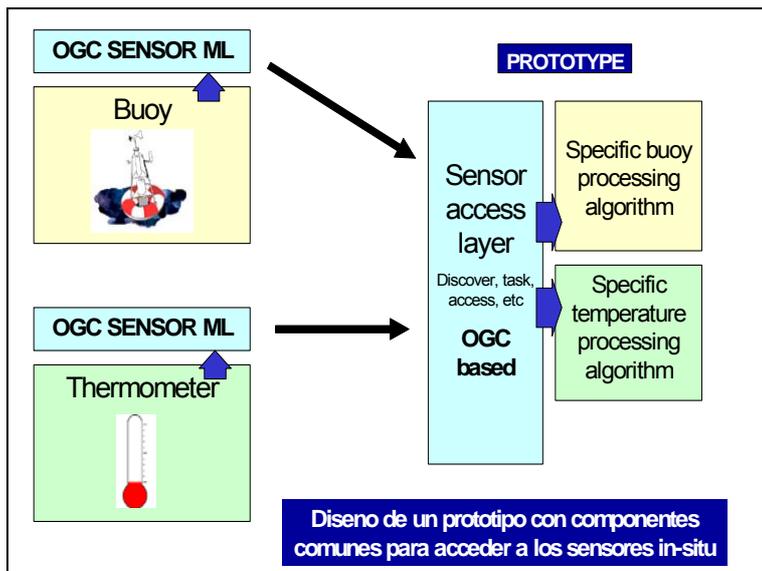


Figura 1: Diseño de metodología de acceso a sensors *in situ*

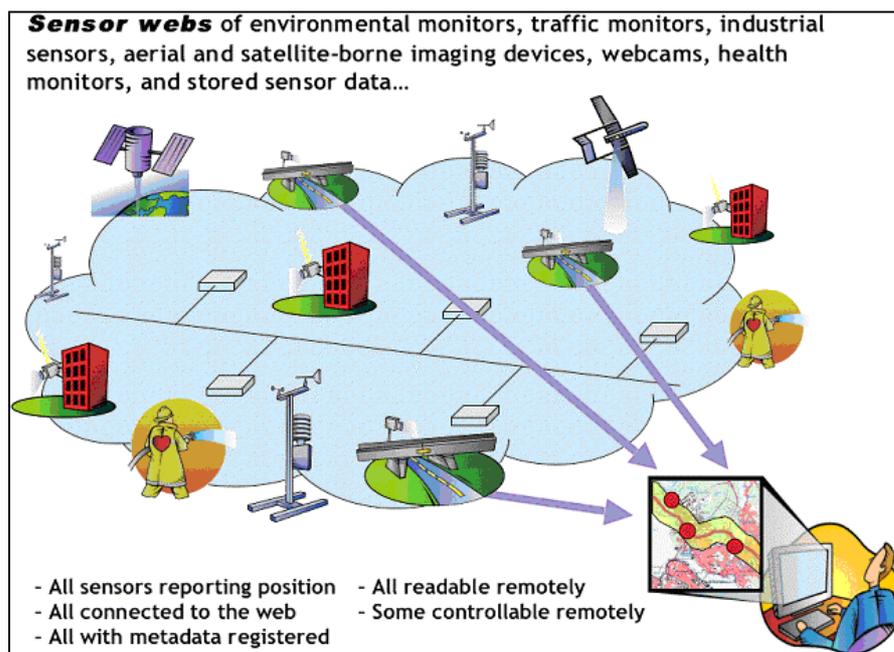


Fig: 2: Filosofía de los "Sensores web" (fuente: OGC)

Los sensores web, tal y como se ha afirmado anteriormente, son un caso particular de servicios web específicos para datos derivados sensores “in situ”. Este método convierte sensores “in situ” en recursos localizables, accesibles y controlables vía web, además de crear funcionalidades asociadas como alarmas, avisos, programaciones, etc. La gran ventaja es la de tener estos datos directamente superpuestos sobre imágenes o productos satelitales instantáneamente sobre una misma plataforma GIS, por ejemplo, y llevar a cabo los procesos convenientes sobre ambos tipos de datos.

Un modelo de “sensor web” es el desarrollado por OGC (Open Geospatial Consortium) que pretende ser un estándar internacional para el acceso a sensores “in situ” de manera universal. SensorML (Sensor Model Language) es el medio por el cual se estandariza el acceso a los datos y metadatos de los sensores. SWE es el medio por el cual las observaciones pueden ser accesibles a través de Internet, localizadas geográficamente y procesadas “bajo demanda”.

5. CÓMO COMBINAR LOS ELEMENTOS CLAVE

Una vez que se han identificado los elementos que participan en una aplicación COPS, se debe seleccionar la manera en que se deben combinar para el desarrollo del objetivo final de la misma. El consorcio COPS ha identificado las principales formas de combinar ambos datos y las ha resumido en la siguiente tabla.

COMBINACIÓN	DESCRIPCIÓN
Calibración datos EO	La calibración de los datos EO mejora su exactitud. Puede ser aplicado directamente sobre la radiometría de las imágenes o sobre productos derivados de alto nivel (nivel 2-3).
Calibración datos in situ	Igual al anterior pero aplicado sobre datos sensores <i>in situ</i>
Fusión de datos	Utilización de ambos tipos de datos para ser aplicados sobre modelos matemáticos existentes o el desarrollar de nuevos algoritmos. El objetivo es obtener mejores productos.
Representación y análisis en monitor	Chequear o validar datos EO en base a datos de campo o viceversa. Consiste en una simple representación en pantalla que ayuda al análisis sobre la marcha.
Asimilación de datos	Introducción de los datos más recientes en modelos matemáticos teóricos, con el fin de actualizar el propio modelo en tiempo real (de especial utilidad en meteorología), por ejemplo, ajustes periódicos de coeficientes en estos modelos.
Interpolación de datos espacio-temporales	Utilización y combinación de la apropiada frecuencia temporal de los datos <i>in situ</i> con la cobertura espacial de los datos EO.
Programación de satélites	Utilización de los datos in situ para decidir si tomar imágenes o no en el último momento.

6. VENTAJAS DE LA NUEVA METODOLOGÍA COPS

Las ventajas de la utilización de las metodologías COPS son obvias para cualquier usuario de datos de observación de la Tierra y en general para los especialistas que observan constantemente los cambios que se produce en la naturaleza a distintas escalas.

Las ventajas que las aplicaciones COPS proporcionan a los usuarios de Teledetección relacionados con el estudio y gestión del medioambiente, así como a los relacionados con otros ámbitos temáticos, pueden resumirse de la siguiente forma:

- Reducción del tiempo de generación de productos
- Permite alimentar cadenas de producción y de monitorización: proporciona continuidad, homogeneidad y agilidad en las cadenas de producción
- Mejora de la calidad del dato o producto obtenido de EO o in situ
- Favorece la utilización de redes de sensores no fácilmente accesibles hasta ahora (por motivos técnicos, administrativos o económicos)
- Interoperabilidad, protocolos universales y acceso vía SIG

7. LISTA DE APLICACIONES MEDIAMBIENTALES COPS

A continuación, se citan las aplicaciones más importantes que se han identificado :

- Uso de datos in situ de viento/oleaje para apoyar la detección manchas de petróleo.
- Calibración de GNSS-R costero en puertos marítimos.
- Determinación de viento mediante SAR para plataformas eólicas marinas.
- Determinación de viento en modelos de circulación de phytoplacton.

- Calibración de datos SMOS en tierra.
- Calibración de datos SMOS en mar.

- Determinación de cobertura de nieve mediante cámaras web y NOAA-AVHRR
- Determinación de la temperatura de aire para mejora de modelos hidrometeorológicos.

- Corrección atmosférica DINSAR con GPS.
- Utilización de DINSAR para calibración atmosférica radar.
- INSAR + GPS para determinación de movimiento 3-D.
- Transponder y receptor grabador para la calibración SAR.
- Calibración IAF.

- Sistema de vigilancia medioambiental en puertos.
- Control de la eutrofización en aguas continentales.

- Parametrización de la capa de estabilidad atmosférica.
- Previsión a corto plazo de la calidad del aire utilizando el modelo LAPS.
- Monitorización de aerosoles atmosféricos utilizando EO/in situ y calibración de datos EO.

- Diagnóstico y verificación de niebla 2D.
- Determinación de la altura y anchura de la capa de inversión térmica.
- Previsión de aparición de brisa y niebla marina: cobertura y densidad.

Predicción a corto plazo de condiciones meteorológicas severas.

Seguimiento de roturas en la capa de hielo en navegación ártica.

Monitorización de la estacionalidad del paisaje en bosques para fines turísticos y de gestión.

Control de ejecución y explotación de obras civiles mediante satélite.

8. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Indra Espacio realiza diariamente durante la estación invernal mapas de cobertura de nieve de la cuenca del Tajo para la confederación Hidrográfica. El control de la evolución a corto plazo de los procesos de acumulación y fusión de nieve en la cabecera de una cuenca hidrográfica es muy importante tanto para óptima gestión de los embalses como para la previsión de posibles avenidas provocadas por una rápida fusión de la nieve.

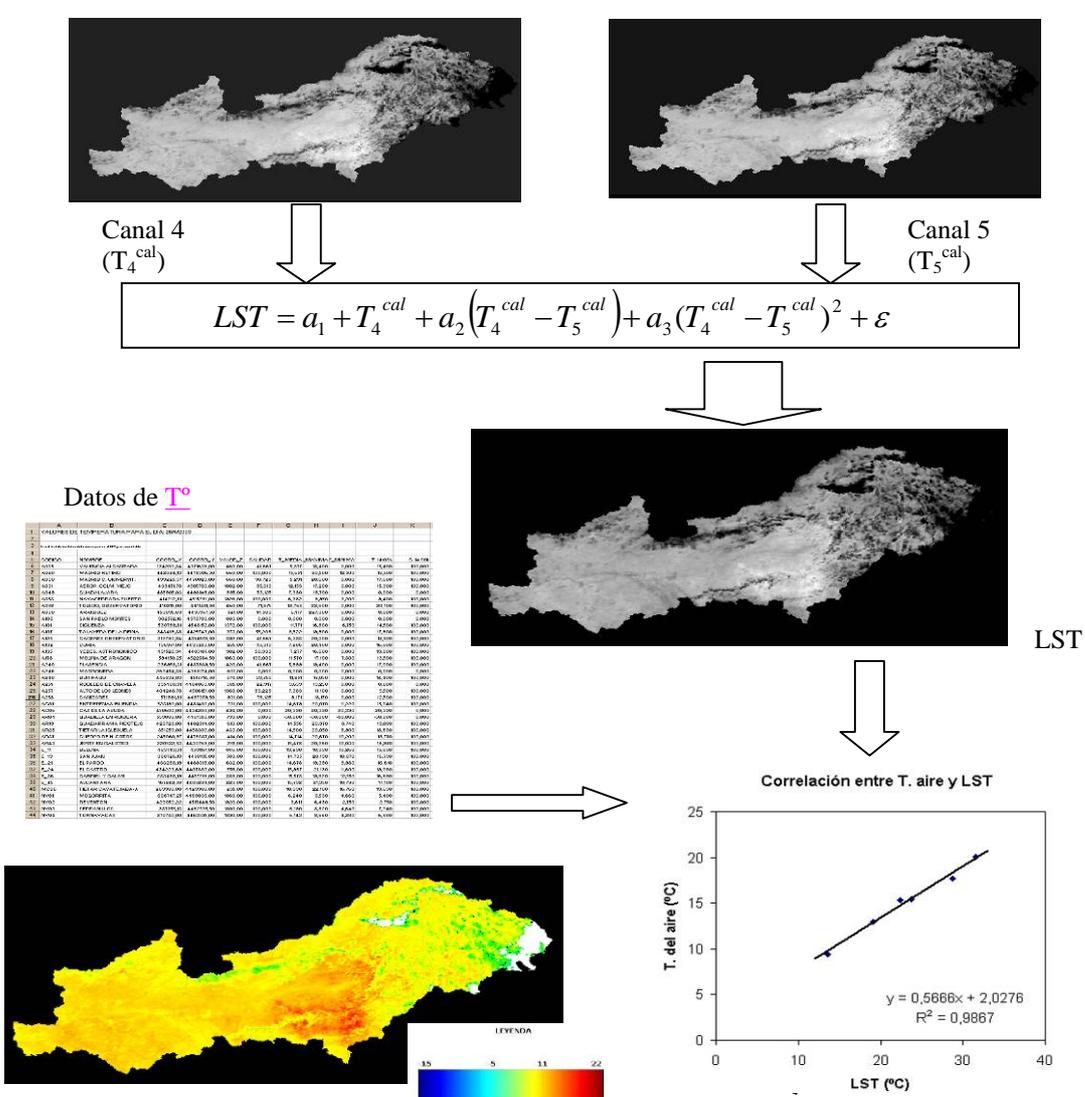


Figura 3: esquema de realización de la temperatura de aire a partir de la temperatura de superficie y datos de estaciones automáticas de la red SAIH.

Las imágenes satelitales utilizadas (NOAA_AVHRR) se reciben a través de una antena HRPT y se procesan posteriormente mediante software de teledetección para obtener información perfectamente georreferenciada sobre la temperatura de la superficie terrestre (LST) obtenida a partir de los canales térmicos de las imágenes NOAA, mediante un algoritmo de split-window.

El producto obtenido LST se correlaciona con datos de temperatura de aire obtenidos en estaciones meteorológicas que son suministrados diariamente por la Confederación Hidrográfica (red SAIH). De esta forma se obtiene un mapa de temperatura de aire de toda la cuenca. Los datos SAIH llegan al operador en Indra a través de e-mail como dato adjunto y en formato de texto tabulado. La correlación se hace de forma manual extrayendo los datos de las horas y las estaciones necesarias del documento recibido.

Este proceso manual puede eliminarse utilizando el método SWE, ya que podría visualizarse directamente los valores de las estaciones in situ sobre la imagen LST y realizar la correlación de forma más rápida y efectiva. De este modo, se elimina la interfaz no automática con la Confederación para acceder a los datos de sus estaciones meteorológicas pudiendo acceder a los datos de las mismas directamente sobre la plataforma GIS de trabajo. Esto permitirá alcanzar un elevado nivel de automatismo en la generación de los productos

9. REFERENCIAS

Página web del proyecto COPS en la ESA.

http://earth.esa.int/rtd/Projects/COPS/COPS_ESA-ESRIN.htm

Otros links interesantes:

www.indra.es

www.esa.int

www.opengeospatial.org

Referencias:

Alonso, C. y Moreno, V., 1996. Análisis multitemporal de imágenes Landsat-TM en la cartografía de las masas de hielo y nieve aplicada a la modelización hidrológica. Revista de Teledetección. 1996. 7: 35-47.

Alonso, C. y Moreno, V., 2002. *Satélites, clima y glaciares*. Investigación y Ciencia, mayo 2002, 76-83.

Pérez, L. et al, 1998. *The ASTER-ERHIN system in the winter flooding management*. Congreso Internacional de Nuevas Tendencias y Guías sobre Seguridad de Presas. Barcelona, 17 al 19 de julio.

Vincent V. Salomonson. "Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow and Sea Ice-Mapping Algorithms". MODIS Team Leader and Team Member, Earth Sciences Directorate, NASA/Goddard Space Flight Center. September 2001.

TECNOLOGÍAS GEOESPACIALES PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE DESASTRES MEDIOAMBIENTALES.

Fernando Davara Rodríguez (*) y Antonio de la Cruz de la Calle ()**

() Fundación PREDENA. Madrid*

*(**) Centro de Satélites de la Unión Europea (EUSC). Torrejón de Ardoz (Madrid)*

INTRODUCCIÓN

Los desastres medioambientales (causados por fenómenos naturales o por la mano humana) se han convertido en una amenaza cotidiana para millones de personas de toda la Tierra, con devastadores efectos sobre la vida, la economía y sociedad, así como en el medio ambiente de las zonas afectadas. A pesar de ser un fenómeno que ha venido sucediéndose a lo largo de los siglos hoy en día es un tema de mas candente actualidad, debido principalmente a la gran difusión por los medios de comunicación, las reacciones de solidaridad que provocan, al afectar con mayor intensidad a zonas poco desarrolladas, y a su carácter global, tanto por su acción, como por los diferentes actores implicados.

Como consecuencia de esta importancia surge la necesidad de evitarlos, lo que es prácticamente imposible debido a sus características, o al menos prevenirlos y minimizar su impacto. A esta necesidad se trata de responder con una adecuada gestión de los desastres, considerados ya como verdaderas crisis sociales y medioambientales, que identifique y facilite la implementación de las medidas mas adecuadas.

La importancia y número de las medidas a tomar implica que sean también numerosos los actores involucrados en la gestión de este tipo de desastres, no solamente autoridades, locales, nacionales e internacionales, y organizaciones humanitarias, sino también la sociedad civil e incluso actuaciones personales que surgen de forma espontánea.

Para conseguir la mayor eficacia posible en el empleo de estas medidas todos los actores deben disponer de los recursos y tecnologías apropiadas, entre las que destacan en nuestros días las de la información y las comunicaciones, que incluyen a las tecnologías espaciales de tan amplio uso actualmente en un amplio rango de dominios, basadas en sistemas de satélites de diversos tipos como los de comunicaciones, navegación y meteorología.

En este documento se trata de resaltar el papel creciente de una de estas tecnologías espaciales, las denominadas Geoespaciales, que se enmarcan dentro de la Geomática elemento de gran importancia en la prevención y gestión de crisis causadas por desastres medioambientales.

GEOMÁTICA

La Geomática (o GeoInformática), es una moderna disciplina que ha surgido en los últimos años como consecuencia de las profundas transformaciones en las Ciencias de la Tierra y de la Informática, a la que puede definirse como la Ciencia o Ingeniería que trata de la integración sistémica de técnicas y metodologías de adquisición, almacenamiento, procesamiento, interpretación, análisis, presentación y distribución de Información Espacial.

El elemento de referencia en esta integración es la Información Espacial, entendiendo por tal la que describe objetos del mundo real en términos de su posición y geometría con respecto a un sistema de coordenadas, sus atributos y sus relaciones espaciales con otros objetos.

En la actualidad un elevado porcentaje de los datos con que se trabaja tienen algún componente espacial, y no solamente en el caso de los geográficos. Tal puede ser el caso de la localización de daños, realización de censos y análisis de población, caracterización de determinados aspectos sociales, salud pública, control de recursos, etc. Por ello, y en esta era de la Sociedad de la Información y las nuevas tecnologías, es necesario dedicar atención especial a los métodos y técnicas de gestión integral de información que impliquen no solamente los aspectos descriptivos de una caracterización formal, sino también aquellos que presenten una referencia espacial.

TECNOLOGIAS GEOESPACIALES

El continuo crecimiento en la utilización de medios informáticos para la gestión de la información geoespacial, con la capacidad de cálculo que conlleva, ha generado un especial interés en las herramientas de ayuda a la toma de decisiones basadas en este particular tipo de información. Una de las consecuencias ha sido la rápida expansión de los dominios de aplicación de las disciplinas de la Geomática, considerada como uno de los sectores tecnológicos de mayor y más rápido crecimiento de la última década.

Las aplicaciones y servicios geomáticos, así como los productos de valor añadido, están ofreciendo soluciones en una gran variedad de áreas relacionadas directamente con la gestión de las crisis naturales, como la vigilancia global, el ordenamiento territorial, la adecuada relación con el medio ambiente, el uso armónico de los recursos naturales, la planificación y gestión de medidas de reacción y recuperación post desastre, etc.

Estas tecnologías son particularmente adecuadas dada su capacidad para obtener datos de forma repetitiva en cualquier lugar de la Tierra, asegurando el apoyo a un control global de nuestro entorno, tanto en la atmósfera, como en la superficie terrestre y en los océanos. Los datos obtenidos pueden abarcar diferentes áreas geográficas, desde una visión completa de toda la Tierra hasta zonas de dimensiones próximas al metro, y se pueden obtener en diferentes periodos de tiempo, desde años hasta horas.

Pero para asegurar que dichos datos se convierten en la información adecuada, deben ser obtenidos, actualizados y transmitidos en tiempo útil, teniendo presente que los usuarios finales implicados en este tipo de crisis medioambientales necesitan informaciones coherentes, oportunas y fiables para poder hacer uso de ellas según sus propias exigencias y con la urgencia propia de estas situaciones.

Para ello se debe disponer no solamente de los satélites en órbita, sino también de una importante infraestructura terrena, dotada de otro tipo de sensores medioambientales y capaz de gestionar y elaborar la información y ponerla a disposición de los usuarios implicados, en tiempo y formato adecuados.

