



Documento Final del Grupo de Trabajo de Conama 2012

TELEDETECCIÓN Y SENSORES MEDIOAMBIENTALES

ENTIDAD ORGANIZADORA: Instituto de la Ingeniería de España



PARTICIPANTES

Coordinador:

Nombre y Apellidos: **José Javier Martínez Vázquez**
Institución: **IIES. Comité de Ingeniería y Desarrollo Sostenible**

Relatores:

1. Nombre y apellidos **Adolfo Comerón Tejero**
Institución **Universidad Politécnica de Cataluña**

2. Nombre y apellidos: **Fernando Davara Rodríguez**
Institución: **Fundación VERTIDOS CERO**

3. Nombre y apellidos: **Ramón Prats Vime**
Institución: **ADASA Sistemas**

4. Nombre y apellidos: **Victoriano Moreno Burgos**
Institución: **INDRA**

Colaboradores técnicos:

Nombre y apellidos: **Josefina de la Fuente**
Institución: **TechNet**

Nombre y apellidos: **Pablo López Espí**
Institución: **UNIVERSIDAD DE ALCALÁ**

Nombre y apellidos: **Jesús Alpuente Hermosilla**
Institución: **UNIVERSIDAD DE ALCALÁ**

Nombre y apellidos: **Juan Antonio Martínez Rojas**
Institución: **UNIVERSIDAD DE ALCALÁ**

Nombre y apellidos: **Marino Palacios Morera**
Institución: **INDRA**

Nombre y apellidos: **Daniel Carrasco Díaz**
Institución: **INDRA**

Nombre y apellidos: **Carmelo Alonso Jiménez**
Institución: **INDRA**

Nombre y apellidos: **Michaël Sicard**
Institución: **Universidad Politécnica de Cataluña**

Nombre y apellidos: **M^a del Rosario Escudero Barbero**
Institución: **Tragsa**



Nombre y apellidos: **Jorge del Valle Arias**
Institución: **GALTEL, S.A.**

Nombre y apellidos: **Silvia López Martínez**
Institución: **Aqualogy**

OBJETIVOS

El principal objetivo es la divulgación de distintos aspectos de los sistemas de teledetección y las redes de sensores. De esta forma, se hacen públicos algunos datos de difícil acceso para el estudioso, dada la escasez de publicaciones en este área.

Reunir en un grupo de trabajo a todas las partes implicadas en el desarrollo de estos sistemas: investigadores e ingenieros y técnicos de desarrollo de nuevos equipos, empresas del sector y usuarios.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN

José Javier Martínez Vázquez. Coordinador. Instituto de la Ingeniería de España

2. CONTRIBUCIÓN DE LA RED DE LIDARES EARLINET A LA INFRAESTRUCTURA EUROPEA DE INVESTIGACIÓN ATMOSFÉRICA ACTRIS (AEROSOLS, CLOUDS, AND TRACE GASES INFRASTRUCTURE NETWORK)

Adolfo Comerón Tejero, Michäel Sicard y otros. UPC

3. AVANCES EN EL SEGUIMIENTO EN CONTINUO DE LOS VERTIDOS DE LAS EDAR'S

Ramón Prats y Vime, Manuel Farré i Torras y Jordi Cros i Herrero. Adasa Sistemas

4. SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUATICOS COSTEROS Y CONTINENTALES MEDIANTE IMÁGENES DE SATELITES DE MUY ALTA RESOLUCION

Victoriano Moreno Burgos. Indra, S.A.

5. GREEN TIC; IMPACTOS DE LAS TIC EN LA SOSTENIBILIDAD.

Fernando Davara. Fundación Vertidos Cero

6. LA REALIDAD DEL TRÁFICO EN MATERIA DE EMISIONES

Josefina de la Fuente. TechNet

7. ALIMENTACIÓN DE REDES DE SENSORES MEDIANTE RECOLECCIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA AMBIENTAL

Juan Antonio Martínez Rojas, Jesús Alpuente Hermosilla y otros. UAH

8. DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN AVANZADO PARA EL CONTROL DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRIORITARIOS EN EFLUENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Silvia López Martínez. AQUALOGY

9. LA IMPORTANCIA DE LA TELEDETECCIÓN COMO TECNOLOGÍA DE APOYO A LA ADMINISTRACIÓN EN EL CONTROL DE LOS PROGRAMAS EUROPEOS DE AYUDAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

