

## INDICADORES DEL DETERIORO MEDIOAMBIENTAL. CARACTERIZACION METRICA Y RADIOMETRICA.

E. Castillo (\*) y R. Ferrer (\*\*)

[castille@unican.es](mailto:castille@unican.es)

(\*)Universidad de Cantabria  
E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos, Dpto.Ingeniería Cartográfica y Técnicas de Expresión Gráfica

(\*\*)Universidad de Cantabria  
E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos, Dpto.Ingeniería Cartográfica y Técnicas de Expresión Gráfica

### SUMARIO

Los sedimentos contaminantes pueden ser considerados potentes indicadores del deterioro medioambiental y sus estratos son fuentes de contaminación secundaria incluso años después de que los vertidos directos hayan cesado. Por este motivo, su localización y definición es una actividad necesaria. Los arroyos, riachuelos, canales, puertos, lagos y embalses son zonas idóneas de concentración urbana e industrial y, por lo tanto, susceptibles de contaminación y fragilidad ambiental. El trabajo que se plantea está integrado en el proyecto "Caracterización del territorio mediante cartografía numérica, batimetría y teledetección espacial" concedido a finales de 2002 por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y que tiene por objeto la caracterización radiométrica de tres zonas de la comunidad cántabra: ría de San Martín de la Arena, marisma de Santoña y Bahía de Santander, a partir de imágenes de alta resolución IKONOS, imágenes de épocas pasadas (Landsat y Spot) y un vuelo hiperespectral con el sensor CASI. La relación entre bandas servirá para discriminar sedimentos intermareales y microcontaminantes orgánicos, desarrollo de modelos hidrodinámicos,...Puesto que la precisión final está ligada directamente con la resolución y la calibración propias del sensor, parece evidente que las experiencias que se venían realizando con Landsat o Spot desde mediados de 1980 puedan ser ampliamente mejoradas con IKONOS, QUICKBIRD, CASI,... ya que presentan unas cualidades métricas y radiométricas superiores (se ha pasado en el caso más óptimo de una resolución de 10 m. a otra de 60 cm.).

**Palabras clave:** teledetección, imágenes de satélite, IKONOS, CASI, PH, PAHs, tamaño de partícula, oxígeno.

### ABSTRACT

The contaminant sediments can be consider highly parameters of the damage caused in the environment, witch stratums are points of secondary contamination, even those years later than the discharges were end. It's the reason, which made the localization and definition a necessary activity.The streams, little rivers, lakes, ports and reservoirs, all of them are zones of urban and industrial concentration, so that, can be contaminated and converted in vulnerable ambiental zones.The wok that is presented, is part of a I+D+I Project of the Minister of Science and Technology, and its objective is to configure a radiometric characterisation of three areas integrating the Cantabria Community: Ría de San Martín de la Arena, Marisma de Santoña y Bahía de Santander. The project starts in high resolution images IKONOS, past images (Landsat y Spot) and a hiperspectral flight with the CASI. The relation between bands will made possible to discriminate intermareal sediments and organic microcontaminants, and generate hydrodynamic models...The final precision is in direct relation with the sensor resolution and calibration, is evident that the experiences that were made with Landsat o Spot since 1980, can be mostly better with IKONOS, QUICKBIRD, CASI, ..., because these present metric and radiometric qualities are incredibly superior (in the optimum case was passed a resolution of 10m to one, of 60vm).

**Key words:** teledetection, satellite images, IKONOS, CASI, PAHs, oxygen, measure of the particle.

## MARCO TERRITORIAL DE LA INVESTIGACION

Las tres zonas de estudio están ubicadas en el mar Cantábrico y se caracterizan por ser de especial interés tanto para la explotación del litoral y de sus recursos como para habitats peculiares, como es el caso de los estuarios. Dichas zonas se ven afectadas por problemas específicos del litoral y tienen una gran presencia de contaminantes.

En primer lugar se hace referencia a la Bahía de Santander. Se trata de una depresión y de un ecosistema de gran riqueza tanto desde el punto de vista biológico como socioeconómico. En su entorno se concentran unos 250.000 habitantes, el 50% de la población de la comunidad autónoma de Cantabria. Dicha bahía viene formándose desde el Mesozoico y es importante para una población que desarrolla diversas actividades, todas ellas generadoras de vertidos de aguas residuales.