Esta diversidad de medios de obtención implica la necesidad de almacenar los datos e integrarlos con los otros, procedentes de fuentes variadas, para poder analizarlos, presentarlos y difundirlos de forma organizada, proporcionando el dato o la información idónea, en el lugar preciso y en tiempo oportuno.

En síntesis, el ciclo completo de conversión de Datos en Información, y aportar Conocimiento para proporcionar valor añadido a los datos, en apoyo a toma de decisiones en este dominio consiste en:

- Obtener
- Almacenar
- Consultar
- Analizar

- Gestionar
- Presentar
- Difundir
- Utilizar

... Información Geoespacial

GESTION DE CRISIS MEDIOAMBIENTALES

Adoptando la hipótesis de considerar estos desastres naturales como crisis sociales y medioambientales, para hacerlas frente es obligado, como se apuntó anteriormente, que se obtengan los datos adecuados, para transformarlos en la información pertinente, a proporcionar a los usuarios en el lugar y momento también adecuados, por medio de un formato legible por todos (interoperable), para que puedan utilizarlos en todos los casos, incluidos los de emergencia, y, si es posible y se dispone de tiempo, con el valor añadido de aportar conocimiento experto a los datos brutos o elaborados, como por ejemplo entregando modelos del terreno tridimensionales, vídeos, herramientas de simulación, etc.

Otro factor clave a considerar es que, para una rápida y eficaz gestión de este caso particular de crisis, las medidas mas adecuadas a adoptar deben abarcar todas y cada una de las fases en que puede dividirse cualquier tipo de crisis. Para este estudio se eligen las siguientes:

Fases:

- Prevención
- Respuesta rápida
- Solución
- Recuperación

APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS GEOESPACIALES

Las tecnologías geoespaciales son de aplicación en cualquiera de las fases, al proporcionar datos e información adecuada para apoyar tanto en la prevención y planeamiento, antes del desastre, como en el momento del mismo, sosteniendo las

operaciones, y ayudando a la evaluación del impacto y a la correspondiente recuperación y rehabilitación.

A continuación se exponen algunos casos de aplicación seleccionados para cada una de ellas:

Prevención

En esta fase, que se desarrolla con anterioridad al desastre, en muchas ocasiones sin conocimiento de su posible aparición, estas tecnologías proporcionan apoyo por medio de la obtención de datos e información para la valoración de amenazas y riesgos, de las posibles vulnerabilidades, determinación de zonas restringidas y críticas y medidas de protección, predicción y alerta.

Asimismo se pueden desarrollar aplicaciones de valor añadido, basadas en las tecnologías geoespaciales, para la preparación de planes de desastres, de evaluación de recursos críticos, organización de elementos de mando, control y comunicaciones y preparación de planes de evacuación

Otro tipo de acciones de apoyo en esta fase comprenden la vigilancia de las zonas de mayor peligro, elaboración de cartografía actualizada y de circunstancias, sin olvidar dos elementos de especial importancia como son los Ejercicios y la Formación.

Respuesta rápida

Esta fase se produce en el momento inmediato a la aparición del desastre, abarcando una serie de actividades caracterizadas principalmente por su urgencia.

Aquí, las tecnologías geoespaciales apoyan a los sistemas de alerta temprana por medio de una vigilancia continua del fenómeno detectado o de aquel con posibilidad de ocurrir, y, si se produce o ha producido, las actividades apoyarán al resto de medios en las tareas de evaluación rápida de daños, aplicación de los planes de desastre, operaciones de búsqueda y salvamento y evacuaciones, facilitando la entrada y el movimiento en la zona, por medio de una observación continua y repetida.

Otras acciones de importancia en esta fase, donde las tecnologías geoespaciales están particularmente adaptadas, son las de reestablecimiento (de circunstancias o emergencia) de las comunicaciones e infraestructuras mínimas, el suministro de necesidades básicas (agua, alimentos, medicinas, ..), la prevención de enfermedades y el mantenimiento del orden público, sin olvidar la necesaria coordinación de la ayuda

internacional que, en determinados casos, puede convertirse en un elemento de perturbación en lugar de ayuda.

Solución

Esta fase se produce posteriormente a la aparición del desastre, una vez producido el suceso y adoptadas las primeras medidas de urgencia, contemplando una serie de acciones que pretenden tomar las medidas mas inmediatas para tratar de solucionar la crisis y disminuir el posible impacto en otras.

En ella se pueden utilizar las tecnologías objeto de este estudio en apoyo de actividades de reparación de instalaciones, infraestructuras y activos en general (sin modificación de sus características principales y manteniendo su emplazamiento, tamaño, ...), dotación de agua potable, energía y comunicaciones, asistencia sanitaria, limpieza y remoción de escombros, reparación de viviendas y de servicios de saneamiento, rehabilitación de vialidad de acceso a zonas afectadas, etc.

También son de aplicación para otro tipo de actividades, no menos importantes, que deben, o deberían, llevarse a cabo en esta fase, como el seguimiento del fenómeno causante en su fase de evolución, evaluando las posibilidades de que constituya una nueva amenaza en zonas próximas, así como a la vigilancia de sus últimos vestigios, si existen, para evitar repeticiones.

Recuperación

Esta fase, que desafortunadamente no suele llevarse a cabo en la gestión de muchas de las crisis de todo tipo que se suceden en nuestros días, tiene por objeto la reconstrucción de acuerdo con las necesidades y recursos disponibles, pero tratando de garantizar una normalidad en las condiciones de vida y de la actividad social y económica del país o zona afectada, similar, al menos, a la que existía anteriormente al desastre.

Entre las actividades a las que pueden prestar su ayuda las tecnologías geoespaciales destacan la recuperación de la infraestructura perdida, de las actividades productivas (agrícolas, industriales, etc.), la organización de nuevos asentamientos, o de reasentamientos, y la recuperación del entramado socioeconómico de la población afectada.

También son adecuadas para llevar a cabo una adecuada gestión de riesgos y protección medioambiental que prevenga o mitigue los efectos de otro posible desastre,

actualización de la información sobre las amenazas y la nueva vulnerabilidad y riesgo, comenzando otra vez la prevención y cerrando así el ciclo.

CONCLUSIONES

La utilización de estas tecnologías geoespaciales en apoyo a la gestión de los desastres naturales está despertando un gran interés hoy en día, pero, por determinadas circunstancias, que están fuera del ámbito de este estudio, queda reducida a un grupo de expertos en este dominio, que son minoritarios en comparación con el gran número de personas preocupadas o conscientes de la importancia del problema. Con este trabajo se pretende acercar al público no experto y a los potenciales usuarios el conocimiento sobre la capacidad de las tecnologías espaciales, en particular las geoespaciales, para la prevención y gestión de desastres naturales.

Madrid, Noviembre / Diciembre de 2006

EL SEGUIMIENTO AUTOMÁTICO DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LAS AGUAS COSTERAS

Ramón Prats i Vime

Adjunto a Dirección General. Adasa Sistemas. Grupo Agbar

Los mares se han convertido en el destino final de numerosos vertidos y de gran cantidad de residuos de todo tipo; en este proceso, las costas se convierten en receptor pasivo de residuos procedentes tanto de tierra como de los retornos de alta mar. Los restos sólidos que pueden afectar al uso lúdico de las aguas marinas quedan depositados en las playas, y los vertidos con carga contaminante soluble, sólidos de pequeño tamaño o contaminantes biológicos, quedan disueltos en el agua o mezclados como materia en suspensión.

Esta contaminación físico-química y biológica de las aguas costeras causa perturbaciones en la calidad que pueden afectar de manera importante al ecosistema y al usuario de estas aguas, en especial cuando su uso es lúdico, como ocurre con las aguas de las playas.



El uso del agua costera viene limitado por estos factores, de ahí que el conocer el estado de la calidad de estas masas de agua, y en particular el de las playas, constituya un objetivo de vital importancia para las Administraciones competentes con el fin de que puedan actuar consecuentemente.

El seguimiento de la calidad de esta agua puede hacerse siguiendo los métodos clásicos de recogida periódica de muestras y realizar la correspondiente analítica en laboratorio o

llevarla a cabo de manera automática, de forma que se disponga de datos sobre el estado de la calidad de manera continua y en tiempo real.

Es evidente la ventaja de la medida automática para la gestión del uso de esta agua, ya que las acciones a tomar por la Administración competente se pueden llevar a cabo en el mismo momento en que sucede un episodio, frente a la necesidad de esperar resultados de laboratorio en la variante de utilizar estos resultados como base de datos de la calidad. Este hecho es especialmente importante en el caso de las medidas destinadas a la detección de elementos patógenos, ya que los tiempos de incubación acostumbran a ser largos, lo que añadidos a los tiempos de toma, transporte, preparación y análisis de una muestra pueden sumar las 24 horas, tiempo de respuesta inaceptable en caso de contaminación biológica de una masa de agua costera destinada al uso lúdico.

La medida en continuo de la calidad físico química y biológica del agua de las costas es un reto difícil que requiere la aplicación de una tecnología de medidas que aún no ha sido suficientemente contrastada. Existen boyas marinas para la medida de corrientes, oleaje, parámetros meteorológicos, etc., pero no para la medida de parámetros de calidad físicoquímica ni biológica, salvo algunas experiencias científicas aisladas.

El trabajo que se presenta expone la experiencia realizada en el campo del seguimiento de la calidad de las aguas costeras, desarrollando una boya experimental en la que se han instalado varios sensores y equipos que pueden efectuar las medidas de calidad de forma automática y autónoma, a la vez que transmitirlos a un centro receptor de los datos donde se puede gestionar el uso de las aguas costeras, en especial el lúdico, con información en tiempo real de los parámetros que pueden afectar especialmente a la salud de los usuarios.



Los parámetros que se han incorporado son:

- a) Los meteorológicos de interés en el punto de situación de la boya, como son la temperatura y la humedad relativa, tanto del interior de la boya como las del medio exterior, radiación solar y presión atmosférica.

- b) Los fisicoquímicos como pH, temperatura, conductividad, y oxígeno disuelto.
- c) Los hidrocarburos superficiales.
- d) Las medidas espectrométricas en las bandas VIS y la NIR, por absorbancia directa en ambas y luz reflejada en las NIR, que miden los materiales en suspensión y su naturaleza (la turbidez se obtiene como una medida espectrométrica).
- e) Se ha incorporado también la detección de presencia de *Escherichia coli*, coliformes totales y enterococos como indicadores de calidad biológica, materializada por un equipo de funcionamiento automático desarrollado para este fin, basado en la tecnología del sustrato definido. Este equipo tiene la ventaja de responder con un tiempo inferior al habitual para este tipo de ensayos, al mantener una medida permanente del indicador de respuesta, lo que permite evaluar al mismo tiempo que la presencia de los elementos patógenos indicados, los niveles de concentración de los mismos, de una manera muy aproximada. El tiempo de respuesta del equipo depende de la concentración del elemento patógeno detectado, y es inferior a medida que aumenta esta concentración, pudiéndose dar resultados en el mejor de los casos en cuatro a cinco horas, frente a las dieciocho que requiere el método aplicado en laboratorio, basado en la misma tecnología.
- f) El conjunto de las medidas se complementa con un equipo de toma de muestras refrigerado, que las mantiene a 4°C y que permite realizar los análisis de contraste que se consideren oportunos.



La toma de muestras se realiza a cuatro profundidades diferentes, desde la superficie, hasta los tres metros, en intervalos de 1 m, de manera que todas las medidas de calidad ofrecen los cuatro valores correspondientes a las cotas de toma.

La medida de parámetros se realiza a intervalos de 6 horas, que puede modificarse, en función de las necesidades, hasta un toma de valores cada 5 minutos.

Todo el conjunto de elementos de medida se ha montado en una boya experimental, desarrollada en el marco del programa PROFIT, con ayudas del CDTI y dentro del programa de innovación del Grupo AGBAR, gestionado por la Fundación AGBAR.

La boya se instaló en el puerto de Barcelona, el mes de diciembre de 2005 y está previsto proseguir la experiencia hasta junio de 2007.



Se adjuntan los gráficos correspondientes a los resultados obtenidos en el Centro de Control correspondiente a un intervalo de una semana de funcionamiento, en los que se pueden ver las oscilaciones de los parámetros y la detección de un episodio de hidrocarburos, hecho por otro lado bastante frecuente y que se ha detectado en muchas ocasiones.

El resto de parámetros presentan un cuadro de calidad del agua bien definido, con medidas espectrométricas del contenido en materia orgánica, que por correlación pueden definir su naturaleza, así como el color predominante de la muestra.

Las detecciones bacteriológicas se determinan en un equipo desarrollado para esta experiencia y realizan dos medidas al día. Los resultados obtenidos hasta el momento son satisfactorios, pudiendo avanzar que se han detectado, coincidiendo con episodios de lluvia, el aumento considerable de la presencia de enterococos, coliformes totales y *E.coli*, siendo los niveles normales por debajo de los permitidos por la norma para aguas de baño.

La diferencia en valores de los parámetros entre las cuatro tomas es poca, pero para algunos de estos parámetros lo suficiente amplia como para justificar el estudio de la cota óptima a la que debe efectuarse la toma, tema que hasta el momento está poco estudiado.

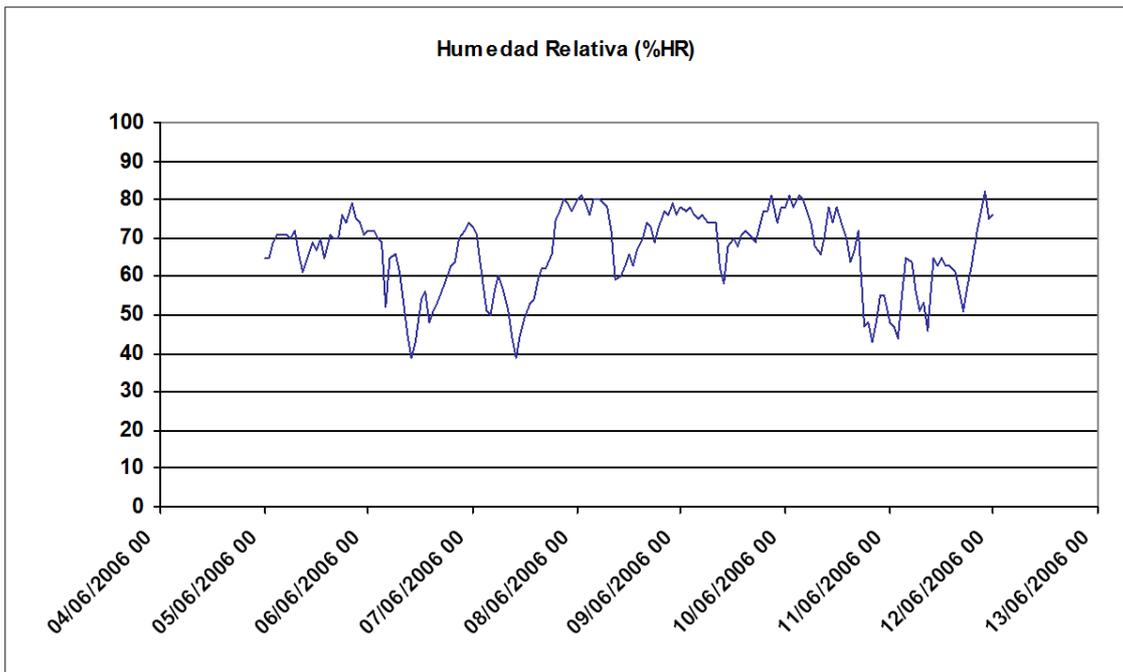
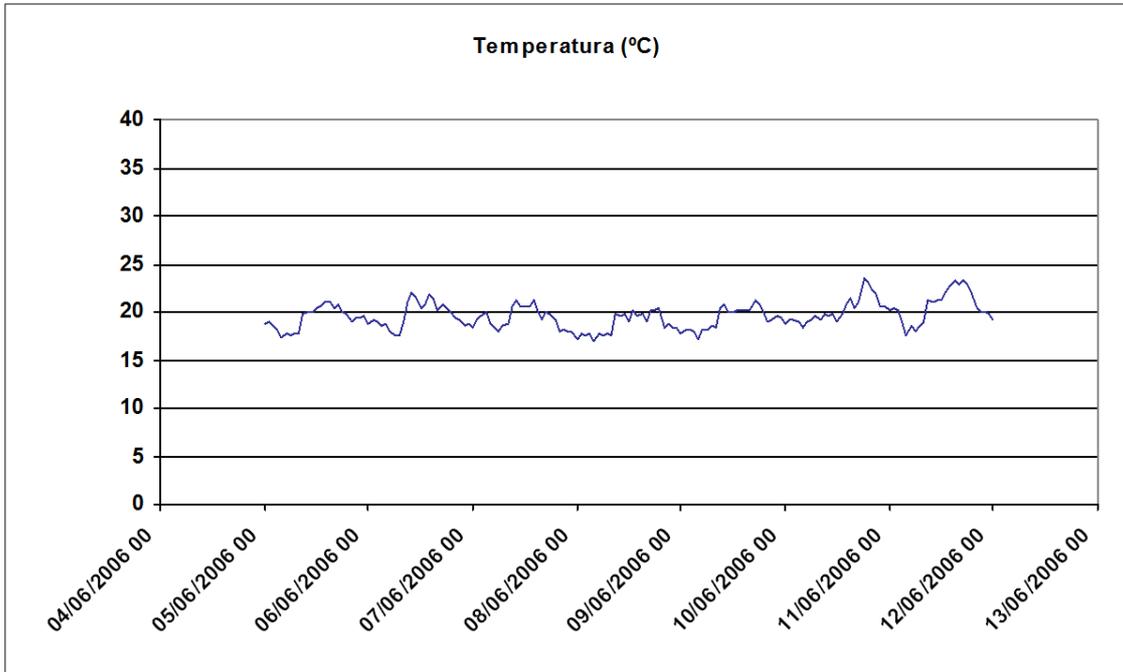
Como objetivos de la experiencia destacan el desarrollo del producto comercial equivalente, con el conocimiento de tecnologías, materiales, equipos y parámetros

medibles, con un nivel de dificultad aceptable. Este material estará disponible en enero de 2007

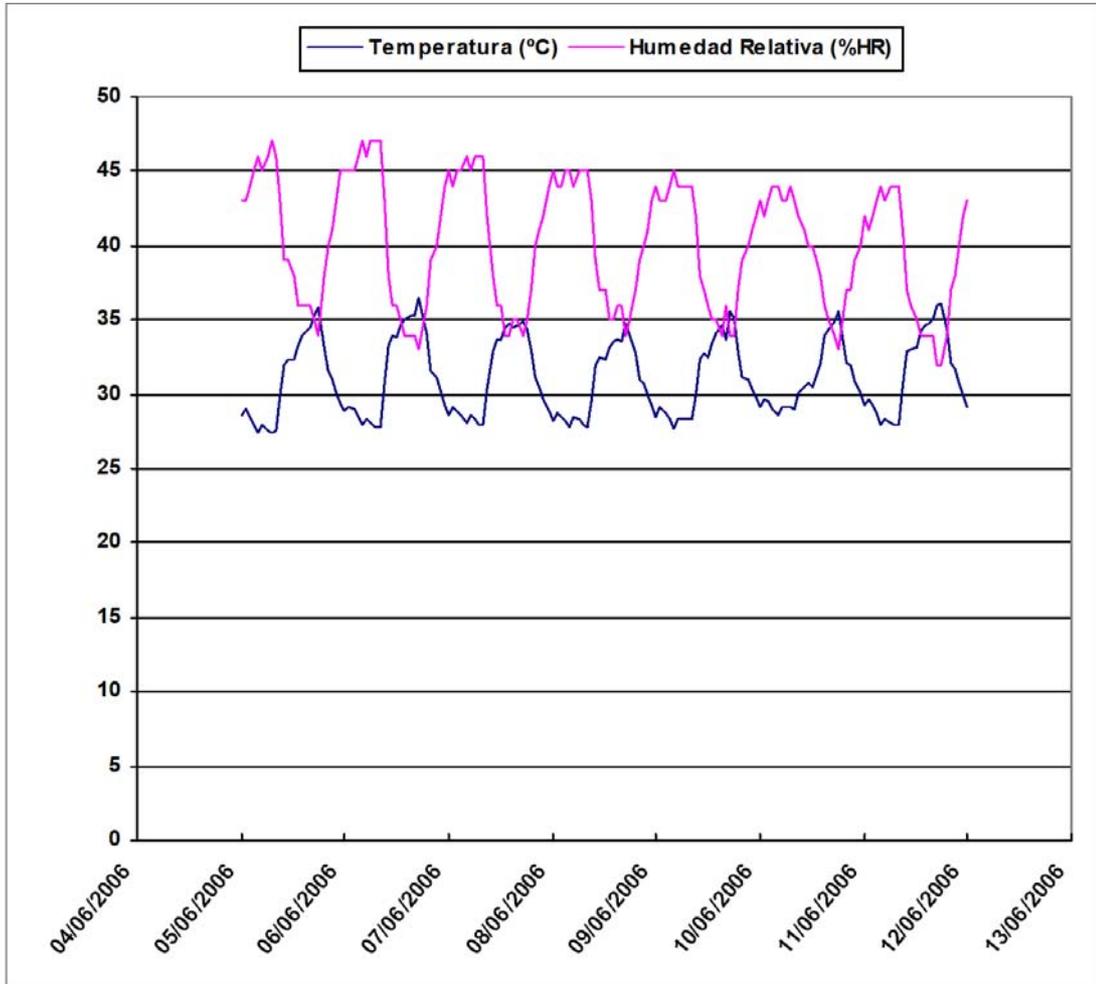


Se acompañan gráficos de resultados.