M^a del Rosario Escudero Barbero. TRAGSA

10. ANÁLISIS AMBIENTAL DE REDES GSM-R EN ÁREAS URBANAS

José Javier Martínez Vázquez. Comité de Ingeniería y Desarrollo Sostenible. IIES

BREVE RESEÑA PROFESIONAL DE LOS PONENTES

Adolfo Comerón Tejero. Ingeniero de Telecomunicación de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de Barcelona, doctorado en la Universidad Paris-XI (Orsay, Francia). Catedrático del Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Universidad Politécnica de Cataluña. Actividad de investigación actual: teledetección atmosférica mediante lidar y comunicaciones ópticas no guiadas.

Fernando Davara Rodríguez es General de Artillería y Doctor en Ingeniería Informática. Ha sido Director del Centro de Satélites de la Unión Europea de Torrejón de Ardoz (Madrid). Actualmente es Director de la Fundación Funcoas de Asimelec y Presidente de la Asociación Vertidos Cero.

Carmelo Alonso Jiménez. Licenciado en Física Fundamental por la Universidad Complutense de Madrid y Máster en Ingeniería Medioambiental y Gestión de Aguas por la Escuela de Organización Industrial. Técnico de Proyectos en el Área de Observación de la Tierra de Indra con una experiencia de 16 años. Ha participado en el desarrollo de un gran número de proyectos relacionados con la Observación de la Tierra y la tecnología SIG en el contexto de aplicaciones operativas, así como proyectos de I+D. Durante esos años ha adquirido amplios conocimientos sobre fotointerpretación, fotogrametría y procesado digital de imágenes de satélite, tanto radar como óptico (NOAA, MODIS, Landsat, Spot, Ikonos, Quickbird, ERS, Radarsat, Envisat, etc.). Entre otros, ha participado en proyectos para producir cartografía de uso del suelo basado en la fotointerpretación de imágenes de satélite (Landsat y Spot) tales como el CORINE Land Cover. También ha participado en el diseño de algoritmos y desarrollo de flujo de trabajo para el análisis multitemporal de la cobertura nival en las cuencas de los ríos Tajo y Ebro para las correspondientes Cuencas Hidrográficas. Actualmente colabora con el equipo del segmento terreno de la futura misión española de Observación de la Tierra, "Ingenio", en el diseño de los productos L1 y de las tareas relativas a la calibración y validación de los mismos. Ha publicado numerosos artículos en revistas y participado también en numerosas reuniones científicas nacionales e internacionales, así como diversos talleres relacionados con la Observación de la Tierra. Es miembro de la Real Sociedad Española de Física, la Real Sociedad Española de Cartografía, Fotogrametría y Teledetección y de la Asociación Española de Teledetección.

Ramón Prats i Vime. Ingeniero Industrial (UPB 1966) y Diplomado en Ciencias Económicas y Empresariales. Ha sido Director del Departamento de Investigación y Desarrollo de ADASA Sistemas y actualmente es Adjunto a la Dirección General de la compañía. Coautor del proyecto SAICA del Ebro. Su curriculum contempla más de veinte años de experiencia en el campo del ciclo integral del agua con especial dedicación en el control de la calidad, materia en la que ha dirigido personal del departamento de I+D+i dedicado al desarrollo de equipos analíticos de funcionamiento automático y al diseño y montaje de estaciones de control de la calidad en ríos, embalses y vertidos de aguas residuales. Tiene además, experiencia en el campo de los gases licuados de petróleo tanto en diseño de máquinas como plantas de llenado de botellas en España, Oriente Medio y Sudamérica, así como en fábrica y taller de estampaciones metálicas, fundición de hierro gris, aluminio y plomo en el área de mantenimiento y diseño de nuevas máquinas de producción y automatismo de procesos.

Jesús Alpuente Hermosilla. Ingeniero Técnico de Telecomunicación por la UPM (1983), Especialista en Ingeniería Biomédica por la UAH (1995) y Máster en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (2008), desde 1984 es Profesor Titular de Escuela Universitaria del Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones en la UAH, habiendo impartido docencia de 27 asignaturas distintas en 10 titulaciones diferentes, la mayoría de ellas relacionadas con el electromagnetismo, la radiocomunicación y las microondas, habiendo publicado 5 libros docentes.