Este ecosistema, muy sensible y de alta fragilidad ecológica, presenta en su mayoría sedimentos tales como limos, arcillas y otras partículas procedentes del río Miera. Son 77 los puntos que recogen los vertidos de los términos municipales que rodean la bahía (Santander, Camargo, Astillero, Marina de Cudeyo, Ribamontán al Mar y Villaescusa) y que desembocan en ella, ya sea directamente o a través de rías cercanas. Se recogen aguas fluviales, fecales e incluso residuales de muchas industrias. Se estima que aproximadamente hay veintidos puntos de vertido industrial, seis hospitales, una finca ganadera y tres depuradoras y el correspondiente a las poblaciones cercanas (Viguri, 1996-2000).

En Santander los vertidos son principalmente de aguas urbanas, y en Camargo y Astillero proceden de varios polígonos industriales (industria dedicada a la transformación de metales, fabricación de equipos mecánicos y maquinaria, extracción y transformación de minerales, industria química y fabricación de materia de transporte). Las poblaciones de Ribamontán al Mar y Medio Cudeyo, dada la escasa actividad industrial, realizan escasos vertidos. Por último el puerto es un elemento fundamental ya que en él se llevan a cabo tareas de almacenaje de hidrocarburos, carga y descarga, limpieza de buques,...

El segundo de los puntos de interés es el estuario de las Marismas de Santoña, que pertenece a la Reserva Natural de las Marismas de Santoña y Noja constituyendo su núcleo principal. En dicho

estuario confluyen distintas aguas continentales, como las rías de Limpias y Rada. La primera de ellas se encuentra en la desembocadura del río Asón y la segunda en la del río Clarín. Por el oeste vierten sus aguas pequeños arroyos como los de Pozeirun (Escalante), Cantijos (Gama) y de Carrenque (Treto), y por el Canal de San Martín penetran en el estuario las aguas marinas procedentes del Mar Cantábrico, y por el efecto de las mareas, cada seis horas y cuarto aproximadamente, vuelven a salir, repitiéndose este fenómeno de llenado y vaciado del estuario de forma periódica. El estuario, al estar casi cerrado, ya que es el único punto de comunicación con el mar, comprende la zona situada entre el Puntal de Laredo y el Fuerte de San Martín posibilitando, junto con otros factores biológicos y físicos, que los aportes de nutrientes del drenaje terrestre queden retenidos, conociéndose este fenómeno con el nombre de *trampa nutritiva*.

Son numerosos los factores antropogénicos, como los colectores y alcantarillas urbanas e industriales que vierten a la cuenca del río Asón y a las orillas de las Marismas de Santoña, sin ningún tipo de depuración. Así el colector de Santoña que vierte en el margen izquierdo de la canal de Boo, el de Colindres en el margen derecho de la ría de Colindres; el colector de Treto en la margen izquierda de la misma ría; vertidos de las industrias conserveras de Santoña en la margen izquierda de la canal de Boo; el colector del matadero comarcal en la margen izquierda de la ría de Colindres y los arroyos que desembocan en las inmediaciones de Gama y Escalante, convertidos en un vertedero de todo tipo de basuras.

Se pueden encontrar diversos sedimentos:

- a) Metales pesados (plomo, níquel, mercurio, cadmio, etc).
- b) Pesticidas y herbicidas como el Dieldrín, Lindano, DDT, bifenilos policlorados (PCB's) y otros organoclorados y organofosforados son, al igual que los metales pesados, sustancias altamente tóxicas, no biodegradables y bioacumulables.
- c) Fertilizantes (fosfatos, nitratos, sulfatos, etc).
- d) La contaminación bacteriana y vírica está producida por el vertido de aguas fecales a través de las alcantarillas.
- e) La contaminación térmica está localizada en las inmediaciones de las grandes alcantarillas urbanas y

a la salida de los desagües de las industrias conserveras, que vierten al canal de Boo agua a temperaturas de hasta 80°, contribuyendo con ello a la desaparición de la fauna y la flora de la zona.

g) Las actividades portuarias conllevan el vertido de una gran variedad de sustancias contaminantes: pinturas, gasóleos, aceites, antiincrustantes, plásticos, fluidos hidráulicos, barnices y todo tipo de desechos que contribuyen a que estas zonas presenten un alto nivel de degradación.