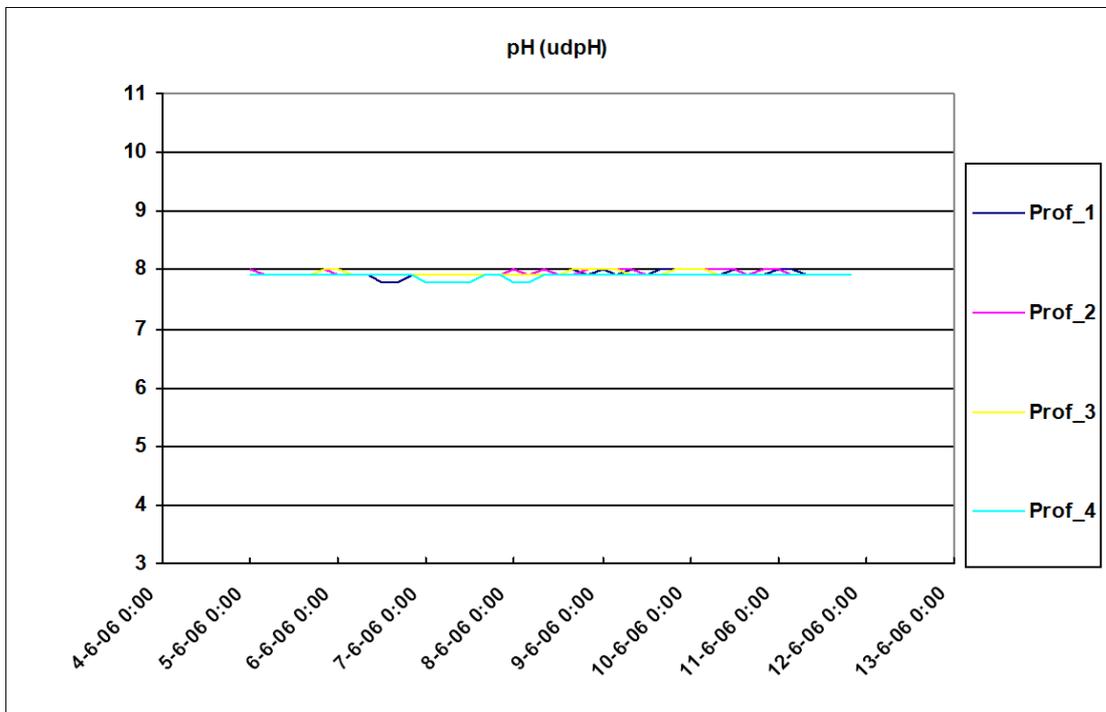
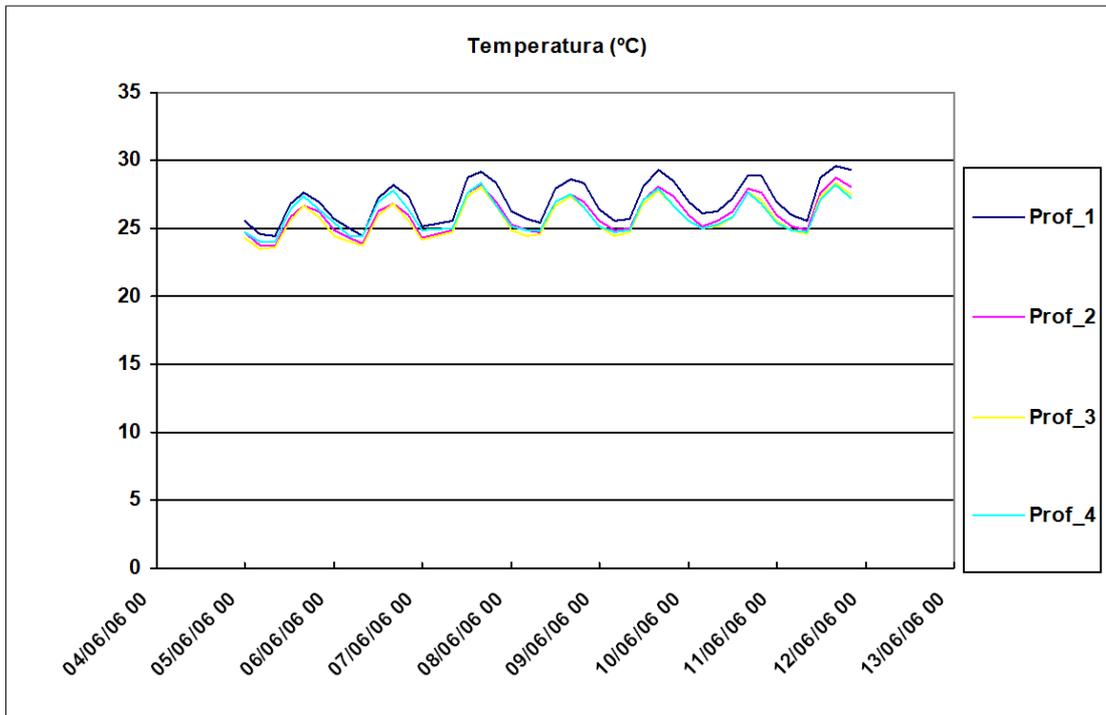
Datos Meteorológicos



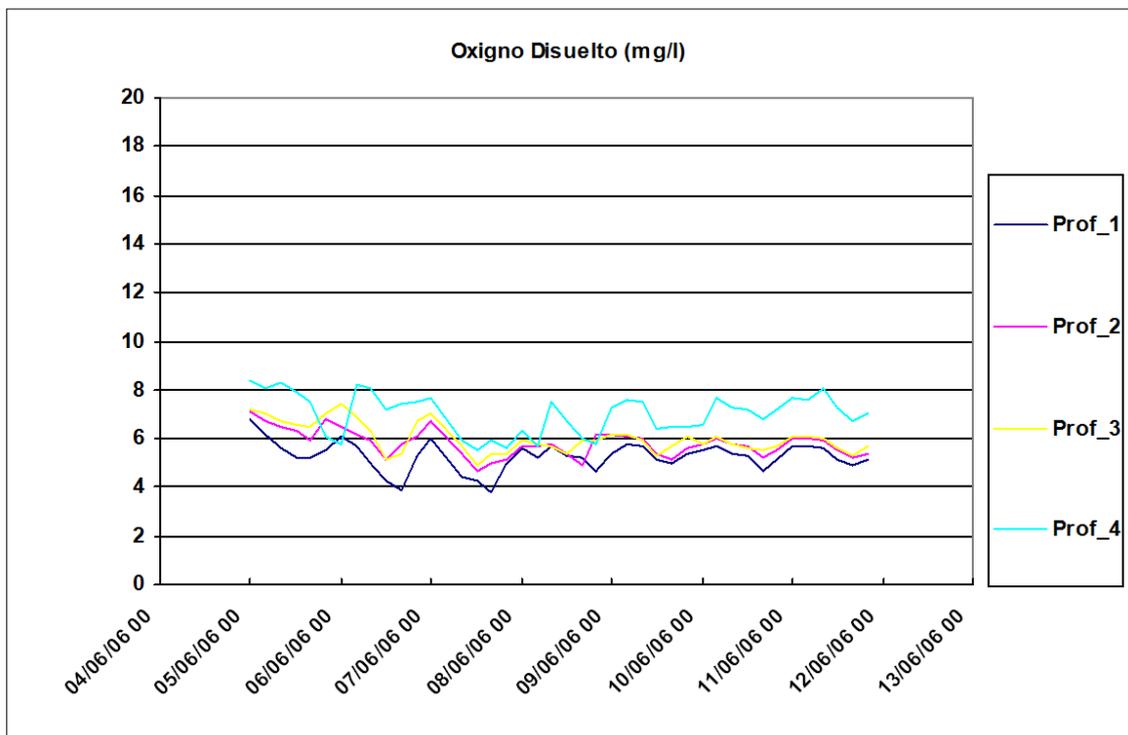
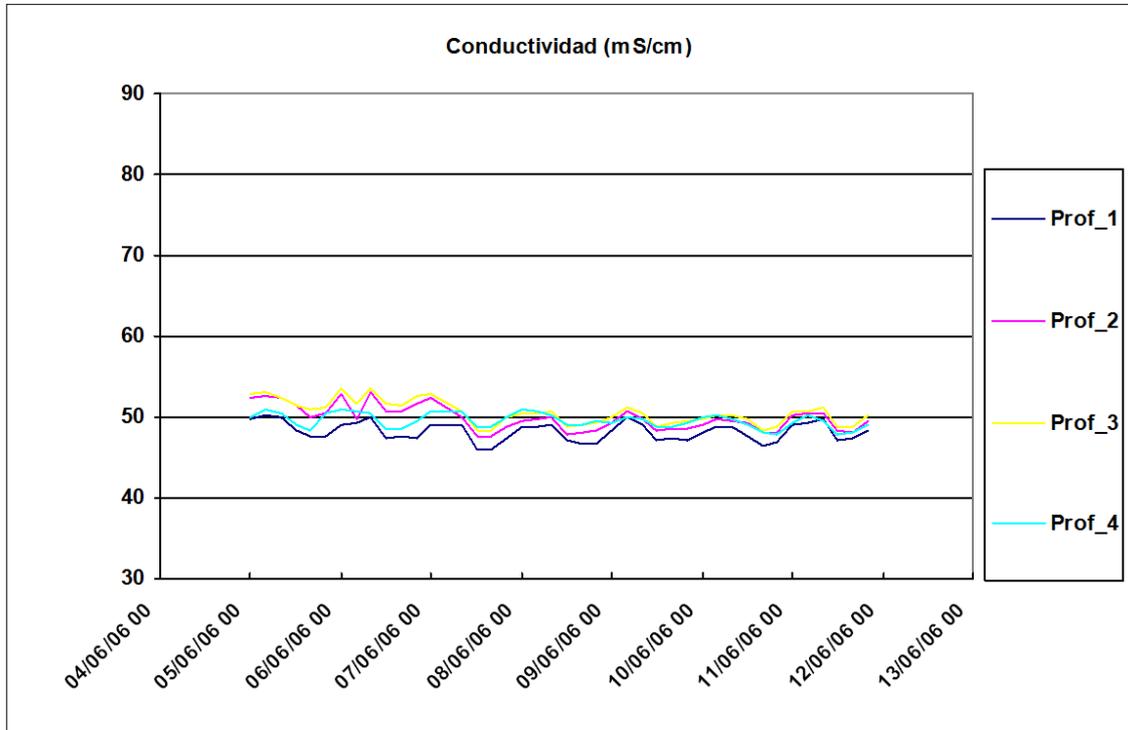
Parámetros Internos