En la faceta investigadora, en la actualidad pertenece al grupo de investigación "Radiation and Sensing", teniendo como experiencia la participación en 10 proyectos y 30 contratos de I+D, habiendo sido co-editor de 2 libros y autor de 12 capítulos de libros (7 internacionales), 14 artículos en revistas internacionales, 9 en revistas nacionales y 6 informes técnicos. Ha presentado ponencias en 43 congresos (21 internacionales), participando en el Comité organizador de 6 de ellos, y es co-inventor de 2 patentes y co-autor de un programa de software registrado.

Además, en la Universidad de Alcalá ha dedicado prácticamente 17 años en la gestión universitaria, ocupando los cargos de Subdirector Académico y Director de la EUITT, Director de la EUP, así como Subdirector y Secretario del Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones.

Silvia López. Ingeniero de Telecomunicación. Responsable de gestión de proyectos de I+D de Aqualogy. Product Manager en Aqualogy en las soluciones de drenaje y alcantarillado y de eficiencia de redes. Previamente he trabajado a nivel internacional en diseño y puesta en marcha de desaladoras en una gran constructora, así como en AGBAR en la parte de sistemas de programación de PLCs y SCADAs.

Josefina de la Fuente Egido. Consejera Delegada y Fundadora de la empresa Technet, Sostenibilidad en Transporte. Formación académica: CC. Químicas (1994-2000) y Administración y Dirección de Empresas (1997-2000). Su vida profesional siempre ha estado vinculada con las nuevas tecnologías, posee un máster en E-Business y otro en Gestión de la Ciencia y la Tecnología. Antes de fundar la compañía, fue la responsable del Centro de la Transferencia de Conocimiento (CDT) de la zona Sur- Este de la Comunidad de Madrid. Desde hace más de tres años se dedica de manera exclusiva a la explotación de esta tecnología y sus distintas aplicaciones.



María del Rosario Escudero Barbero. Licenciada en Geografía por la Universidad de Cantabria. Tiene una larga experiencia en la gestión de proyectos de aplicaciones operativas de la teledetección en el campo de la agricultura y el medio ambiente. Es Jefe del Departamento de Teledetección de TRAGSATEC, empresa española líder en aplicaciones informáticas para el desarrollo del mundo rural.

José Javier Martínez Vázquez. Vocal de la AEIT en el Comité de Ingeniería y Desarrollo Sostenible del Instituto de la Ingeniería de España. Desde 1996 participa en la organización del Congreso Nacional del Medio ambiente como coordinador de este Grupo de Trabajo.



RESUMEN DE LAS PONENCIAS



INTRODUCCIÓN:

NUEVOS CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD EN REDES DE ACCESO VÍA RADIO

José Javier Martínez Vázquez

Comité de Ingeniería y Desarrollo Sostenible. Instituto de la Ingeniería de España.

En congresos pasados, desde este mismo Grupo de Trabajo, se habló de convergencia IP y de OFDM. Aunque UMTS está ideado para funcionar en IP, casualmente ambos, IP y OFDM, confluyen en LTE. En el congreso anterior, Conama 10, se esbozó un análisis de la 4G desde un punto de vista medioambiental. No obstante y a fecha de hoy, parece conveniente profundizar aún más en algunos aspectos relativos a la sostenibilidad de la nueva telefonía móvil.

En una celda de zona suburbana o rural, tanto el área de cobertura, algunos kilómetros cuadrados, como la potencia entregada por un transceptor al sistema radiante, entre 20 y 60 vatios, es prácticamente igual para los tres sistemas actualmente en uso: GSM, UMTS y LTE. Sin embargo, un transceptor GSM da servicio a 8 usuarios de voz como máximo. En el caso de UMTS puede hablarse de 15 usuarios de voz, mientras que en el caso LTE estaríamos hablando de 25 usuarios para anchos de banda de 5 MHz, similar al ancho de una portadora UMTS, y hasta 100 usuarios por transceptor para anchos de banda de 200 MHz.