Respecto a la Ría de San Martín de la Arena, la tercera y última de las zonas, cabe destacar que está situada en la población de Suances y el nivel de contaminación presente en sus aguas se debe mayoritariamente a los vertidos realizados a los ríos Saja y Besaya. El río Besaya nace en Fuente del Besaya (norte de Reinoso) y tiene una dirección norte-sur coincidiendo con el eje más importante de la región en cuanto a población e industria se refiere. Este factor lo convierte en el río con mayores problemas de contaminación de Cantabria. Mientras el río discurre por su zona más angosta y menos poblada no recibe ningún vertido destacable, siendo el primer vertido importante el de la empresa del sector siderúrgico Nueva Montaña Quijano y el del colector municipal de Los Corrales de Buelna, con una gran carga de contaminantes. De la misma manera los vertidos procedentes de las minas de San Antonio y Nieves y del arroyo de San Román arrojan gran cantidad de sólidos en suspensión, que aunque de carácter inerte, favorecen la sedimentación de materia orgánica y de sales  $Fe^{++}$ .

Las aguas fecales del Barrio Covadonga perteneciente a la población de Torrelavega, segunda ciudad de Cantabria por número de habitantes, son otro de los vertidos a tener en cuenta antes de que se produzca la confluencia con el río Saja, con el aumento de contaminación que eso supone. Los siguientes puntos de interés serán las aguas procedentes de la compañía minera AZSA y las aguas fecales del Colector Municipal de Torrelavega. A partir de dicho punto, el agua que discurre hasta la Ría de San Martín es realmente agua residual del grupo químico y farmacéutico SOLVAY y de la fábrica SNIACE dedicada a la industria textil.

## OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto es la investigación prenormativa de la calidad de sedimentos marinos que sirvan para regular la gestión del litoral e integrarlas en los procesos de

tomas de decisiones en actuaciones globales y locales. Se pretende realizar:

- una evolución espacial y temporal de los parámetros físico-químicos y contaminantes orgánicos prioritarios y su correlación
- desarrollo de estrategias de muestreo conjuntas de sedimentos que sean características para una gestión integral en la zona de estudio
- determinación de parámetros físico-químicos (PAHS, AOX, fenoles,..)
- correlación de diferentes enfoques de caracterización que permitan el desarrollo de una metodología de evaluación ambiental
- caracterización radiométrica y levantamiento batimétrico de las tres zonas
- mapificación georreferenciada mediante cartografía numérica obtenida a partir de fotogrametría analítica a escala 1/1000
- correlación entre teledetección y análisis físico-químico utilizando nuevas herramientas de inferencia.

Para conseguir los objetivos planteados se establecen dos marcos de actividad complementarias configurados por determinaciones de ensayos químicos convencionales realizados por el Departamento de Química y caracterización georreferenciada del territorio y análisis de Teledetección Espacial, que realizará el grupo de I+D del área de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, ambos pertenecientes a la Universidad de Cantabria. El nexo de unión, la georreferenciación, es el que posibilitará enlazar los resultados para establecer las deseadas conclusiones.

## APORTACIONES DEL CASI

Se ha elegido el sensor CASI por considerarle que es uno de los sensores que además de ser hiperespectral ofrece una alta resolución incluso en zonas de estudio como las que se han presentado, en las que por su forma pueden resultar complicadas para obtener unas resoluciones de ese orden. El sensor CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager) es un sensor óptico de barrido multiespectral basado en un dispositivo CCD bidimensional, con una dimensión espacial y otra