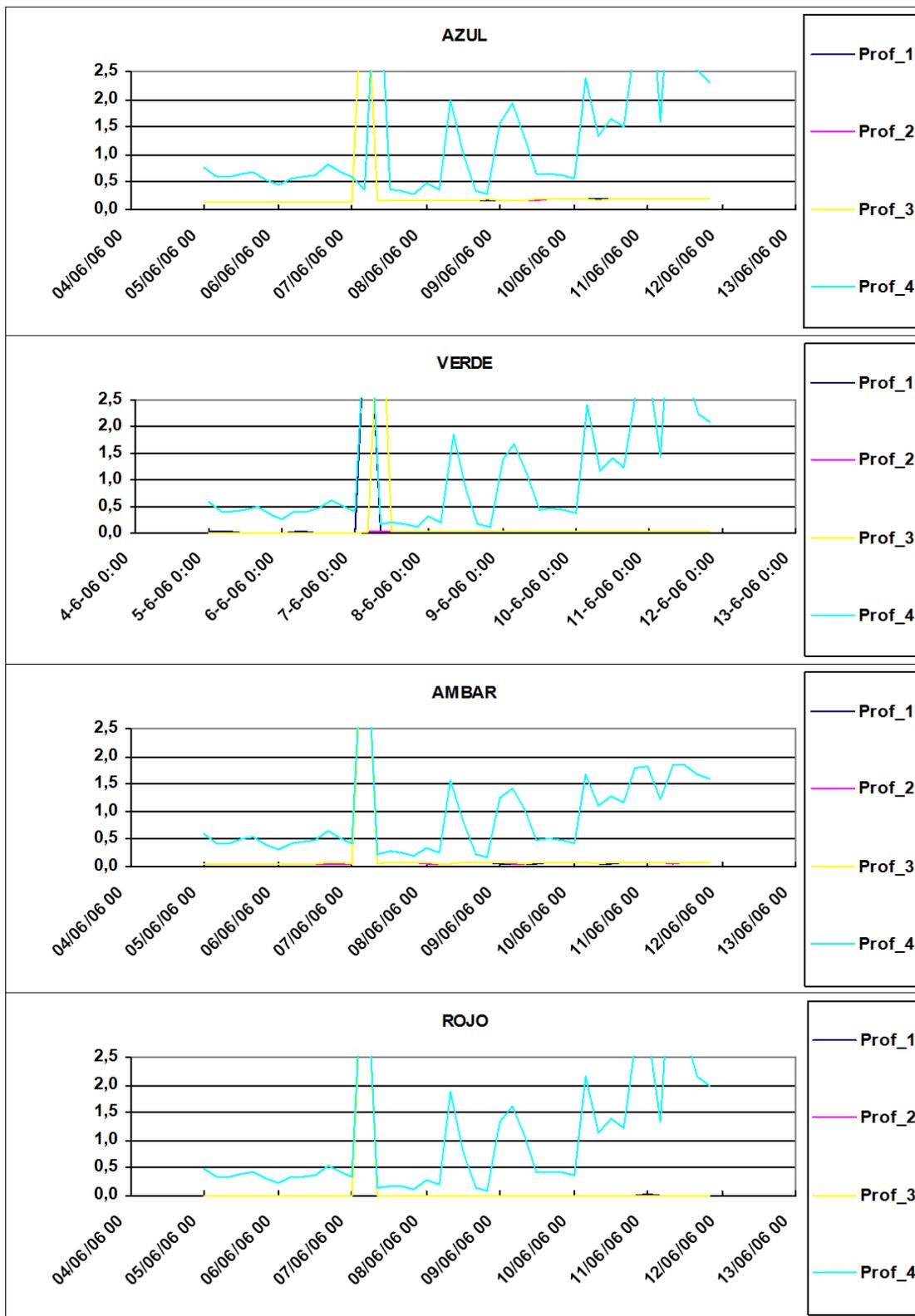
Parámetros físicos del agua



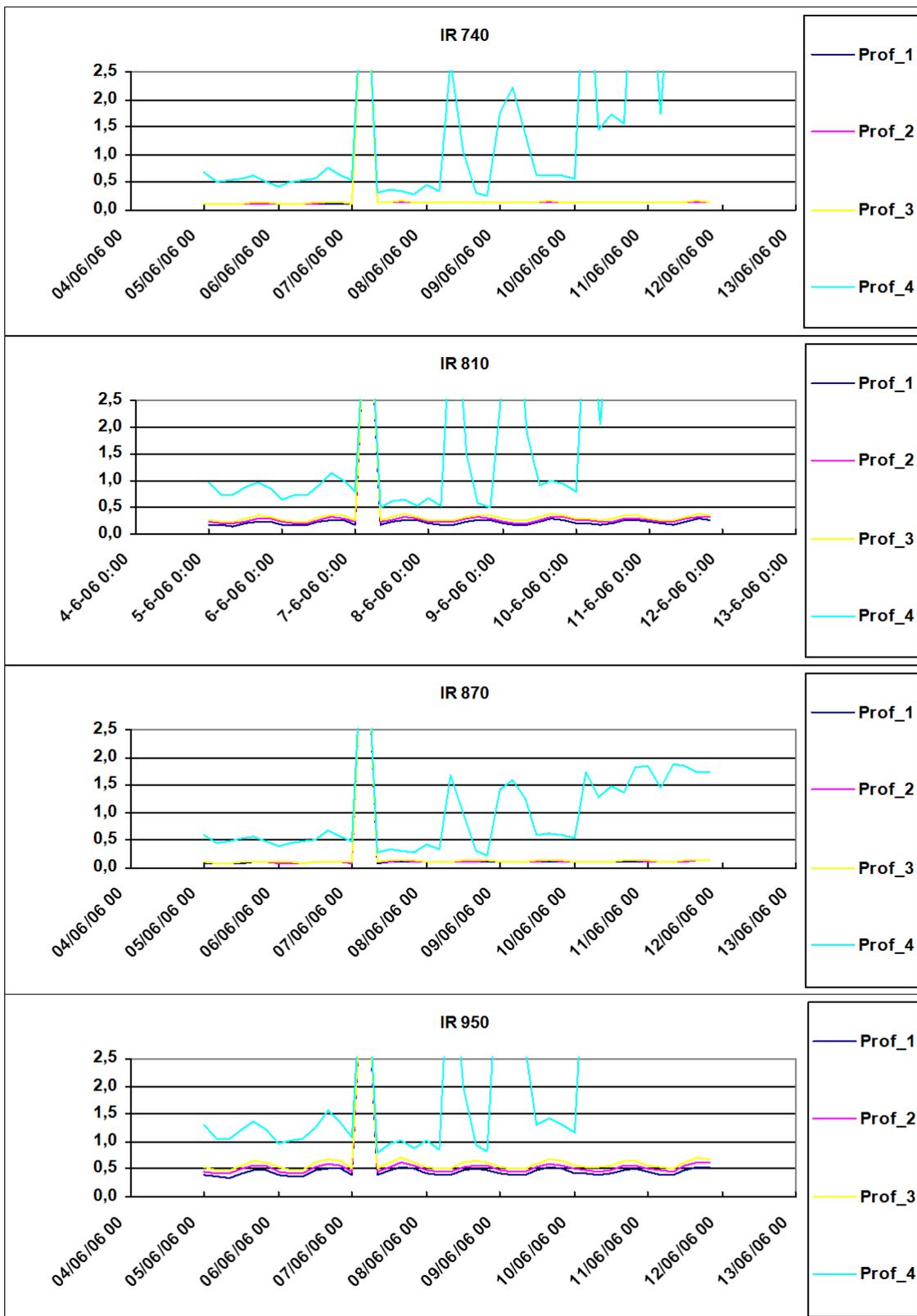
Parámetros físicos del agua



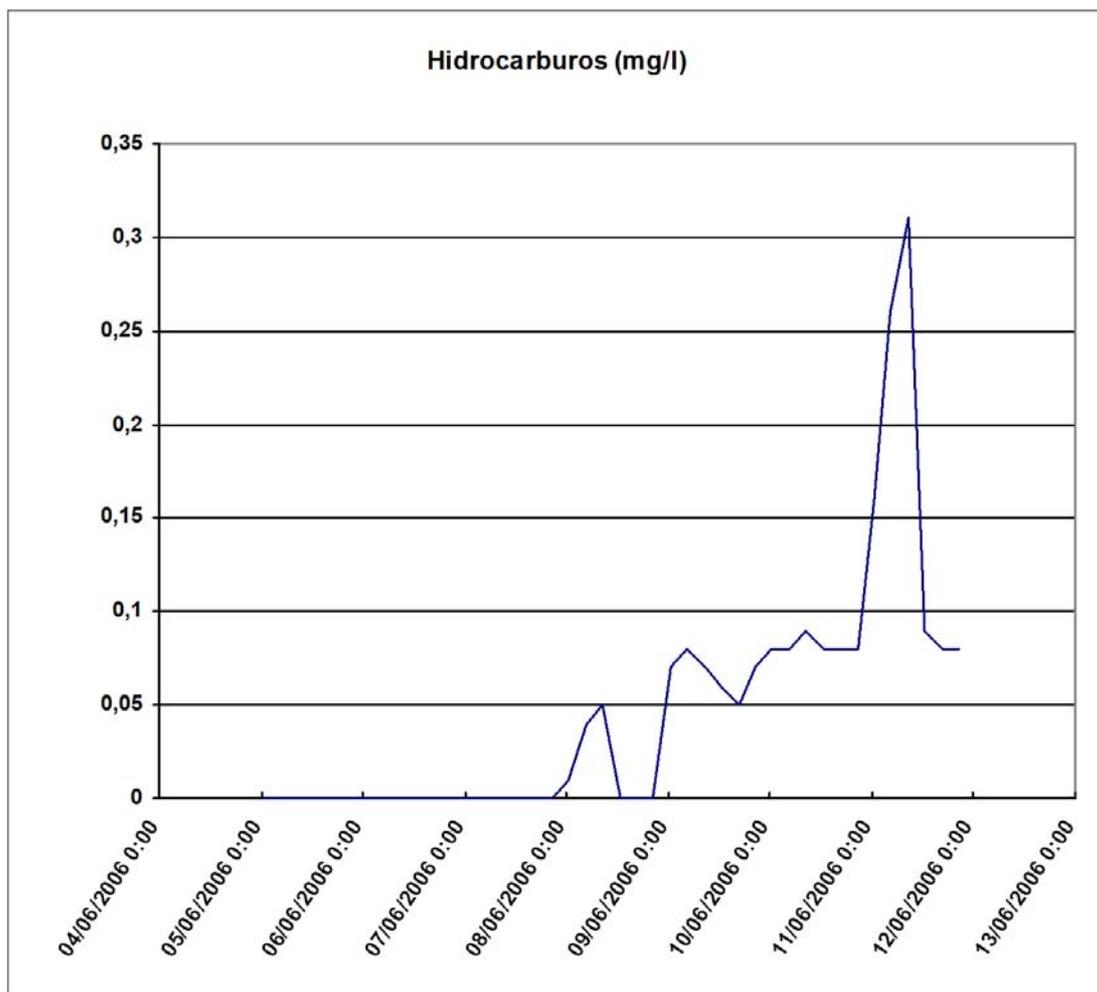
Medidas de Absorbancia en la banda VIS



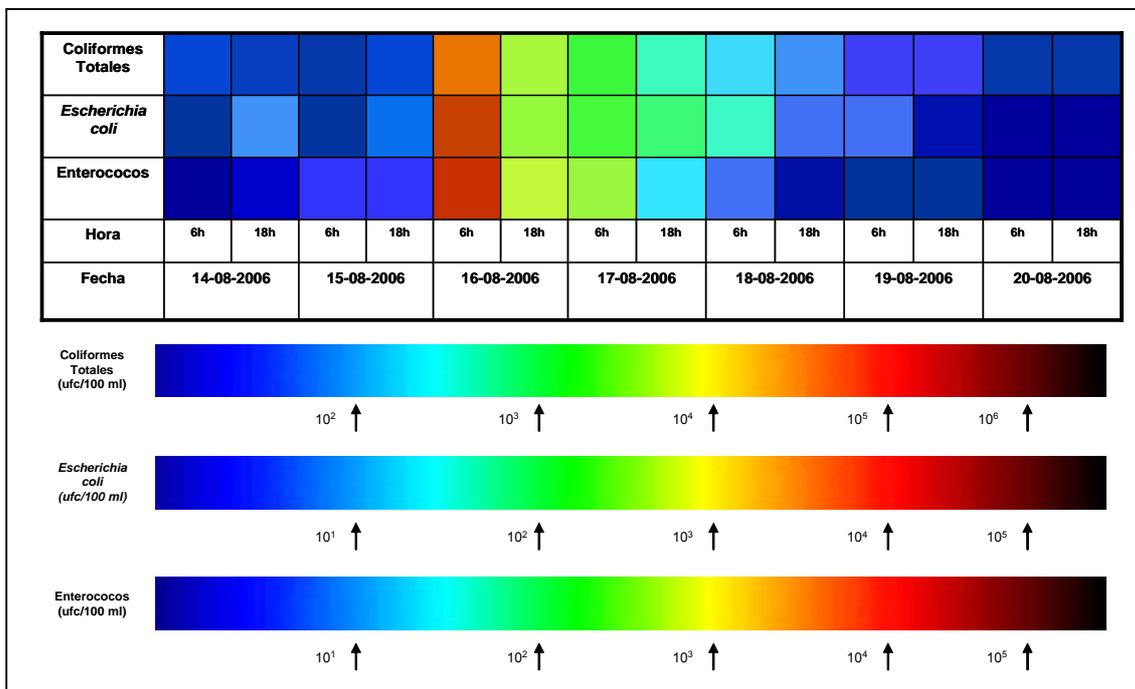
Medidas de Absorbancia en la banda NIR



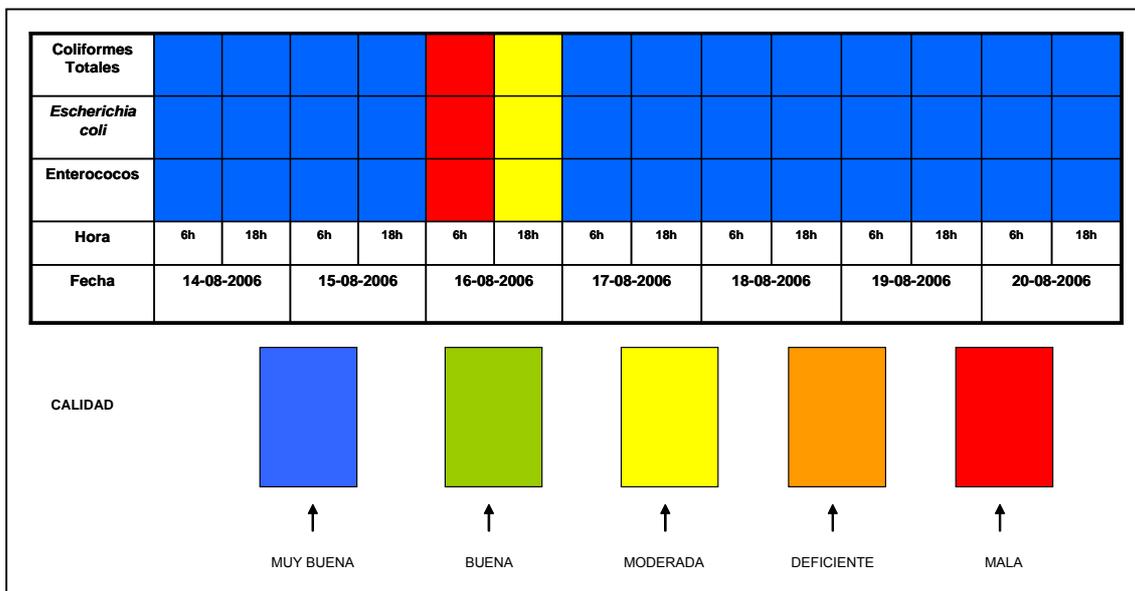
Medida de Hidrocarburos superficiales



Medida de Parámetros microbiológicos



Calidad Sanitaria según directiva CEE 76/160



ANÁLISIS DE ZONAS DE RIESGO CERCA DE ACTIVIDADES MINERAS: EL PROYECTO E-ECORISK

Joan Jorge⁽¹⁾, Joaquín J. Edo⁽²⁾, Antoni Riba⁽¹⁾

⁽¹⁾ *Departamento de Física Aplicada, joan.jorge@upc.edu, ariba@xtec.cat*

⁽²⁾ *Departamento de Ingeniería Minera y Recursos Naturales, edo@emrn.upc.edu
Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa
Universidad Politécnica de Catalunya*

1. Introducción

La posible ruptura del dique de una balsa contenedora de residuos industriales, o de un simple embalse de agua dulce, o su desbordamiento por acumulación excesiva de lodos, o a causa de lluvias torrenciales, constituye una situación de riesgo ambiental y económico. En estos casos, resulta del todo necesario disponer de un sistema de gestión de la información que permita actuar en caso de accidente con la mayor diligencia, tanto en la actuación inmediata como a más largo plazo.

Un sistema de este tipo ha sido generado en el proyecto *A Regional Enterprise Network Decision-Support System for Environmental Risk and Disaster Management of Large-Scale Industrial Spills (e-EcoRisk)*, contrato EVG1-2002-00068, dentro del programa *Energy, Environment & Sustainable Development* del V Programa marco de la UE [1]. Nuestro grupo ha participado en él como uno de los 18 socios, de 6 países de la UE, con el compromiso específico de utilizar las imágenes de satélite en la generación de información.

En particular, el uso de información procedente de satélites de observación de la Tierra se ha tenido en cuenta para lograr dos objetivos:

- (a) caracterizar los contenedores de residuos (perímetro, superficie líquida, velocidad de relleno, etc.) y los factores que controlan la dispersión de lodos (obstáculos, pendiente del terreno, rugosidad de la cubierta del suelo, etc.), y
- (b) proporcionar información ambiental y social, a escala sinóptica, de la cuenca fluvial por donde circularían los lodos, a diferentes escalas y mediante varias resoluciones espaciales.

La experiencia española con la ruptura del dique de la balsa de residuos mineros de Los Frailes (mina de Aznalcóllar, Sevilla) en abril de 1998, demostró la utilidad de las imágenes hiperespectrales para el seguimiento temporal de la limpieza de los lodos contaminantes [2]. No obstante, un aprovechamiento óptimo de las imágenes de satélite debe ser anterior, como se comprueba en el proyecto que aquí se presenta. Se ha generado información, que ha sido entrada en modelos hidráulicos, para estimar el impacto a lo largo de la cuenca por donde discurrirían los lodos de residuos metálicos almacenados en las balsas si éstas sufren un accidente.

Para que todos los socios del proyecto siguieran unos procedimientos similares y lograran unos productos finales equivalentes, los grupos de investigación en teledetección establecieron un protocolo de actuación, en el cual se señalaron la tipología

de datos necesarios, los procedimientos de análisis (y pre-procesado) recomendables y los requerimientos mínimos para los productos resultantes.

2. Zonas de estudio

Los depósitos de residuos seleccionados para España y Portugal se muestran en la Figura 1. En todos los casos se estableció el criterio de que debía existir una zona de descarga, además de la zona propiamente minera, y una zona natural de especial protección que pudiera verse afectada. En el caso español la zona protegida objeto de estudio es la correspondiente a las marismas del Odiel, zona incluida en el plan NATURA 2000 y en el catálogo RAMSAR, 7ES006.

Al haberse producido el accidente de Aznalcóllar, se decidió dedicar la atención sólo a las tres balsas de Río Tinto (mina de Riotinto) y a las dos de Almagrera (de la mina Sotiel-Coronada), ambas explotaciones mineras en la provincia de Huelva. En ambos casos se verterían los lodos al río Odiel en su curso medio, situándose Río Tinto a 69 km en línea recta a la desembocadura y Almagrera a menos de 40 km.



Figura 1:
 (a) Mapa de los casos de estudio.
 (b) Almagrera.
 (c) Aznalcóllar.
 (d) Río Tinto.

3. Datos para el análisis

De la zona geográfica de cada lugar seleccionado, actividades mineras y áreas de potencial impacto, se coleccionaron diferentes cartografías en formato analógico y/o

digital, entre ellas los mapas geológico, hidrológico, topográfico, de usos del suelo y vegetación; la ortofotografía digital 1:5.000 e imágenes de satélite (Landsat 7, SPOT-5, ERS-2 y QuickBird-2) adquiridas de diferentes empresas públicas y privadas (INTA, AURENSA, EURIMAGE, COTESA), así como de diferentes administraciones públicas (Junta de Andalucía, European Environment Agency). También se realizaron dos visitas a la zona y se tomaron datos georeferenciados y notas verdad-terreno.

Las imágenes tándem de microondas (ERS-2) se adquirieron para que ACS (socio italiano) generara en formato digital la topografía mediante interferometría SAR, con una resolución espacial mejor que la disponible. Con el modelo digital de elevaciones construido se obtienen mapas de pendiente, orientación y perfiles 3D a lo largo de la cuenca del río. Esta información resulta imprescindible cuando debe hacerse la corrección por iluminación de las imágenes, especialmente para la parte más elevada de la cuenca.

3.1 Imágenes satelitales de resolución media

Dado el largo recorrido entre la zona minera de Río Tinto y la zona de las Marismas del Odiel, se optó por adquirir la escena 202/034 del satélite Landsat 7, de 18 de mayo de 2003 (10:51 h). Dicha imagen permite tener un conocimiento de la totalidad de la cuenca de descarga (aproximación fractal del trazado, recorrido a través de zonas con vegetación, poblaciones, etc.), de la zona de inundación (independientemente de la etapa mareal) e incluye las dos zonas con las balsas a estudiar. La Figura 2 permite ver en una combinación falso color 742 algunos detalles de las tres zonas de estudio.

El sensor utilizado, el ETM+, presenta un canal pancromático de 15 m de resolución espacial y otras seis bandas dentro del visible y del infrarrojo próximo y medio, todas ellas con 30 m de resolución. La imagen suministrada por INTA (*Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial*) estaba en formato CEOS, corregida geoméricamente por vecino más próximo, en proyección UTM, Zona 29 Norte y datum WGS-84.

3.2 Imágenes de alta resolución

Se programó la adquisición de una imagen del satélite QuickBird-2 para el día 20 de julio de 2005 (11:27 h) centrada en las balsas, de manera que incluyera los dos estanques y sus respectivos canales de desagüe hasta desembocar en el río Odiel. La imagen fue suministrada por DigitalGlobe.

Las características espaciales y espectrales de la imagen de alta resolución procesada son bien conocidas [3], una banda pancromática (450-900 nm) de 60 cm de resolución, y cuatro bandas multiespectrales (1: azul, 450-520 nm; 2: verde, 520-600 nm; 3: rojo, 630-690 nm; 4: IR próximo, 760-900 nm) de 2.4 m de resolución.

3.3 Mapas de usos del suelo

El protocolo en materia de teledetección ha supuesto utilizar la leyenda CORINE Land Cover (CLC) para los usos del suelo, hasta su tercer nivel en la clasificación. El *CLC-2000* fue desarrollado por la *European Environment Agency* y el *Joint Research Center* a partir de imágenes Landsat, presentando su versión ráster una resolución espacial de 100 m, para toda Europa y a una escala 1:100.000 [4]. A través del Centro Nacional de

Información Geográfica (CNIG) se ha tenido acceso a la misma información en formato vectorial.

Llegar al tercer nivel de la leyenda del CLC supone un catálogo de 44 posibles clases de usos del suelo, muchas de ellas inexistentes en la zona de interés, y por otro lado, supone la imposibilidad de introducir en los mapas resultantes ciertos obstáculos en el curso del río, como los restos de antiguos molinos existentes en el cauce, los pilares de antiguos puentes de carreteras, el tipo de urbanización,..., requerimientos todos ellos para una mejor precisión de los modelos de simulación.

El Mapa de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía [5] también fue chequeado en el entorno de las dos zonas mineras, a lo largo de la cuenca del Odiel y en los humedales de la desembocadura. Este mapa ofrece una escala de trabajo 1:50.000 y tiene 112 clases en su leyenda (equivalente a un nivel 4 del CLC-2000).

En este punto cabría incluir la tabla de correspondencias empírica entre los usos del suelo, leyenda CORINE, y el coeficiente de rugosidad de Manning necesario para los modelos hidráulicos [6].

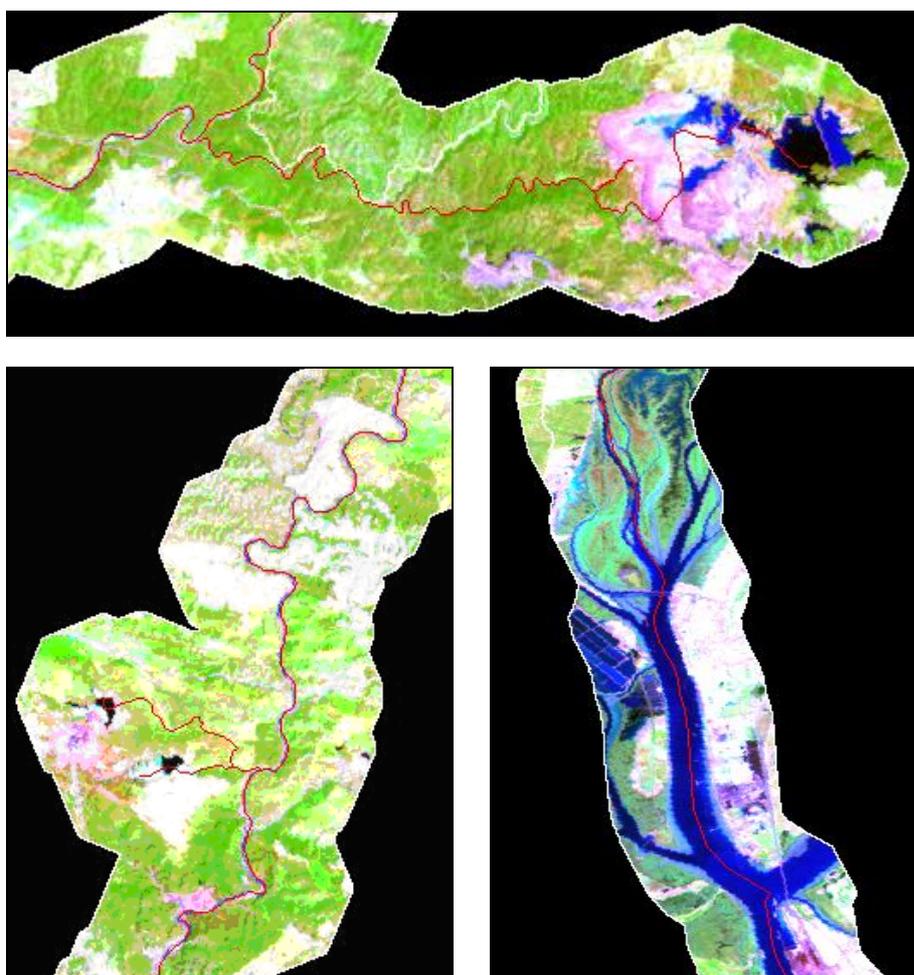


Figura 2: Detalles falso color (742) de las zonas de estudio, (arriba) zona de Río Tinto; (izquierda) balsas de Almagrera; (derecha) marismas del Odiel.

3.4 Otros datos

Otros datos de carácter geográfico también fueron adquiridos con objeto de proceder a una mejor interpretación de las imágenes satelitales, a una mejor clasificación de las cubiertas, y a disponer toda la información en un mismo sistema de referencia cartográfico y un formato digital compatible con el sistema de gestión de la información resultante del proyecto. En particular se ha dispuesto de la ortofotografía 1:5.000 (de 0.5 m de resolución espacial) de la provincia de Huelva [7]; el mapa geológico 1:50.000; diversos mapas en formato vectorial de la provincia de Huelva (hidrología, límites administrativos, municipios, topónimos, infraestructuras de transporte, hábitats,...) y el modelo digital de elevaciones (malla de 10 m y resolución vertical de 0.5 m).

4. Tratamiento de las imágenes

Las imágenes han sido procesadas con el programa informático ENVI 4.3, para poder capitalizar el lenguaje de programación propio IDL que lo genera [8].

Se parte de la premisa-hipótesis de partida de que los residuos metálicos de las actividades mineras se pueden reconocer en una imagen multiespectral, ya que presentan una firma espectral que permite diferenciarlos de las cubiertas vegetales o del suelo desnudo [9].

4.1 Pre-procesamiento

El pre-procesamiento aplicado a las diferentes bandas de las imágenes multiespectrales adquiridas ha consistido en:

- a) Correcciones geométrica y radiométrica a cada canal.
La corrección geométrica transfiere cada pixel a unas coordenadas geográficas, en nuestro caso UTM. Este paso es fundamental para superponer los resultados obtenidos en el estudio con el resto de cartografía de la zona. El datum empleado ha sido el ED50, European 1950, y el elipsoide de referencia el Internacional 1909.
Para minimizar los efectos atmosféricos se ha aplicado el método de la resta del objeto oscuro (*dark object subtraction*) [10].
- b) Técnicas de realce para distinguir dentro de las diferentes áreas de la imagen aspectos como:
El grado de cubierta vegetal a partir de diferentes índices de vegetación estimados haciendo uso de las bandas del rojo y del infrarrojo próximo.
El tipo de estructura geológica y suelos a partir de bandas espectrales dentro de la zona del infrarrojo medio (las bandas 5 y 7 del sensor ETM+ permiten discernir entre diferentes suelos: labrados, cultivos, barbechos, etc.).