Por otra parte y en esta cuarta generación de telefonía móvil, la utilización de todo el ancho de banda disponible en cada celda, obliga a un factor de reutilización igual a la unidad y, en consecuencia, al fraccionamiento parcial del citado ancho de banda de funcionamiento, para dar cobertura a los bordes de cada una de las celdas colindantes y facilitar el handover. Esto fuerza a incrementar considerablemente la potencia radiada en el enlace descendente correspondiente a las señales incluidas en la banda fraccionada, que tendría factores de reutilización mayores que la unidad, con el objeto de iluminar de forma radioeléctrica las áreas más alejadas de los e-nodos B ó estaciones base dentro de cada celda. Un problema añadido surge ante la necesidad de una etapa de potencia que amplifique unas subportadoras más que otras. Sin embargo, la aparición en la 4G de equipos AMC (Adaptive Modulation and Coding) ha permitido variar los esquemas de modulación y las tasas de codificación en función de la distancia existente entre el equipo móvil y el transceptor de la estación base. Si el terminal móvil está alejado de la estación base, los esquemas de modulación son sencillos (QPSK) y las tasas de codificación bajas. Por el contrario, cuando el móvil está cerca de la estación base, los esquemas de modulación pueden ser más complejos (128 QAM) y las tasas de codificación más elevadas. Con ello se consigue independizar la tasa de error en transmisión de la distancia a la estación base y que las potencias de emisión sean similares tanto dentro de la banda fraccionada como para el resto de frecuencias utilizadas.

INTRODUCCIÓN: NUEVOS CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD EN REDES DE ACCESO VÍA RADIO

José Javier Martínez Vázquez. IIES



Los sistemas AMC están también relacionados con las técnicas MIMO, de hecho son la base de la codificación vertical, lo que hace más acusado aún su carácter relevante desde el punto de vista medioambiental. Las técnicas MIMO (*multiple input multiple output*) implican multiplexación y diversidad espacial en recepción y transmisión. La diversidad, ya incluida en las especificaciones de UMTS, impone una distancia entre antenas que no es posible implementar en terminales de bolsillo, obligando al empleo de PC tipo tablet como mínimo y dando lugar a un funcionamiento más alejado del usuario que el habitual del teléfono móvil de bolsillo.

Por último, cabe reseñar aquí que en general se tiende a equipos cada vez más compactos con un alto nivel de integración y susceptibles de ser utilizados dentro de un amplio margen de temperaturas, consiguiéndose sistemas con unas dimensiones reducidas y preparados para trabajar a la intemperie. Todo esto facilita el empleo del mismo soporte para los equipos de radio que para los sistemas radiantes, normalmente mástiles o torres de celosía, disminuyendo en gran medida la obra civil necesaria en la construcción de los emplazamientos de radio.

A finales de los 90, con el desarrollo de la telefonía móvil y la controversia social que supuso, el Consejo de la Unión Europea elaboró una Directiva sobre “Protección de los ciudadanos a los campos electromagnéticos” cuya transposición a la legislación española dio lugar al **Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas (Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre)**. A partir de ahí, el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación empezó a visar proyectos en los que se incluía un apartado que podría calificarse como “análisis ambiental”, consistente en la obtención de un valor de intensidad de campo o de radiación para posteriormente compararlo con el nivel de referencia reglamentado. Cuando se transfirieron competencias a las CCAA, algunas elaboraron su propia regulación muy en línea con la estatal, aunque por ejemplo la normativa catalana contiene niveles de referencia más restrictivos que el RD 1066/2001. Como complemento a esta reglamentación, se establecieron posteriormente algunas Órdenes Ministeriales, pero el análisis ambiental de los proyectos de redes de acceso vía radio sigue en la actualidad con un contenido muy parecido, sino igual, al de sus inicios.

Al hilo de esta reflexión, podría considerarse la posibilidad de establecer nuevos criterios de sostenibilidad en redes de acceso vía radio:

1. En primer lugar, en el enlace descendente, utilizando la potencia radiada por usuario como criterio de sostenibilidad, se obtiene un baremo de eficiencia energética del sistema y de la exposición a los campos electromagnéticos del usuario del teléfono móvil.