espectral. Permite la selección de bandas para obtener dicha información espacial y espectral. El rango de longitudes de onda sobre el que opera este sensor va desde los 400 nm hasta los 950 nm y el CCD está constituido por 288 hileras espectrales y por 612 columnas espaciales (512 de las cuales se utilizan para la captura de información y las restantes para el calibrado radiométrico). La resolución espacial típica transversal respecto a la línea de vuelo va desde los 2 m a los 17 m dependiendo de la altura de vuelo. El sensor ha sido integrado en un sistema SISA/CASI desarrollado por el Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC) en el que se integran todos los elementos necesarios para proporcionar orientación a las imágenes captadas. El ICC ha utilizado dicho sensor la determinación de polución de aguas obteniendo resultados muy satisfactorios. El vuelo a realizar con el sensor se diseñará para obtener información completa de las tres zonas aprovechando los grandes coeficientes de las bajamares de las últimas semanas de abril. De esta forma se obtendrá información radiométrica referenciada y precisa de las tres amplias áreas de estudio, anteriormente descritas.

## **TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO**

Desde el año 1.996 el grupo de Investigación del Departamento de Química, que también participa en el proyecto, viene realizando muestreos de sedimentos inter-mareales y sub-mareales en toda la Bahía de Santander. Dicho grupo ha llevado a cabo los muestreos con espátula en los sedimentos superficiales (1 cm), con un muestreador (sondeos 20 cm) y con un tubo (sondeos 50 cm). Posteriormente se ha procedido a su preparación (ISO 11464), consistente en el sub-muestreo, secado, molienda y tamizado de las mismas. Siguiendo pautas similares volverán a realizar campañas de toma de datos en campo, según un muestreo estratificado diseñado para cada una de las tres zonas, empleando geodesia espacial para georreferenciar en coordenadas UTM y la posición planimétrica de cada una de las muestras y altimétricamente respecto al nivel medio del mar en Alicante (NMMA). De esta forma cada determinación de muestra superficial o profunda tendrá una posición sin ambigüedad que posibilitará el establecimiento de las correlaciones.

## **ESTIMACION ESTADISTICA ROBUSTA**

La correlación de resultados, y el contraste de las diferentes hipótesis se realizará con una nueva herramienta de investigación, más potente que las

primitivas técnicas de inferencia estadística clásica: los métodos robustos. Aunque el término robusto fue acuñado hace cincuenta años, hasta la aportación de Peter Huber hacia 1964, el nuevo método careció de rigor. A partir de ese año nuevos trabajos han permitido crear un cuerpo de doctrina quedando definidos los fundamentos del nuevo método hacia 1975. Se aplicará la estimación robusta, intervalos de confianza y test con una muestra unidimensional y con dos muestras. También se realizarán intervalos de confianza y test con dos muestras unidimensionales. La validación de los resultados se realizará mediante análisis de varianza robustos y técnicas de regresión robusta. Para finalizar el estudio de los diferentes muestreos se fijará una estrategia basada en la regresión robusta y se establecerán diferentes posibilidades de métodos de remuestreo del tipo Jackknife y Bootstrap, estudiando de forma concisa la mejor solución, para cada una de las tres zonas, dadas sus peculiaridades tan diferenciadas.

## **Bibliografía**

Ayuntamiento de Santoña, *La reserva natural de Santoña, Victoria y Joyel*. Colección patrimonio medioambiental y humano. Fundación Cultural Banesto, 1993.

Dekker, A.G., *Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing*. Proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam.

García Pérez, A., *Métodos avanzados de estadística robusta*, Madrid, Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2001.

Gil Díaz, J.L., *Contaminación industrial del río Besaya, caracterización y medidas correctoras*. Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria, 1986.

Huber, P.J., *Robust covariances*. In Statistical Decision Theory and Related Topics, Vol. 2. S.S. Gupta y D.S. Moore. Academic Press, 1977.

Pinilla, C., *Estudio de la problemática de la caracterización del olivar mediante sensores remotos*. Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba, 2000.

Rasines del Río, E.C., *Guía de la reserva natural de las marismas de Santoña y Noja*. Santoña: Ayuntamiento, 1996.

Rey, W.J.J., *Robust statistical methods*. Lecture Notes in Mathematics 690. Springer-Verlag, 1978.