En particular, para proceder a una mejor interpretación de los resultados posteriormente encontrados mediante la clasificación supervisada de las imágenes, y en relación a todas las áreas de interés (Río Tinto, Almagrera, Marismas del Odiel y toda la cuenca del río Odiel), se ha procedido a la fusión de las bandas multiespectrales con las pancromáticas, para las escenas correspondientes a los dos satélites aplicando el algoritmo *Gram-Schmidt Spectral Sharpening* (GSSS) [11]; se han realizado diversas combinaciones falso color; se ha obtenido el índice de vegetación diferencia normalizada (NDVI); se ha realizado la transformación *Minimum Noise Fraction* (MNF) [12]; se han elaborado diferentes ratios; se ha hecho un análisis por componentes principales (PCA); etc. Las Figuras 3, 4, 5, 6 y 7 muestran algunas de las pseudobandas generadas.

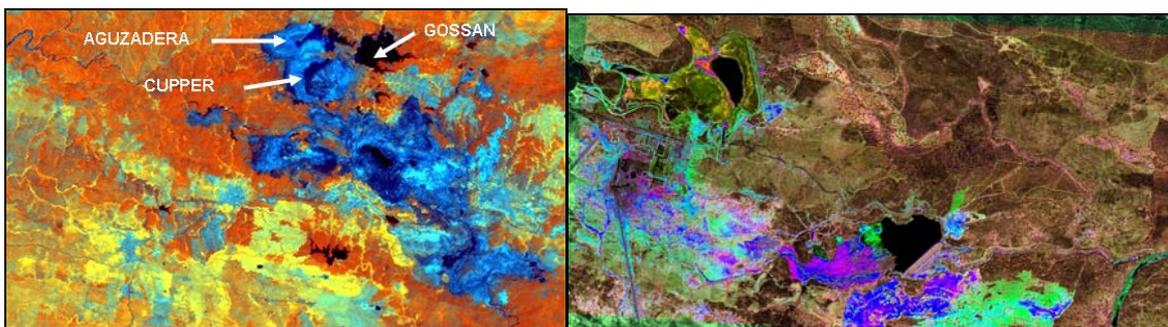


Figura 3

Figura 4

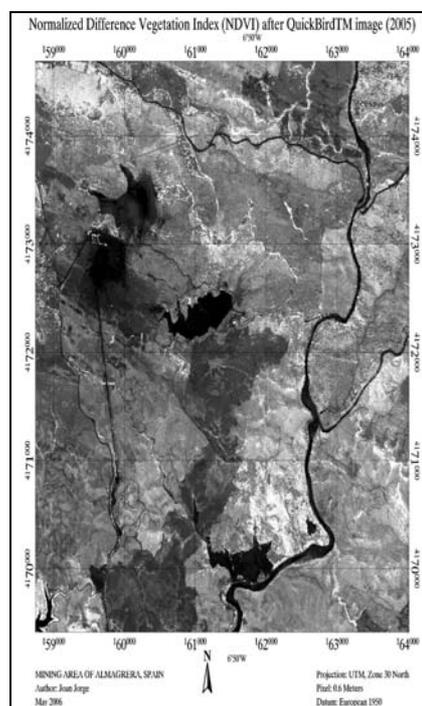


Figura 5

Figura 6

Figura 7

Figura 3: Falso color (RGB: NDVI, 4, 3) de la zona de Río Tinto.

Figura 4: MNF del falso color 214 de QuickBird de Almagrera. Píxel=0.6m.

Figura 5: Río Odiel. Falso color de Escena Landsat ETM+.

Figura 6: Marismas del Odiel. Falso color de escena SPOT-5.

Figura 7: NDVI de Almagrera a partir de la imagen de alta resolución.

Dado que las previsiones sobre el intervalo de terreno que se inundaría en caso de una riada de lodos, a lo largo del cauce del río Odiel, no es muy ancho, se definió una zona buffer de 1.5 km a cada lado del eje del río, a modo de corredor centrado en éste. Dicha zona resulta ser aquella que debe caracterizarse desde el punto de vista del tipo de cubierta y, por tanto, por su coeficiente de rugosidad. Se construyó una máscara con el buffer, reduciéndose el tiempo de cálculo de la CPU necesario posteriormente.

4.2 Clasificación de cubiertas

Una clasificación de cubiertas del suelo fue realizada sobre la escena Landsat ETM+ a lo largo de toda la cuenca del río Odiel, pero tan sólo para la zona de buffer. Para ello se hizo una visita de campo y, mediante GPS y ortofotografía 1:5.000 de la provincia de Huelva, se registraron un conjunto de zonas de entrenamiento (regiones de interés, ROI) coincidentes con 20 de las 44 clases de la leyenda CORINE.

Se aplicó el algoritmo de máxima verosimilitud con un umbral de probabilidad de 0.8, permitiendo así la existencia de píxeles no clasificados. No se incluyó en la clasificación supervisada la banda del IR térmico.

Un procedimiento análogo se realizó con las imágenes de alta resolución para los casos de Almagrera y de las Marismas. En estos casos, la elección de las clases de la leyenda CLC fue diferente por confinarse el estudio a zonas con distinta heterogeneidad y diferente tipología de cubiertas.

5. Resultados

Inicialmente se procedió a la generación de cartografía temática mediante la aplicación del criterio Isodata de clasificación no supervisada; se pudo comprobar que con este método se obtiene mucha confusión en la zona de la actividad extractiva, entre la planta de tratamiento del mineral, la zona de residuos y las áreas intermedias. Esta confusión se reproduce en la zona de las marismas, donde diferentes comunidades vegetales quedan mezcladas con canales de poca profundidad (ver Figura 8).

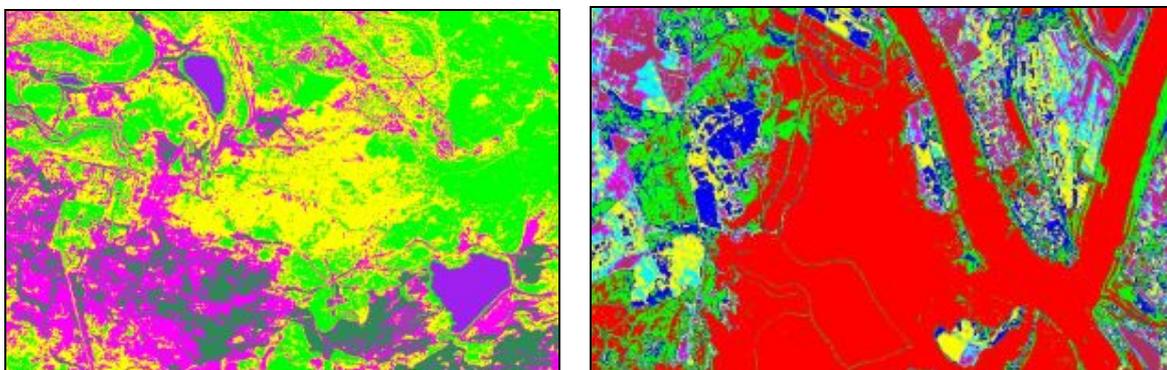


Figura 8: Clasificación no supervisada de Almagrera (izquierda) y Marismas del Odiel (derecha) a partir de la imagen Landsat ETM+.

El proceso de clasificación supervisada se realizó como se ha indicado antes. Se obtuvieron buenas cartografías a partir de 22.957 píxeles correspondientes a 20 de las 44 clases de CORINE seleccionadas en el trabajo de campo. La precisión resultante fue del 87.6%, la cual se eleva al 91.6% si agrupamos las clases en función de la rugosidad asociada a cada una de ellas (coeficiente de rugosidad de Manning). El coeficiente kappa, que resume la información procedente de la matriz de contingencia, tiene un valor de 0.8685, es decir la clasificación obtenida está próxima al 87% mejor que la que se esperaría de asignar clases a los píxeles de forma aleatoria. Dado que el valor es superior a 0.75 se puede considerar una clasificación de buena a excelente [13].

A continuación se muestran los resultados obtenidos para las zonas de Río Tinto y parte de las Marismas (Figuras 9 y 10). Pueden observarse las clasificaciones obtenidas a partir de la imagen Landsat, su agrupación en base a la rugosidad y el mapa de usos del suelo CLC-2000 correspondiente. Resulta evidente la mejora que supone el procesamiento de las imágenes en relación a la base de datos de la CLC-2000 utilizada habitualmente como “input” en los modelos de simulación.

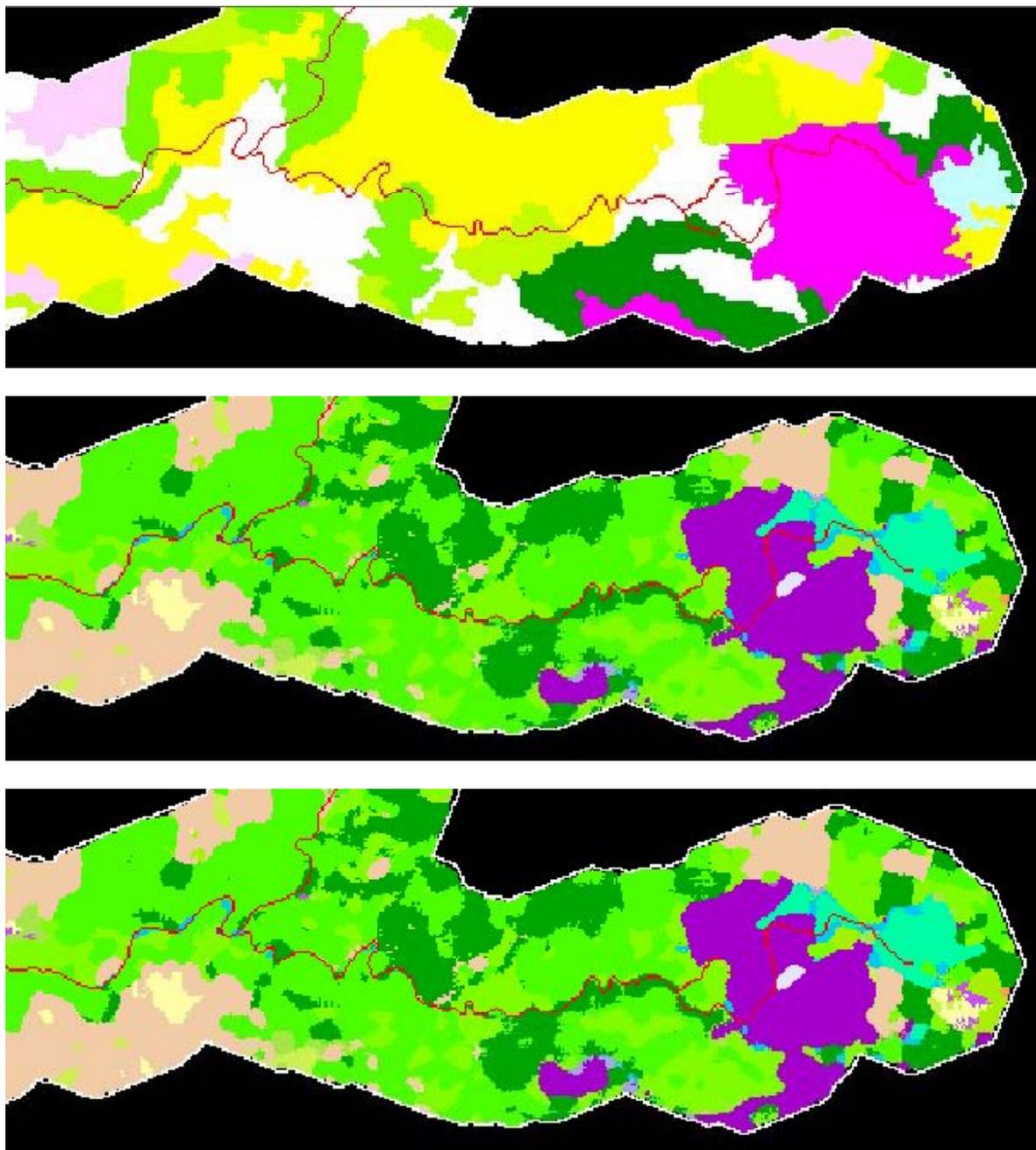


Figura 9: Clasificación de usos del suelo del área minera de Río Tinto desde la explotación y balsas hasta su hipotética conducción de vertidos al río Odiel. De arriba a abajo: CLC-2000, clasificación supervisada, agrupación de clases según su rugosidad.

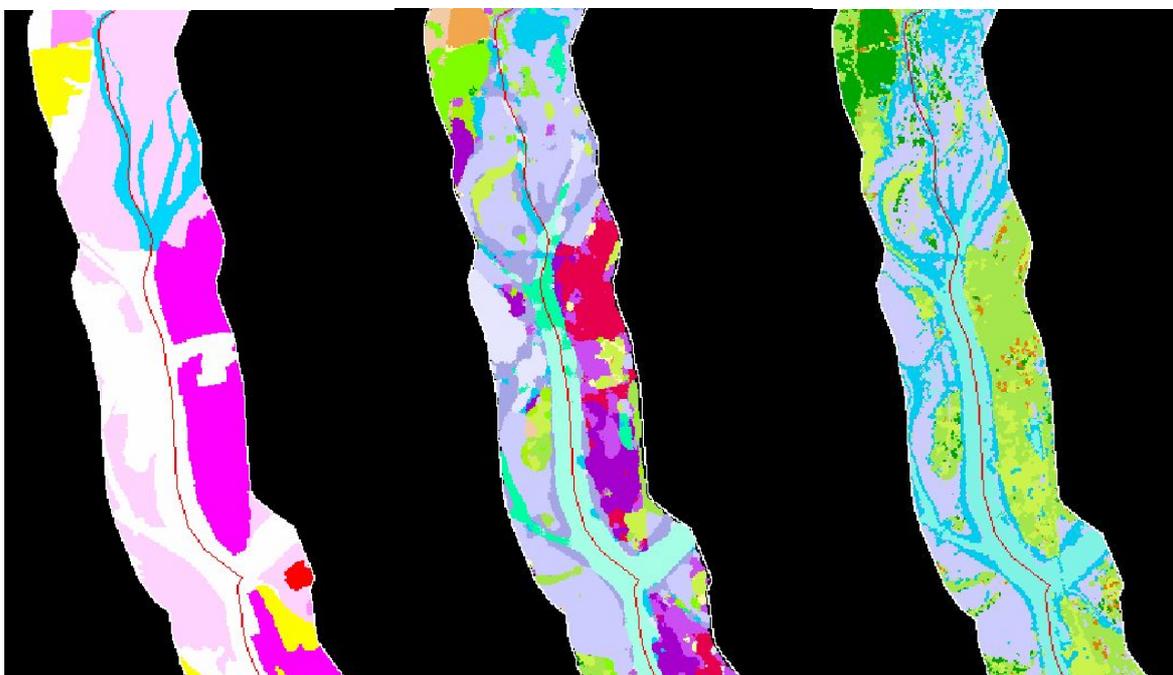


Figura 10: Clasificación de usos del suelo del área de las Marismas del Odiel. De arriba a abajo: CLC-2000, clasificación supervisada, agrupación de clases según su rugosidad.

6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del proyecto *A Regional Enterprise Network Decision-Support System for Environmental Risk and Disaster Management of Large-Scale Industrial Spills (e-EcoRisk)*, contrato EVG1-2002-00068, dentro del programa *Energy, Environment & Sustainable Development* del V Programa marco de la UE y del proyecto *Diseño de un protocolo de análisis de zona de afectación mediante imágenes de satélite*, referencia CTM2004-22681-E, financiado como Acción Complementaria dentro del Programa Nacional de Cooperación Internacional de Ciencia y Tecnología, del Ministerio de Educación y Ciencia de España. Cabe agradecer también al CNIG el haber facilitado el CLC en formato vectorial, y a los compañeros de la Universidad de Huelva, especialmente al Dr. Reinaldo Sáez, por toda la documentación aportada y por su compañía durante el trabajo de campo.

7. Referencias

- [1] <http://www.e-ecorisk.info>
- [2] Antón-Pacheco, C., Gumiel, J.C., de Miguel, E., López, E., Gómez, J.A., Giménez, M., Rejas, J.G., Guitérrez, O., Baretino, D., y Ortiz, G., 1999. Cartografía del vertido de lodos de la mina de Aznalcóllar mediante imágenes Daedalus ATM. *Revista de Teledetección*, n. 12, 6 pp.
- [3] Digital Globe, 2002. QuickBird Imagery Products Guide. ISO 9002, 56 pp.

- [4] CLC Report, 2000. Corine Land Cover technical guide-addendum 2000. Technical report n. 40, M. Bossard, J. Feranec and J. Otahel. European Environmental Agency.
- [5] Ortofotografía digital de Andalucía 1:5.000. Provincia de Huelva, 2004. Junta de Andalucía.
- [6] Limerinos, J.T., 1970. Determination of the Manning Coefficient from Measured Bed Roughness in Natural Channels. Water Supply Paper 1898B, United States Geological Survey.
- [7] Junta de Andalucía, 1999. Mapa de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía.
- [8] ENVI 4.3, 2006. ENVI User's Guide v4.3. Research Systems, Inc.
- [9] Vandeberg, G., 2003. Identification and Characterization of Mining Waste using Landsat Thematic Mapper Imagery, Cherokee County, Kansas. National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation. Billings, MT: ASMR.
- [10] Chavez, E.W., 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. Remote Sensing of Environment, 24, pp. 459-479.
- [11] Laben, C.A., and Brower, B.V., 2000. Process for Enhancing the Spatial Resolution of Multispectral Imagery Using Pan-Sharpener, US Patent 6,011,875.
- [12] Boardman, J.W., and Kruse, F.A., 1994. Automated spectral analysis: a geological example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada, in Proceedings, ERIM 10th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI, I-407-418.
- [13] Montserud, R.A. and Leamans, R., 1992. Comparing global vegetation maps with kappa statistic. Ecological Modelling, 62, 275-293.

SENSORES ÓPTICOS PARA LA MEDIDA “IN SITU” DE NITRATOS EN AGUAS RESIDUALES.

Jesús Alpuente Hermosilla ^(*), Pablo L. López Espí ^(*) e Irene de Bustamante Gutiérrez ^(**)

()Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universidad de Alcalá.*

*(**) Departamento de Geología. Universidad de Alcalá.*

1. Introducción.

El estudio de los niveles de concentración de contaminantes en aguas residuales es un hecho de especial relevancia. La directiva europea 2000/60/CE determina los parámetros indicadores de la calidad de las aguas subterráneas, estableciendo la necesidad de controlar, entre otros, la concentración de nitratos. En este trabajo se expone un método de estimación de dicha concentración, basado en algoritmos evolutivos, mediante el cual es posible obtener la cantidad de nitratos presente en una muestra de agua residual.

Las sales de nitratos disueltas en agua presentan una respuesta espectral selectiva en longitud de onda, alcanzando el máximo de absorción en la zona del ultravioleta (210-230 nm). El valor de la absorción de potencia luminosa está relacionado con la concentración de nitratos.

La figura 1 muestra la variación de la transmitancia que se produce al añadir a una muestra de agua destilada diferentes concentraciones de sales de nitrato en el rango de 200 a 800 nm (patrones). Las principales variaciones se producen en el intervalo de 200 a 300 nm. Se aprecia un desplazamiento de la longitud de onda de máxima absorción con la concentración. Tal y como se observa, el rango de variación de la transmitancia se encuentra entre el 10 y el 100%.

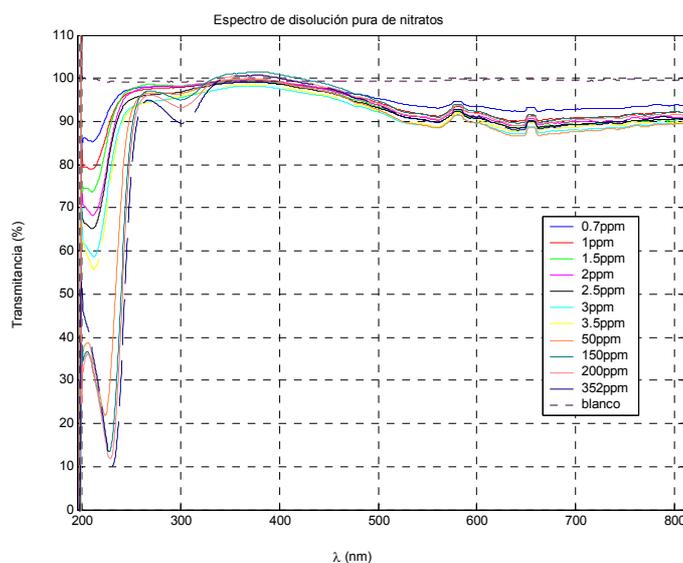


Figura 1.

La figura 2 muestra la variación de la transmitancia que presenta una muestra real de agua residual depurada en el filtro verde situado en la localidad de Redueña (Madrid). Se observa un pico de absorción debido a la presencia de nitratos en torno a 220 nm y una reducción sensible de la transmitancia que hace que sus valores estén comprendidos entre aproximadamente el 20 y el 70 %.

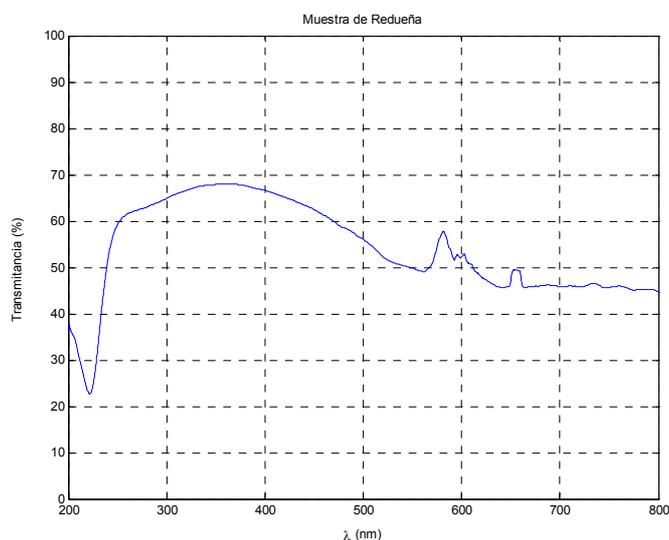


Figura 2.

La reducción de la transmitancia es debida al resto de compuestos que presenta el agua depurada, cuyos máximos de absorción están por encima del rango de longitudes de onda medidas, aunque contribuyen a enmascarar la respuesta en las longitudes de onda de interés para los nitratos (interferencia). Esto hace inadecuada la estimación de la concentración a partir de la transmitancia medida a una única longitud de onda. Para elegir el patrón más adecuado, estos deben ser adaptados con el fin de poder minimizar el error cuadrático de su diferencia con la muestra a estimar. Esta adaptación se realiza mediante un algoritmo de programación evolutiva clásica.

La solución aportada en este trabajo consiste en el estudio de la respuesta espectral de una muestra de agua depurada en un filtro verde, a partir de su comparación con la respuesta espectral de muestras de distintas concentraciones de sales de nitrato disueltas en agua destilada (patrones).

2. Metodología

De acuerdo con Fogel y Bäck y Schwefel, el algoritmo de Programación Evolutiva Clásica (PEC) con mutación auto-adaptativa puede describirse como sigue:

- a.) Generar una población inicial de μ individuos e inicializar el número de generaciones, $k=1$. Cada individuo está formado por una pareja de vectores de valores reales, (x_i, η_i) , $\forall i \in \{1, \dots, \mu\}$, donde las x_i 's son las variables objetivo y η_i son las desviaciones típicas de las mutaciones Gaussianas (parámetros estratégicos en los algoritmos evolutivos autoadaptativos).

- b.) Evaluar la adecuación de cada individuo (x_i, η_i) , $\forall i \in \{1, \dots, \mu\}$, de la población de acuerdo con la función objetivo $f(x_i)$.
- c.) Cada padre (x_i, η_i) , $i = 1.. \mu$, crea un hijo (x_i', η_i') de la siguiente forma: para $j = 1, \dots, n$
- $$x_i'(j) = x_i(j) + \eta_i(j) N_j(0,1)$$
- $$\eta_i'(j) = \eta_i(j) \exp(\tau' N(0,1) + \tau N_j(0,1))$$
- Donde $N(0,1)$ es una distribución normal unidimensional de media 0 y desviación típica 1. Los factores τ y τ' son respectivamente $(\sqrt{2\sqrt{n}})^{-1}$ y $(\sqrt{2n})^{-1}$ siendo n el número de variables a optimizar [1] y [10].
- d.) Calcular la adecuación de cada hijo (x_i', η_i') , $\forall i \in \{1.. \mu\}$.
- e.) Comparar la conducta de los padres (x_i, η_i) e hijos (x_i', η_i') $\forall i \in \{1, \dots, \mu\}$ dentro de un único conjunto común. Para cada individuo, se eligen q adversarios al azar para todos los padres y descendientes. En cada comparación si la adecuación del individuo es mejor que la de su oponente, este es marcado como ganador.
- f.) Seleccionar los μ individuos entre los (x_i, η_i) y (x_i', η_i') , $\forall i \in \{1, \dots, \mu\}$ que mayor número de victorias tengan, para ser los padres de la siguiente generación.
- g.) La ejecución del programa finalizará cuando se alcance el criterio de parada. En caso de no ser así, $k = k + 1$ y se retoma el proceso de nuevo desde el paso 3.

2.1 Aplicación a la estimación de nitratos

Este algoritmo puede utilizarse para la estimación de la concentración de nitratos en aguas residuales. La presencia de interferencias debidas a otros contaminantes, impide seleccionar directamente y con suficiente precisión el patrón más adecuado a la muestra a estimar debido a las diferencias del rango de variación de la transmitancia. El desplazamiento de la longitud de onda para la cual se produce el máximo de absorción con la concentración de nitratos permite diferenciar las concentraciones, aunque tampoco es suficiente para estimar la concentración con precisión en presencia de otros contaminantes. Para elegir el patrón más adecuado, estos deben ser adaptados con el fin de poder minimizar el error cuadrático de su diferencia con la muestra a estimar. Sea $m(\lambda)$ la respuesta espectral de la transmitancia de la muestra a estimar. Sean a y b dos valores reales comprendidos en el rango [0,1] y $p_i(\lambda)$ cada uno de los patrones. Adecuaremos cada uno de los patrones como muestra la siguiente ecuación:

$$x_i(\lambda) = a_i + b_i p_i(\lambda)$$

Para cada patrón, se trata de hallar los valores a_i y b_i que minimizan el error cuadrático de la siguiente expresión:

$$f(a_i, b_i) = \sum_{\lambda=200}^{300} (m(\lambda) - (a_i + b_i p_i(\lambda)))^2$$

Los valores óptimos de a_i y b_i se obtienen mediante el algoritmo evolutivo descrito en el punto anterior. Los valores iniciales de a_i y b_i se eligen aleatoriamente hasta formar una población con $\mu=50$ individuos (padres) para cada patrón.

A partir de ellos se generan 50 hijos siguiendo una distribución gaussiana cuya media es

igual a la del padre y cuya varianza esta dada por la ecuación 2, tomando $\sigma' = (\sqrt{2\sqrt{2}})^{-1}$ y

$\tau = (\sqrt{4})^{-1}$. El proceso se repite hasta completar 100 generaciones. Una vez hallado el par de valores (a_i, b_i) que minimizan el error de cada patrón, se decide que la concentración de la muestra es aquella que corresponde al patrón que presenta menor error cuadrático. La toma de muestras se realiza *in situ* mediante un sensor como el mostrado en la figura 3. El dispositivo permite el acoplamiento de sendas fibras ópticas de transmisión optimizada en el ultravioleta.

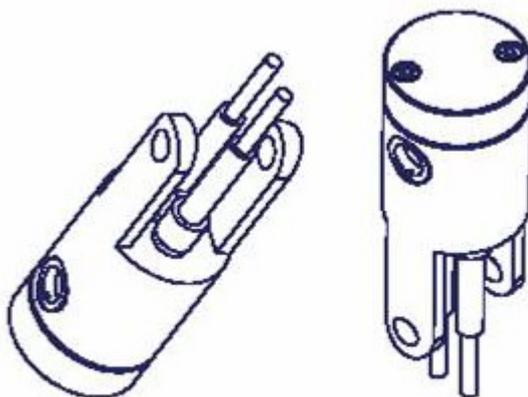


Figura 3. Vistas del sensor para medida de nitratos y del acoplamiento de las fibras ópticas al mismo.

3. Resultados

Con el fin de comprobar el funcionamiento del método descrito, se ha realizado la prueba sobre una muestra de agua depurada procedente del filtro verde de Redueña (Madrid), de la que se conoce que su concentración de nitratos es de 11 ppm. Para la estimación

se dispone de un conjunto de patrones desde 2 ppm hasta 50 ppm, en intervalos de 2 ppm, y desde 55 ppm hasta 100 ppm, en intervalos de 5 ppm de concentración.

Empleando estos valores para corregir el patrón seleccionado por el algoritmo de programación evolutiva (14 ppm), se obtiene la Figura 4. Esta figura muestra la transmitancia de la muestra a estimar (línea discontinua), y el patrón adaptado mediante el algoritmo evolutivo (línea continua). Se puede comprobar que ambas curvas son realmente muy similares, y la diferencia en la estimación realizada con el valor real de la muestra es debida a la variabilidad que presentan los patrones disponibles.

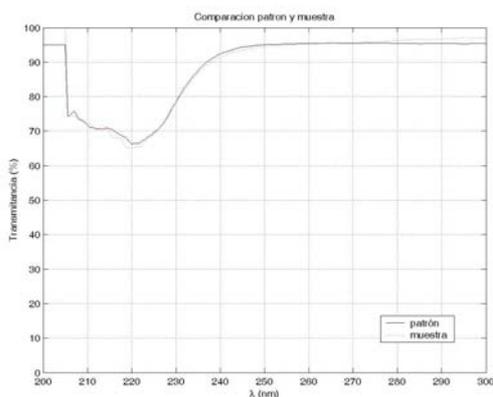


Figura 4. Comparación del patrón de 14 ppm adaptado y la muestra de agua depurada

4. Conclusiones

En este trabajo se describe un método mediante el cual es posible estimar la concentración de nitratos presentes en el agua residual depurada en un filtro verde aplicando el algoritmo de programación evolutiva clásica. Se ha comprobado la validez de este método en un problema real de estimación de la concentración de nitratos en una muestra proveniente de un filtro verde. La precisión de la estimación lograda con nuestro algoritmo evolutivo depende fundamentalmente de la calidad de los patrones empleados.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado con el apoyo de los proyectos REN2003-01248-HID, UAH PI2005/78, UAH PI2005/79, CAM-UAH2005/025 y el programa CONSOLIDER CSD2006-00044.

6. Referencias

- [1] D. B. Fogel, "An introduction to simulated evolutionary optimization", IEEE Trans. Neural Networks, vol.5, pp. 3-14, Enero 1994.
- [2] D. B. Fogel, "Evolving artificial intelligence", Ph.D. dissertation, Universidad de California, San Diego, CA, 1992.

- [3] D. B. Fogel, *Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence*, Piscataway, NJ : IEEE Press, 1995.
- [4] D. K. Gehlhaar y D.B. Fogel, "Tunnig evolutionary programming for conformationally flexible molecular docking", in *Evolutionary Programming V: Proc. Of the Fifth Annual Conference on Evolutionary Programming*, L. J. Fogel, P. J. Angeline y T. Bäck, Eds. Cambridge, MA: MIT Press, 1996, pp. 419-429.
- [5] Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del consejo, de 23 de Octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- [6] Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- [7] Directiva 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura.
- [8] T. Bäck y H.-P. Schwefel, "An overview of evolutionary algorithms for parameter optimization", *Evol.Comput.*, vol.1, no.1, pp. 1-23, 1993.
X. Yao y Y.Liu, "Fast evolution strategies", *Contr. Cybern.*, vol.26, no. 3, pp. 467-496, 1997.
- [9] P. L. López; S. Salcedo; I. de Bustamante; J. Alpuente. "Estimación de la concentración de nitratos en filtros verdes mediante algoritmos evolutivos". Libro de Actas del IV Congreso Español sobre Metaheurísticas, Algoritmos Evolutivos y Bioinspirados. Pp.515-519. Granada. Septiembre de 2005.

UTILIZACIÓN DE UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLES) PARA INSPECCIÓN DE LINEAS AÉREAS

José Luis Mata, Andres Roa, José María Muñoz y Luis Alvarado (*)
Teo Vitoria, Roberto Jarauta, Antonio Vallés y Pilar Herrera (**)

(*) *RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA (REE)*

(**) *ASOCIACIÓN DE LA INDUSTRIA NAVARRA (AIN)*

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento de infraestructuras lineales requiere que se realicen trabajos de inspección periódica que pasan, de forma inexorable, por recorrer su trazado completo con dispositivos de detección adecuados. Este es el caso de las líneas aéreas, donde los trabajos de inspección resultan especialmente complejos dado que su trazado recorre en ocasiones parajes naturales de difícil acceso, y con niveles de protección ambiental de diversa índole. Desde 1990 Red Eléctrica realiza estas inspecciones por medio de helicópteros tripulados, que recorren las líneas y por medio de cámaras de vídeo registran cualquier incidencia que requiera mantenimiento. Esta metodología de inspección tiene un gran potencial, pero adolece de ciertas limitaciones e inconvenientes, relacionadas con el coste y la seguridad.

Red Eléctrica y AIN están desarrollando métodos alternativos, basados en helicópteros no tripulados (UAV – Unmanned Aerial Vehicle) para complementar, y eventualmente sustituir al gran helicóptero, en la realización de estas inspecciones. Se trata por ello de un auténtico robot aéreo que permite realizar tareas de teledetección. El desarrollo de este sistema de inspección va mucho más allá del propio desarrollo del helicóptero o de su control de vuelo. Es precisa la integración de un sistema de sensores (vídeo y otro tipo de cámaras) de tamaño reducido, que puedan ser gestionados de forma remota y que ofrezcan grabaciones de calidad suficiente. Adicionalmente, debe disponerse de un sistema preciso de navegación y de posicionamiento GPS, debe garantizarse la comunicación entre la estación base y el vehículo, debe dotarse al mismo de sistemas de seguridad de vuelo y, en el caso que nos ocupa, debe verificarse que todo el sistema es compatible desde un punto de vista electromagnético con el entorno donde se desarrolla la inspección.



ANTECEDENTES: INSPECCIÓN DE LÍNEAS AÉREAS CON HELICÓPTERO



Red Eléctrica lleva años realizando inspecciones de sus líneas aéreas por medio de helicópteros tripulados, que sobrevuelan las líneas y por medio de cámaras de video registran cualquier incidencia que requiera mantenimiento. En términos generales se realizan dos tipos de inspección:

- La inspección normal es una inspección visual que no incluye grabación alguna, que se realiza "sobrevolando" la línea con helicóptero, y que permite identificar problemas importantes que requieren actuaciones urgentes.
- Inspección intensiva por su parte, es una inspección realizada con medios

especiales, que incluye la filmación de la línea y posterior visionado en laboratorio.

Las características de ambas inspecciones son distintas:

- Así, la inspección intensiva se hace una vez cada seis años, mientras que la inspección normal se realiza de forma anual en los circuitos donde no se ha llevado a cabo la inspección intensiva.
- Otra característica de la inspección intensiva es que se ejecuta de circuitos de línea completos (no de tramos).
- La inspección intensiva viene definida por las características del vuelo, que se realizará a una velocidad situada aproximadamente entre 20 y 30 km/h (velocidades superiores a las indicadas suponen pérdida en la precisión de la observación). A su vez el vuelo se realizará en paralelo a la línea, a una altura situada, aproximadamente, entre cable de tierra y conductores, y a una distancia adecuada para la observación de la línea.

La metodología de la inspección intensiva incluye el reconocimiento de aquellos elementos cuyas anomalías sean detectables desde el helicóptero en vuelo. Así se fija la atención en los siguientes elementos y defectos:

- Cadenas de aisladores (aisladores rotos, herrajes oxidados, etc.).
- Estado de los conductores (existencia de venas rotas, venas afloradas, manguitos de reparación, etc.).
- Estado de cable de tierra y latiguillos de conexión al apoyo.
- Herrajes del cable de tierra.
- Separadores, antivibradores y descargadores.
- Estado general de la estructura.
- Cruzamientos nuevos con líneas de A.T., B.T., etc.
- Edificaciones nuevas bajo línea.
- Cualquier otro dato que se considere de interés.

Adicionalmente, y en especial en los casos donde se atraviesan zonas con vegetación abundante, es objeto de estas inspecciones verificar:

- Peanas cubiertas por tierra o vegetación.
- Arbolado cercano a la línea.

Es importante señalar la importancia de que la vegetación circundante no invade el pasillo de seguridad que debe existir en torno a la línea. Esta situación incurriría en riesgo de cortocircuitos para el sistema eléctrico, y de incendios para el entorno. Es por ello que en esos casos es preciso proceder a una tala ordenada de la vegetación. Es evidente que esta acción tiene por sí misma un importante valor medioambiental.

DESARROLLO DE PLATAFORMA UAV DE INSPECCIÓN DE LÍNEAS AÉREAS

Justificación de la necesidad

La metodología de inspección con helicóptero ha demostrado ser una forma eficaz de evaluar y detectar las anomalías en las líneas eléctricas, siendo en términos generales una forma de trabajar respetuosa con el medio ambiente (evita tener que recorrer por tierra zonas que no siempre disponen de pistas o caminos de acceso). No obstante adolece de ciertos inconvenientes. En primer lugar, siendo la relación coste-beneficio razonable, el coste es significativo. Por otra parte, los trabajos en helicóptero siempre implican un riesgo para quien los realiza.

Como alternativa que permita superar estas limitaciones Red Eléctrica está desarrollando métodos basados en helicópteros no tripulados (UAV – Unmanned Aerial Vehicle) para complementar, y eventualmente sustituir al gran helicóptero, en la realización de estas tareas. Si bien es cierto que la tecnología de vehículos UAV está en un momento de clara expansión, y que existen numerosas soluciones (más en el ámbito militar que para aplicaciones civiles), la prospección de mercado que se realizó por parte de AIN y RED ELÉCTRICA puso de manifiesto que **no existía un sistema aéreo robotizado, específicamente concebido para la inspección intensiva de líneas eléctricas.**



Descripción del sistema

El objetivo del proyecto es disponer de un auténtico robot aéreo que permita realizar las tareas de teledetección propias de las inspecciones intensivas. Para ello se ha optado por un trabajo de integración de sistemas, muchos de ellos comerciales, manteniendo en todo momento el control de los desarrollos software, lo que permite corregir problemas y mejorar la integración de sistemas.

Las peculiaridades del sistema UAV son:

- **Helicóptero:**
Este debe ser adecuado a la aplicación en cuanto a su tamaño, capacidad de carga, autonomía, rango de operación y fiabilidad. Inicialmente se especifica que el tamaño total no exceda los 25 kg., entendiéndose que por debajo de este peso no existirán restricciones para su uso una vez se desarrolle una regulación para UAV.
- **Plataforma de sensores de alta calidad:**
Se ha optado por dotar al aparato de sensores de navegación de alta calidad: IMU (unidad inercial), magnetómetro ("compass"), utilización de GPS diferencias, medidores de r.p.m....
- **Control de vuelo:**
El control de vuelo incluye la automatización del **despegue**, **aterriaje**, navegación autónoma tanto por coordenadas como por desplazamientos incrementales, así como el **vuelo estacionario** (sin desplazamiento) incluso en condiciones de viento moderado.
- **Sistema de navegación:**
Se requiere que este sistema sea **de gran precisión**, que garantice que se realiza la ruta necesaria. Los modos de navegación garantizan la máxima operatividad: navegación predefinida, intervención de operador de vuelo, etc....
- **Capacidades "extra" de navegación:**
Con el fin de dotarle de la máxima fiabilidad se especifican sistemas específicos tales como el sistema de "vuelta a casa automático" en caso de pérdida de comunicación, o el sistema de "detección de obstáculos" que eviten impactos indeseados...
- **Sistema de comunicación:**
El sistema de comunicación debe permitir tanto la navegación y control como para las necesidades de transmisión de información (video) que sean precisas. Dado que las soluciones del tipo GPRS o UMTS no garantizan la cobertura 100% (especialmente en los parajes por los que discurren las líneas eléctricas), el sistema se plantea con comunicaciones, tanto para el sistema de navegación como sistema de visión (incluido su control), con comunicación RF dentro de la línea de visión (LOS). Esto tiene unas limitaciones importantes cuya resolución debe ser abordada en futuros desarrollos.
- **Plataforma de video** (u otros sistemas alternativos):
La principal característica del proyecto es que debe garantizar una **muy alta calidad** de imagen (vídeo). Esta restricción es la más severa del sistema, ya que el patrón de comparación es la imagen obtenida con el sistema de video del helicóptero grande, y el objetivo es lograr una calidad equivalente con elementos de tamaño reducido.
- **Compatibilidad electromagnética:**
Por último el diseño debe garantizar la operatividad del sistema en un entorno con **campos electromagnéticos** de intensidad considerable (su medio "natural" de operación).

PRINCIPALES PROBLEMAS ASOCIADOS AL DESARROLLO

Calidad de imagen

El principal escollo que se ha encontrado en el desarrollo del prototipo es lograr una calidad de imagen suficiente a la especificada. Para ello se parte de los desarrollos de sistemas giroestabilizados. Según sea su capacidad para eliminar vibraciones en la imagen, estos se clasifican en A, A-1, B, C, C-1 y D. Los sistemas A y A-1 son de gran ancho de banda porque eliminan ("compensan") tanto los movimientos de baja como de alta frecuencia. Se trata de sistemas electrónicos basados en giróscopos de fibra óptica de gran precisión y actuadores ultrarrápidos mediante los que se consiguen niveles de giroestabilización de 5 microradianes. Los sistemas B son de bajo ancho de banda, es decir sólo compensan los movimientos de baja frecuencia. Los C son sistemas pasivos y los C-1 y D aunque activos, son menos avanzados consiguiendo calidad de imagen inferior.

El sistema de visión inicialmente utilizado, cuyas especificaciones de tamaño resultaban compatibles con el peso máximo del aparato, era capaz de garantizar una estabilización de 180 microradianes. Los intentos para incrementar la estabilización por medio de plataformas antivibración, cámaras giroestabilizadas, o de sistemas de estabilización de imagen no ofrecen una calidad de imagen suficiente. Tras las pruebas realizadas se ha identificado como nivel adecuado de estabilización el rango entre 10 y 35 microradianes. Las cámaras disponibles de esta calidad son de un peso superior, lo que implica que la **especificación inicial de que el sistema total no supere los 25 kg. no es viable.**

Por otra parte, para que estos sistemas resulten efectivos es preciso que la vibración rotacional (por ejemplo según el eje horizontal transversal al vehículo), que es la más perjudicial para la calidad de la imagen, se encuentre contenida dentro de unos márgenes adecuados tanto de amplitud como de frecuencia. Esto requiere una interfaz mecánica específica (soporte antivibratorio) para disminuir al máximo esta vibración angular.

Compatibilidad electromagnética

Uno de los retos más significativos del desarrollo UAV realizado en el proyecto es verificar el adecuado nivel de compatibilidad electromagnética de los diversos subsistemas que lo componen. En particular se ha estudiado la influencia en:

- Sensores y actuadores del sistema de navegación
- Electrónica y Comunicaciones del sistema de navegación
- Electrónica y Comunicaciones del sistema de visión

Para ello se han realizado diversas pruebas que contemplaron el registro de la información captada por diversos sensores del sistema electrónico. Con esta finalidad se programaron las diversas pruebas encaminadas a observar:

- Alteraciones en el sensor de imagen
- Alteraciones en la actuación de los servos
- Alteraciones en las lecturas del magnetómetro y medidor de r.p.m.

En las pruebas no se apreció problema alguno ni alteración **en el sistema de visión**, ni en la calidad de la imagen ni en el sistema de posicionamiento de la misma. Se concluye

que no se aprecia influencia ni en los sistemas de comunicaciones que permiten visualizar la imagen en la estación de tierra, ni en el sistema de comunicaciones que permite mover la cámara de forma remota desde la misma. Tampoco se ha observado un comportamiento anómalo en la **actuación de servos**, que se hubiera manifestado por movimiento errático o salto en el recorrido. Por otra parte, las pruebas permitieron concluir que el comportamiento de los **componentes electrónicos** (diferentes placas acondicionadoras y procesadoras, procesador, etc.) es aceptable.

Finalmente se realizaron pruebas específicamente destinadas a observar las alteraciones en las **lecturas del magnetómetro** producidas por el campo magnético generado por la línea, dado que a priori este es el elemento más sensible al campo magnético. De hecho, este dispositivo mide el campo magnético presente, en este caso la suma del de la Tierra y el producido por otros elementos. Por lo tanto, debería ser sensible a las alteraciones en campo magnético producidas por la línea. Las variaciones en las lecturas de campo magnético en el magnetómetro al cruzar los conductores de la línea de manera continuada con el robot aéreo en una excursión de ida y vuelta suponen una variación de 0,03 Gauss, cuando el campo magnético de la Tierra oscila entre 0,4 y 0,6 Gauss. Esto errores derivados en las lecturas del magnetómetro se considera que tendrán una incidencia menor en la correcta orientación del vehículo.

Si bien los resultados obtenidos, a través de las pruebas realizadas, son altamente positivos y tranquilizadores para la operación segura del robot en el entorno de la aplicación de inspección de líneas se concluye que es preciso dotar al sistema de mecanismos de mitigación de las mismas tales como:

- Estrategias de control de navegación que sean menos dependientes de sensores basados en la medida del campo magnético de la Tierra
- Dispositivos de apantallamiento del hardware con objeto aumentar su inmunidad frente a campos electromagnéticos.

Certificación de UAV

En USA, que va por delante de Europa en este tema, la FAA (Federal Aviation Administration) ha empezado a emitir los llamados COA (Certificate of Authorization) para agencias gubernamentales y certificados experimentales de aeronavegabilidad para la industria privada. Estos procesos están diseñados para permitir una operación suficientemente restringida en el espacio aéreo, con el fin de asegurar un entorno seguro, pero a la vez permitir la investigación y desarrollo de los sistemas en tanto en cuanto no existan regulaciones. Por otra parte FAA ha propiciado la creación de un comité para el desarrollo de MASPS "Minimum Aviation System Performance Standar", es decir unas normas que permitirán a fabricantes construir aviónica certificable para UAV. Se espera que MASPS para aviónica tardará entre 3 y 4 años en ser desarrollada.

En la actualidad no existe una reglamentación en Europa sobre UAV, por lo que cualquier consideración al respecto se mantiene en el terreno de la elucubración. Dicha reglamentación debería definir las características que dichos dispositivos deberían reunir (redundancia de sensores, sistema de comunicaciones con la estación de tierra y con el control de tráfico aéreo etc.) con el fin de garantizar la operación segura del UAV en su integración en el espacio aéreo. Esta situación introduce indeterminaciones en la especificación, lo que dificulta a la postre el desarrollo.

Lo que sí es evidente es que aspectos de la especificación del aparato (incluidos aspectos tan básicos sobre el diseño como puede ser el tamaño y peso del mismo) vendrán condicionados en el futuro por esta reglamentación. Y este hecho es el que en un primer momento introdujo la restricción en el diseño de un máximo de 25 kg., restricción que ha demostrado no ser suficiente para la aplicación de inspección intensiva de líneas con la calidad de imagen requerida.

CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES DEL UAV

La utilización de este tipo de vehículos tiene evidentes ventajas en cuanto a reducción de costes, etc. pero sin duda su desarrollo y utilización en zonas de valor ecológico supone una mejora sustancial de tipo medioambiental. Entre las mejoras que cabe destacar señalamos:

- Al igual que el helicóptero grande, evita discurrir por dichas zonas con vehículos terrestres. A su vez se confirma como una herramienta válida para realizar tareas de mantenimiento con alto valor de protección del medio ambiente.
- El UAV tiene un tamaño considerablemente menor, y es considerablemente menos ruidoso, que un helicóptero grande, lo que reduce en un menor impacto sobre el entorno durante el proceso de inspección.
- El consumo de combustible, y por ende la emisión de gases de efecto invernadero, se reduce también notablemente respecto al helicóptero grande.
- La reducción de costes permitiría incrementar la frecuencia de las inspecciones en aquellas zonas que por sus características así se recomendase, minimizando el riesgo de incendios.
- Finalmente, reduce al mínimo las consecuencias en caso de accidente.

Se trata por lo tanto de un desarrollo que permite explorar nuevas formas de teledetección en zonas de difícil acceso, reduciendo de forma significativa el impacto ambiental que este tipo de actuaciones pueda tener. Su aplicación se puede ampliar a:

- Detección de incendios.
- Valoración de catástrofes.
- Inspección de infraestructuras fijas o lineales.
- Facilita trabajos de inspección en zonas de difícil acceso.
- Reducción del impacto ambiental de inspecciones.

CONCLUSIONES

El mantenimiento de infraestructuras lineales requiere que se realicen trabajos de inspección periódica que pasan, de forma inexorable, por recorrer su trazado completo con dispositivos de detección adecuados. Este es el caso de las líneas aéreas, donde los trabajos de inspección resultan especialmente complejos dado que su trazado recorre en ocasiones parajes naturales de difícil acceso, y con niveles de protección ambiental de diversa índole.

Red Eléctrica y AIN están desarrollando métodos alternativos, basados en helicópteros no tripulados (UAV – Unmanned Aerial Vehicle) para complementar, y eventualmente sustituir al gran helicóptero, en la realización de estas tareas. Se trata por ello de un auténtico robot aéreo que permite realizar tareas de teledetección.

El desarrollo de este sistema de inspección va mucho más allá del propio desarrollo del equipo UAV. Es precisa la integración de un sistema de sensores (vídeo y otro tipo de cámaras) de tamaño reducido, que puedan ser gestionados de forma remota y que ofrezcan grabaciones de calidad. Adicionalmente, debe verificarse que todo el sistema es compatible desde un punto de vista electromagnético con el entorno donde se desarrolla la inspección.

En el estado actual de los trabajos se pueden establecer las siguientes **conclusiones**:

- Se dispone de un vehículo con capacidad de vuelo autónomo garantizada.
- Se ha verificado la capacidad de captar imágenes de una determinada calidad, suficiente para muchas aplicaciones, pero no para la inspección de líneas. Para ello es preciso ir a sistemas de mayor tamaño que garanticen una mayor giroestabilización. No obstante, siempre será preciso depurar los sistemas de aislamiento de vibraciones.
- Lo anterior se traduce en que una necesidad de disponer de UAV de tamaño superior a 25 kg. total.
- El sistema tiene un valor ecológico importante, ya que reduce el tránsito de vehículos terrestres, reduce la emisión de ruidos, el consumo de combustibles con emisión de gases invernadero, etc.
- Es una herramienta válida para realizar otro tipo de tareas de inspección con alto valor de protección del medio ambiente

SEGUIMIENTO MEDIOAMBIENTAL DE DERRAMES DE PETRÓLEO MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE

Carlos Hernández Medina y Cristóbal López López

Energías Renovables y Desarrollos Alternativos, EREDA, Madrid, 28007 Spain

E-mail: carlos.hernandez@uem.es

Resumen. Esta comunicación muestra el resultado del desarrollo de un sistema de seguimiento ambiental para las actividades derivadas de la explotación petrolífera mediante el uso de imágenes de satélite y de sistemas de información geográfica (SIG). Este sistema de seguimiento ambiental fue parte de un proyecto internacional TACIS (Technical Assistance to the Commonwealth of Independent States) denominado "Assistance for new oil fields development". El impacto ambiental más importante de la explotación petrolífera en Siberia son los derrames de petróleo y la pérdida de suelo debida a la construcción de las infraestructuras necesarias para esta actividad (accesos, plataformas, oleoductos, etc.). Mediante un serie temporal de imágenes multiespectrales Landsat Thematic Mapper desde 1981 hasta 1996 cartografiamos el desarrollo de los derrames de petróleo y de las infraestructuras en el campo petrolífero de Samotlor. Estos mapas nos permitieron analizar y cuantificar el desarrollo de la contaminación y del crecimiento de las infraestructuras. La superficie afectada por derrames de petróleo ha sido estimada en 13 km². Tanto los derrames de petróleo como las infraestructuras crecieron cada año del periodo estudiado, pero las infraestructuras tienen una menor velocidad de crecimiento que los derrames de petróleo. La cartografía obtenida mediante las imágenes de satélite fue validada con estudios de campo. Esta metodología puede ser utilizada para optimizar el desarrollo de las infraestructuras desde la fase de planificación y para el seguimiento de nuevos derrames de petróleo.

Palabras clave: derrames de petróleo, cartografía de infraestructuras, seguimiento ambiental, Landsat TM, análisis multitemporal;

1. ZONA DE ESTUDIO

El campo petrolífero de Samotlor esta situado en la cuenca siberiana occidental, la mayor cuenca petrolífera en el mundo cubriendo un área de 2,2 millones de km². La cuenca ocupa una planicie pantanosa entre los Urales y el río Yensey (figura 1). El campo petrolífero de Samotlor fue descubierto en 1965 y produjo 2,2 millones de barriles en 1976, un 20% del total de la producción de la antigua USSR (Ulmishek, 2003). Samotlor es el mayor campo petrolífero en tierra firme del mundo y su evolución esta bien documentada (Clarke et al. 1977).

Se encuentra en zonas de bosque con numerosas áreas pantanosas, el permafrost no es tan importante como en latitudes mayores y el clima es menos extremo empezando el deshielo con anterioridad que en la zona ártica. Es un área plana, ligeramente inclinada hacia el norte donde desembocan los ríos de la zona que son anchos, profundos y meandriiformes.

Geologicamente, las reservas de petróleo de Samotlor se encuentran en areniscas cretácicas (Noeocomiense) en una trampa anticlinal. Las areniscas se formaron en un ambiente de plataforma marina somera (Clark et al, 1977).

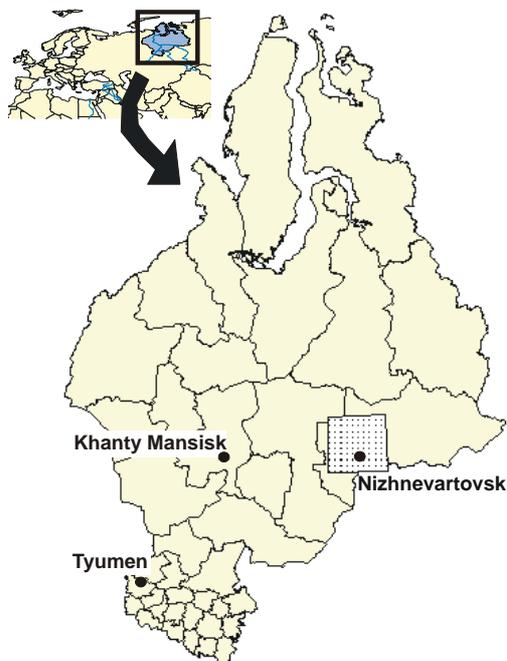


Figura 1. Mapa de situación. El campo petrolífero de Samotlor está situado 25 al noreste de la ciudad de Nizhnevartovsk.

La red de carreteras y ferrocarril es muy escasa en Liberia occidental y el mantenimiento de la existente es muy difícil debido a las avenidas producidas en la época de deshielo y las numerosas zonas pantanosas que cortan estas infraestructuras. Durante el desarrollo del campo de Samotlor se perdió entre un 35% y un 31,5% del área cubierta por bosques en la zona.

2. METODOLOGÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN.

Para evitar que la cubierta estuviese cubierta de nieve se seleccionaron imágenes de verano, la miniescena TM path/row 155/17 en las fechas 2/7/1985, 26/7/1988, 5/7/1992 y 16/7/1996 (Figura 1). También se utilizó cartografía a escalas 1:100.000 y 1:50.000 y un modelo digital del terreno. Las imágenes fueron rectificadas a la proyección Pulkovo utilizando mapas topográficos a escala 1:50.000 como base cartográfica. El RMS medio fue inferior al tamaño de un píxel, 30m.

Para generar los mapas de usos del suelo de cada fecha se utilizó el algoritmo de clasificación automática de máxima probabilidad. Para optimizar los resultados de la clasificación se tomaron zonas de entrenamiento o de verdad terreno en varios sitios para

cada clase y cada clase se dividió en diferentes firmas espectrales de entrenamiento. Éstas. Finalmente, se agruparon en clases más generales. Las categorías cartografiadas en los mapas de usos del suelo son:

- Vegetación1: Bosques con índices de vegetación inferiores a la vegetación de ribera (Spruces, Picea abies, Scots pines, Pinus sylvestris, Firs, Abies sibirica, Larches, Larix sibirica, Birches, Betula pubescens, etc.)
- Vegetación2: vegetación de ribera (Herbaceous species, Salix sp.)
- Zonas pantanosa1 y pantanosa2: dependiendo del ratio vegetación/agua. Pantanosa 1 tiene predominio de agua y pantanosa2 con mayor contenido de vegetación.
- Agua
- Suelo: incluye aquellos píxeles sin vegetación, con el suelo al descubierto.
- Derrames de petróleo: el método de la máxima probabilidad fue capaz de discriminarlos del resto de las clases. Solo tuvimos problemas con la clase de suelos que incluye zonas de turba cuyo origen orgánico hace que tenga una respuesta espectral similar. Estas áreas fueron fotointerpretadas y digitalizadas manualmente.
- Infraestructuras: En esta clase hemos agrupado carreteras, edificios, caminos, etc. Su firma espectral es muy característica debido a una gran reflectividad en la parte del espectro del visible. Se hicieron estudios multitemporales de la evolución de estas infraestructuras.
- Nubes: menos del 5% en la imagen de 1992. para esta fecha fue imposible conseguir imágenes con un 0% de nubes.

Hay muchas referencias sobre estudios realizados en la detección de derrames de petróleo en mar utilizando imágenes de radar (Hodgins *et al.* 1996; Martínez & Moreno, 1996; Pedersen *et al.* 1996; MacDonald *et al.* 2000; Nirchio *et al.* 2002), también con datos multispectrales (Davis *et al.* 1994), pero muy pocas sobre identificación de derrames en tierra (Ellis *et al.* 2001). Las primeras referencias existentes se realizaron en campañas de exploración petrolífera y tratan sobre la identificación de pequeños escapes de petróleo (Zeinalov, 2000). Actualmente hay varias herramientas en desarrollo basadas en sensores hiperespectrales (Ellis *et al.* 2000; van der Meer *et al.* 2000; Ustin *et al.* n.d.).

En nuestro caso, debido al gran contraste espectral entre las cubiertas existentes y los derrames de petróleo (figura 2), fuimos capaces de cartografiarlos utilizando imágenes de un sensor multispectral (Thematic Mapper). La única ambigüedad se encontró con algunos suelos de turba que tienen una composición similar. Las zonas de turba se identificaron y cartografiaron dentro de la categoría de suelos.

La precisión de la clasificación de los derrames de petróleo (Chuvieco, 1996) fue calculada a partir de 176 puntos de muestreo en campo (~1% del área estudiada). Algunos suelos de turba fueron clasificados como derrames de petróleo, para evitar este

error se realizó un trabajo de campo que nos ayudo a mejorar la precisión hasta un 97%. Debido a la dificultad de desplazamientos y el poco tiempo que tuvimos para el trabajo de comprobación en campo, nos centramos en la cartografía de detalle de derrames de petróleo y de infraestructuras en la imagen de 1996.

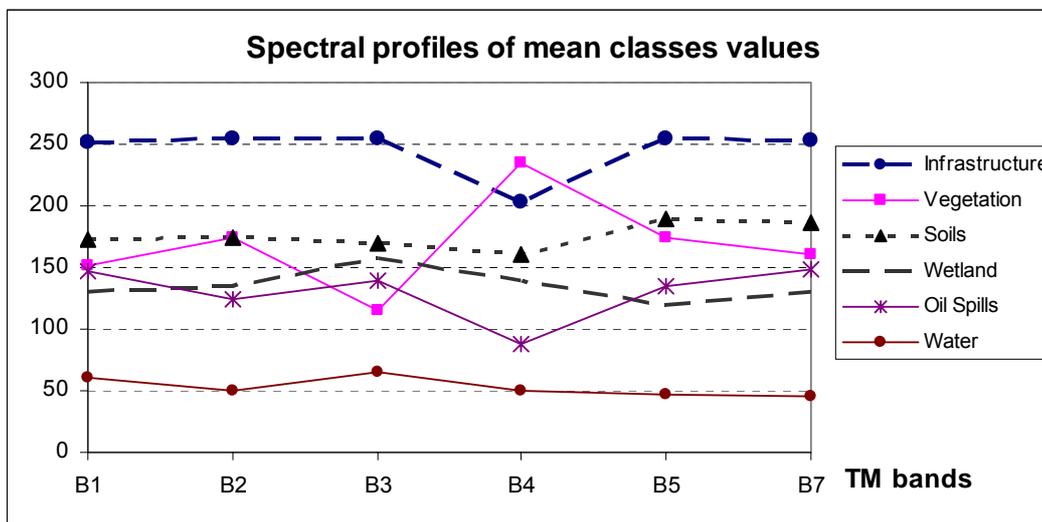


Figura 2. Firmas espectrales de las categorías. Datos tomados de la miniescena TM de 1996.

3. IMPACTOS AMBIENTALES.

Los derrames de petróleo y el desarrollo de infraestructuras tienen impactos significativos sobre:

Población, en términos de cambios de los usos del suelo

Paisaje

Agua (contaminación del agua superficial y subterránea)

Suelos. En las zonas de Permafrost los suelos son débiles y tienen poca resistencia a la degradación

Vegetación. Pérdida de vegetación y variaciones en los ciclos de los nutrientes.

Fauna

Los derrames de petróleo contaminan directamente el agua, los suelos y la vegetación. La construcción de infraestructuras implica la pérdida de vegetación, cambios de los usos del suelo, modificaciones de los cursos de agua, contaminación sonora y visual. Las infraestructuras nos sirvieron para estudiar la evolución temporal en el desarrollo del campo petrolífero de Samotlor.

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos del tratamiento de las imágenes indican:

- La presencia de un gran número de derrames de petróleo y una gran superficie afectada por ellos, de más de 13 km² en 1996 en el área de Samotlor
- Tanto la superficie afectada por los derrames de petróleo como la cubierta por infraestructuras aumentan cada año.

Los resultados cuantitativos muestran el área ocupada por derrames de petróleo e infraestructuras (tabla 1). La figura 4 muestra la evolución de ambas variables con el tiempo

	1985	1988	1992	1996
Infraestructuras (%)	7.61	10.26	12.14	13.02
Derrames de Petróleo(%)	1.53	2.50	3.20	3.34

Table 1. Area covered for Oil Spills and Infrastructures in percentage values from 1985 to 1996.

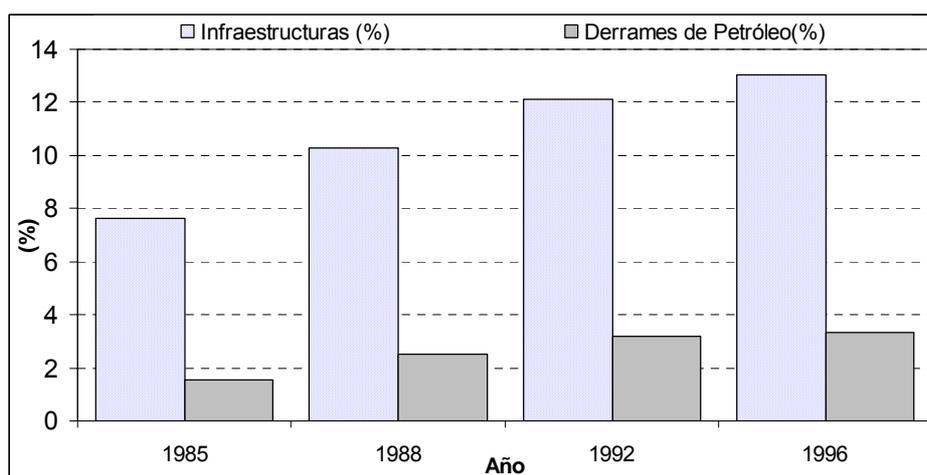


Figura 4. Evolución desde 1985 hasta 1996 de los derrames de petróleo y las infraestructuras

En el periodo 1985-1996 los derrames de petróleo aumentaron en un 1,91% y las infraestructuras un 5,41%. Mostrando que el área afectada aumenta cada año en ambos casos. Ambos indicadores (derrames de petróleo e infraestructuras) están muy relacionados como lo demuestra su alto índice de correlación ($r^2 = 0.99$).

5. CONCLUSIONES.

Con imágenes del satélite Landsat TM fue posible realizar una cartografía precisa de los derrames de petróleo y de las infraestructuras en Samotlor. Esto nos permitió hacer un estudio multitemporal y observar la evolución y los impactos producidos sobre el medio ambiente. Antes de este proyecto solo existían mapas de usos del suelo y de derrames de petróleo de una sola fecha, de escala regional y de poca precisión.

La superficie afectada por los derrames es de 13 km². El área cubierta por derrames e infraestructuras creció un 1,81 y un 5,41 %, respectivamente, en el periodo 1985-1996. El desarrollo de las infraestructuras ha sido caótico y no se ha seguido ningún criterio de optimización en su planeamiento.

Se ha generado mapas de usos del suelo de grandes áreas de difícil acceso y cubiertas de nieves 9 meses al año. Debido a la lejanía de núcleos de población y las pocas carreteras y caminos existentes, un método de recopilación de información cartográfica tradicional es inviable. Por el contrario las imágenes de satélite tienen una relación precio/área cubierta muy buena, especialmente para áreas tan extensas. La metodología propuesta ha sido introducida en las autoridades ambientales locales para su utilización y comprobación.

Además esta metodología se ha mostrado tremendamente útil para la optimización y organización en el desarrollo de infraestructuras que se podría realizar desde la fase de planificación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la European Comisión como un proyecto TACIS (Technical Assistance to the Commonwealth of Independent States, TACIS ERUS 9308). También queremos agradecer la contribución de Ascen Encinas a este trabajo

BIBLIOGRAFÍA

- BROWN, C.E., NELSON, R., FINGAS F.M. and MULLIN, J.V., 1997, Airborne laser fluorosensing: overflights during lift operations of a sunken oil barge. In: *Proceedings of the Fourth Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments*, **1**, 23-30, (Michigan, Environmental Research Institute of Michigan).
- CHUVIECO, E., 1990, *Fundamentos de teledetección especial*, (Editorial Rialp, Madrid, Spain).
- CLARKE, J. W., GIRARD, O W. JR, PETERSON, J., RACHLIN, J., 1977, *Petroleum geology of the West Siberian Basin and a detailed description of the Samotlor oil field*. Open-File Report: **OF 77-0871**, (U. S. Geological Survey).
- DAVIS, H. H., CALDWELL, P. D., GOODWIN, P. B., KARVER, E., 1994, Use of SPOT satellite imagery to obtain GIS input for oil spill models. In: *Proceedings of the Tenth thematic conference on geologic remote sensing; exploration, environment, and engineering*, **10**, II.55-II.64.
- ELLIS, J. M., DAVIS, H. H., QUINN, M. B., 2000, Airborne hyperspectral imagery for the petroleum industry. In: *Proceedings of the Fourteenth international conference on Applied geologic remote sensing*, **14**, 89-96, (Ann Arbor, MI: Veridan ERIM International).
- ELLIS, J. M., DAVIS, H. H., ZAMUDIO, J. A., 2001, Exploring for onshore oil seeps with hyperspectral imaging. *Oil and Gas Journal*, **99-37**, 49-58.
- FINGAS F. M., and BROWN, C. E., 1997, Review of oil remote sensing. *Spill Science & technology Bulletin*, **4-4**, 199-208.
- HODGINS D. O., SALVADOR S. S., TINIS S. E., and NAZARENKO D., 1996, RADARSAT SAR for oil spill response, *Spill Science & Technology Bulletin*, **3-4**, 241-246.
- KÜHN, F., OPPERMANN, K., and HÖRIG, B., 2004, Hydrocarbon index – an algorithm for hyperspectral detection of hydrocarbons. *International Journal of Remote Sensing*, **25**, 2467-2473.
- MACDONALD, I. R., BUTHMAN, D. B., SAGER, W. W., PECCINI, M. B., and GUINASSO N. L., 2000, Pulsed oil discharge from a mud volcano. *Geology*, **28**, 907-910.
- MARTÍNEZ A. and MORENO V., 1996, An oil spill monitoring system based on SAR images. *Spill Science & Technology Bulletin*, **3**, 65-71.

- VAN DER MEER, F., VAN DIJK, P., SCHETSELAAR, E., LITTLE, M., PODLAHA, O., YANG, H., and BIEGERT, E., 2000, An integrated geoscience approach for hyperspectral hydrocarbon microseepage detection. In: *Proceedings of the Fourteenth international conference on Applied geologic remote sensing*, **14**, 81-88, (Ann Arbor, MI: Veridan ERIM International).
- NIRCHIO, F., SORGENTE, N., GIANCASPRO, A., PAVESE, P., RAVERA, R., and TRIVERO, P., 2002, A method to detect oil spill based on SAR images. In : *Oil and hydrocarbon spills III: modelling, analysis and control*, **11**, 395-403. (Southampton, UK: C.A. BREBBIA, Wessex Institute of Technology).
- PEDERSEN, J. P., SELJELV, L. G., STROM, G. D., FOLLUM, O. A., ANDERSEN, J. H., WAHL, T., and SKOELV, A., 1996, Oil spill detection by use of ERS SAR data; from R&D towards pre-operational early warning detection service. ERS applications. *European Space Agency, Special Publication*, **383**, 181-185.
- ULMISHEK, G. F., 2003, Petroleum geology and resources of the West Siberian Basin, Russia. *U. S. Geological Survey Bulletin*, Report: **B 2201-G**, 49. 2003. Available on line at: <http://pubs.usgs.gov/bul/b2201-g/>.
- USTIN S. L., COSTICK L., PALACIOS-ORUETA A., SANDERSON E. W., PINZON J. E., and JACKSON L., (n.d.) Hyperspectral Remote Sensing, Environmental Applications for the Petroleum Industry. (Department of Land, Air, and Water Resources, University of California, Davis, CA 95616 and Chevron Research and Technology Company Richmond, CA 94802). Available on line: <http://www.cstars.ucdavis.edu/projects/chevronwhitepaper/draftassem/chevron2.pdf> (accessed 22 May 2005)
- ZEINALOV, G. A., 2000, Geologic significance of Landsat data for oil exploration in Azerbaijan. In: *Proceedings of the Fourteenth international conference on Applied geologic remote sensing*, **14**, 212-219, (Ann Arbor, MI: Veridan ERIM International).

CONCLUSIONES DEL GRUPO DE TRABAJO.

1. Si en el congreso pasado se propugnó la ingeniería actual como nexo de unión entre las diferentes ponencias que integran el grupo de trabajo, en éste se ha elegido un nuevo área de las tecnologías de la información y las comunicaciones, la inteligencia ambiental, como elemento integrador de los distintos trabajos que conforman el grupo.
2. La nueva inteligencia ambiental, al igual que cualquier otra área de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, tiene con respecto al medio ambiente dos vertientes bien diferenciadas. Por un lado, introduce mejoras en los sistemas y dispositivos de protección y control del medio ambiente a través de las nuevas técnicas para el desarrollo de aplicaciones distribuidas basadas en Internet y la movilidad de los terminales. Por otro lado, ocasiona algunos riesgos de impacto ambiental causados por el propio funcionamiento de esta nueva tecnología.
3. La aparición de Internet ha favorecido en los últimos años la puesta en marcha de nuevas técnicas para el desarrollo de sistemas distribuidos. La más habitual hasta ahora, la arquitectura cliente – servidor, está dejando paso a otros sistemas como el **Grid** o **Pear to Pear (P2P)**, que son distribuidos, heterogéneos y dinámicos. Todo esto redundará en la ubicuidad del sistema, más aún si se tiene en cuenta la movilidad de los terminales: **2.5 G, 3G y Bluetooth** en telefonía móvil, entornos **Wifi** y **Wimax** para ordenadores portátiles pasando por las **PDA's**, por citar los casos más conocidos.
4. Las redes de lidares terrestres, trabajando de manera coordinada, ofrecen a la vez, por una parte, la alta resolución temporal y vertical disponible de los instrumentos individuales y, por otra, el muestreo espacial de una zona geográfica extensa, de lo que pueden inferirse distribuciones de aerosoles cuatridimensionales (espacio más tiempo). Además, los lidares terrestres pueden ofrecer prestaciones que aún tardarán en poderse implementar en instrumentos embarcados en satélites.
5. Los sensores remotos y los datos adquiridos mediante redes de sensores “in situ” poseen una serie de características intrínsecas en cuanto a periodicidad temporal, resolución espacial y parámetros medidos, etc, que ciertamente son complementarias. La tecnología actual tanto emergente como ya consolidada (redes de datos, sensor web, telecomunicaciones, interoperabilidad, etc) permite acceder a los datos derivados de ambos tipos de sensores en tiempo real desde múltiples plataformas e instantáneamente comparables.
6. Los “Sensores web” son un caso particular de la nueva tecnología de Servicios Web (*Web Services*). Un servicio Web es una colección de protocolos y estándares que sirven para intercambiar datos entre aplicaciones de software desarrolladas en lenguajes de programación diferentes y ejecutadas sobre cualquier plataforma utilizando como vía de comunicación Internet. La interoperabilidad se consigue mediante la adopción de estándares abiertos. Las organizaciones OASIS y W3C son

los comités responsables de la arquitectura y reglamentación de los servicios Web. Para mejorar la interoperabilidad entre distintas implementaciones de servicios Web se ha creado el organismo WS-I, encargado de desarrollar diversos perfiles para definir de manera más exhaustiva estos estándares.

7. Las aplicaciones y servicios geomáticos, así como los productos de valor añadido, están ofreciendo soluciones en una gran variedad de áreas relacionadas directamente con la gestión de las crisis naturales, como la vigilancia global, el ordenamiento territorial, la adecuada relación con el medio ambiente, el uso armónico de los recursos naturales, la planificación y gestión de medidas de reacción y recuperación post desastre, etc.
8. La utilización de estas tecnologías geoespaciales en apoyo a la gestión de los desastres naturales está despertando un gran interés hoy en día, pero, por determinadas circunstancias, que están fuera del ámbito de este estudio, queda reducida a un grupo de expertos en este dominio, que son minoritarios en comparación con el gran número de personas preocupadas o conscientes de la importancia del problema.
9. La exposición sobre tecnologías geoespaciales incluida en este Grupo de Trabajo, pretende acercar al público no experto y a los potenciales usuarios el conocimiento sobre la capacidad de las tecnologías espaciales, en particular las geoespaciales, para la prevención y gestión de desastres naturales.
10. La medida en continuo de la calidad físico química y biológica del agua de las costas es un reto difícil que requiere la aplicación de una tecnología de medidas que aún no ha sido suficientemente contrastada. Existen boyas marinas para la medida de corrientes, oleaje, parámetros meteorológicos, etc., pero no para la medida de parámetros de calidad fisicoquímica ni biológica, salvo algunas experiencias aisladas, como la que se expone en este grupo de trabajo. Como objetivos de la experiencia destacan el desarrollo del producto comercial equivalente, con el conocimiento de tecnologías, materiales, equipos y parámetros medibles, con un nivel de dificultad aceptable. Este material estará disponible en enero de 2007
11. A lo largo de los ríos, los residuos metálicos de las actividades mineras se pueden reconocer en una imagen multiespectral debido a que presentan una firma espectral que permite diferenciarlos de las cubiertas vegetales o del suelo desnudo. Al margen del compromiso que debe admitirse entre la resolución espacial de las imágenes satelitales y las dimensiones de la cuenca, es posible discernir los tramos contaminados (por aplicación de ratios) y de esta forma elaborar un mapa temático de tramos afectados de forma natural, independientemente de que lo pudieran ser tras un posible desbordamiento espontáneo.
12. Mediante la generación de cartografía temática aplicando el criterio Isodata de clasificación no supervisada; se obtuvieron buenas cartografías a partir de 22.957 píxeles correspondientes a 20 de las 44 clases de CORINE seleccionadas en el trabajo de campo. La precisión resultante fue del

87.6%, la cual se eleva al 91.6% si agrupamos las clases en función de la rugosidad asociada a cada una de ellas (coeficiente de rugosidad de Manning). El coeficiente kappa, que resume la información procedente de la matriz de contingencia, tiene un valor de 0.8685, es decir la clasificación obtenida está próxima al 87% mejor que la que se esperaría de asignar clases a los píxeles de forma aleatoria. Dado que el valor es superior a 0.75 se puede considerar una clasificación de buena a excelente. Las clasificaciones obtenidas a partir de la imagen Landsat, su agrupación en base a la rugosidad y el mapa de usos del suelo CLC-2000 correspondiente, supone una mejora evidente en el procesamiento de las imágenes en relación a la base de datos de la CLC-2000 utilizada habitualmente como “input” en los modelos de simulación.

- 13.** El estudio de los niveles de concentración de contaminantes en aguas residuales es un hecho de especial relevancia. La directiva europea 2000/60/CE determina los parámetros indicadores de la calidad de las aguas subterráneas, estableciendo la necesidad de controlar, entre otros, la concentración de nitratos. Basándose en algoritmos evolutivos, puede obtenerse un método de cálculo de dicha concentración y estimar la cantidad de nitratos presente en una muestra de agua residual.
- 14.** Con el fin de comprobar el funcionamiento de este método para la medida de niveles de concentración de contaminantes en aguas residuales, se ha realizado la prueba sobre una muestra de agua depurada procedente del filtro verde de Redueña (Madrid), de la que se conoce que su concentración de nitratos es de 11 ppm. Para la estimación se dispone de un conjunto de patrones desde 2 ppm hasta 50 ppm, en intervalos de 2 ppm, y desde 55 ppm hasta 100 ppm, en intervalos de 5 ppm de concentración. Empleando estos valores para corregir el patrón seleccionado por el algoritmo de programación evolutiva (14 ppm), se obtiene que las curvas de transmitancia de la muestra a estimar y el patrón adaptado mediante el algoritmo evolutivo son realmente muy similares, y la diferencia en la estimación realizada con el valor real de la muestra es debida a la variabilidad que presentan los patrones disponibles.
- 15.** El mantenimiento de infraestructuras lineales requiere que se realicen trabajos de inspección periódica que pasan, de forma inexorable, por recorrer su trazado completo con dispositivos de detección adecuados. Este es el caso de las líneas aéreas, donde los trabajos de inspección resultan especialmente complejos dado que su trazado recorre en ocasiones parajes naturales de difícil acceso, y con niveles de protección ambiental de diversa índole. Red Eléctrica y AIN están desarrollando métodos alternativos, basados en helicópteros no tripulados (UAV – Unmanned Aerial Vehicle) para complementar, y eventualmente sustituir al gran helicóptero, en la realización de estas tareas. Se trata por ello de un auténtico robot aéreo que permite realizar tareas de teledetección. El desarrollo de este sistema de inspección va mucho más allá del propio desarrollo del equipo UAV. Es precisa la integración de un sistema de sensores (vídeo y otro tipo de cámaras) de tamaño reducido, que puedan ser gestionados de forma remota y que ofrezcan grabaciones de calidad. Adicionalmente, debe verificarse que todo el sistema es compatible desde

un punto de vista electromagnético con el entono donde se desarrolla la inspección.

- 16.** La utilización de vehículos no tripulados tiene evidentes ventajas en cuanto a su utilización en zonas de valor ecológico y supone una mejora sustancial de tipo medioambiental. Estos vehículos tienen capacidad de vuelo autónomo garantizada y entre las mejoras pueden señalarse que el consumo de combustible, y por ende la emisión de gases de efecto invernadero, se reduce notablemente respecto al helicóptero tripulado. Igualmente se reduce el nivel de ruido ambiental generado con relación a los vehículos tripulados. Su bajo coste permitiría incrementar la frecuencia de las inspecciones en aquellas zonas que por sus características así se recomendase, siendo una herramienta válida para realizar cualquier otro tipo de tareas de inspección con alto valor de protección del medio ambiente. Finalmente, elimina el riesgo de accidente y sus consecuencias.

 - 17.** Con imágenes del satélite Landsat TM es posible realizar una cartografía precisa de los derrames de petróleo y de las infraestructuras. Esto permite hacer estudios multitemporales y observar la evolución y los impactos producidos sobre el medio ambiente. En áreas de difícil acceso y alejadas de núcleos de población, con pocas carreteras y caminos existentes, un método de recopilación de información cartográfica tradicional es inviable. Por el contrario las imágenes de satélite tienen una relación precio/área cubierta muy buena, especialmente para áreas muy extensas. Además esta metodología se ha mostrado tremendamente útil para la optimización y organización en el desarrollo de infraestructuras que se podría realizar desde la fase de planificación.
-