INTRODUCCIÓN: NUEVOS CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD EN REDES DE ACCESO VÍA RADIO

José Javier Martínez Vázquez. IIES



2. Tanto GSM como UMTS funcionan en su interfaz radio con diferentes sistemas de control de potencia. En el caso de la 4G, se ha sustituido el control de potencia por el control de la tasa de error en transmisión, que será la que al final determine el tipo de modulación y la tasa de codificación a emplear en cada enlace con un terminal de usuario. Las tecnologías AMC permiten la transmisión con potencia uniforme de las señales dentro de la banda de frecuencias de funcionamiento, evitando variaciones de la potencia de salida en el transceptor e incluso la denominada “respiración de la celda”. De esta forma, lo indicado en el punto uno es válido para toda la banda de frecuencias utilizada por el sistema de acceso vía radio que tenga implantada la tecnología AMC.
3. El uso de técnicas MIMO posibilita que el nivel de radiación que recibe el usuario de un terminal portátil esté alejado de los niveles de referencia reglamentados en nuestra legislación. Se podría incluso figurar en el equipo de usuario, en función de sus características MIMO, una distancia que asegure el gálibo impuesto por los niveles de referencia.
4. La implantación de equipos de intemperie soportados por el mástil o la torre de celosía del emplazamiento, no sólo implica un ahorro de costes muy considerable, cuestión esta que a día de hoy cabría calificar como de elevada sostenibilidad, sino que además se lograría que las localizaciones de estaciones base y repetidoras fueran menos agresivas con el paisaje y con el medioambiente.

Puede concluirse que los sistemas celulares actuales son los que marcan la pauta en lo relativo a la sostenibilidad de las redes de acceso vía radio y en consecuencia, desde aquí, postulamos nuevos criterios de sostenibilidad basados en las características del interfaz radio de la última generación de telefonía móvil.

CONTRIBUCIÓN DE LA RED DE LIDARES EARLINET A LA INFRAESTRUCTURA EUROPEA DE INVESTIGACIÓN ATMOSFÉRICA ACTRIS (AEROSOLS, CLOUDS, AND TRACE GASES INFRASTRUCTURE NETWORK)

Adolfo Comerón^{1*}, Michaël Sicard^{1,2}, Francesc Rocadenbosch^{1,2}

¹*RSLab, Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad Politécnica de Cataluña*

²*Instituto de Estudios Espaciales de Cataluña (IEEC) / Centro de Investigación Aeroespacial (CRAE), Universidad Politécnica de Catalunya*

1 Lidares de aerosoles

El acrónimo lidar, del inglés **light detection and ranging**, designa a los instrumentos que emplean radiación electromagnética a frecuencias ópticas, es decir, luz, para detectar objetos y determinar la distancia a la que se encuentran del instrumento. Se trata, pues de radares que utilizan luz en vez de radiación de microondas. Las ondas electromagnéticas a frecuencias ópticas presentan en general una fuerte interacción con los constituyentes de la atmósfera. En un lidar se utiliza un láser como emisor de luz, generalmente emitida en forma de pulsos muy cortos. Los lidares atmosféricos utilizan la luz del láser retornada por la atmósfera para obtener información sobre el estado de ésta. En este caso, el “objeto” es distribuido, pues cada sección de la atmósfera dispersa parte de la luz que le llega cuando el pulso de luz pasa por ella. Parte de la luz es dispersada hacia el instrumento (retrodispersada), donde es recogida por un telescopio, y convertida en una señal eléctrica por un fotorreceptor. A su vez, la señal eléctrica es muestreada y almacenada para su posterior análisis, del que se infieren las propiedades de la atmósfera para cuya determinación el lidar haya sido diseñado. Como se conoce la velocidad de la luz, el momento en que se adquiere la salida del fotorreceptor puede relacionarse con la distancia de la sección atmosférica que dio lugar a la señal. La figura 1 muestra el esquema típico de un lidar [1].

Entre otras aplicaciones, los lidares se emplean, por ejemplo, para obtener información sobre la distribución vertical de los aerosoles atmosféricos. Los aerosoles atmosféricos, partículas en suspensión en la atmósfera de origen natural o antropogénico, influyen en el balance radiativo global mediante sus propiedades de dispersión y absorción y afectan a la meteorología y a la calidad del aire. Los lidares de aerosoles detectan, con resolución en distancia, la radiación retrodispersada por las partículas en suspensión en la atmósfera. Los más sencillos, con una sola longitud de onda en emisión y recepción, permiten determinar las estratificaciones de los aerosoles, lo cual proporciona de por sí información interesante desde el punto de vista meteorológico; dando por buenas ciertas hipótesis, también permiten determinar los coeficientes de retrodispersión y de extinción de los aerosoles, que son utilizables en los modelos de transferencia radiativa empleados para calcular el balance radiativo del sistema tierra-atmósfera. Como en la forma de la señal lidar recibida aparecen combinados los coeficientes de retrodispersión y extinción, las hipótesis efectuadas para discriminarlos implican un conocimiento a priori de la relación entre ambos, lo cual es una limitación de los sistemas de una única longitud de onda en recepción.

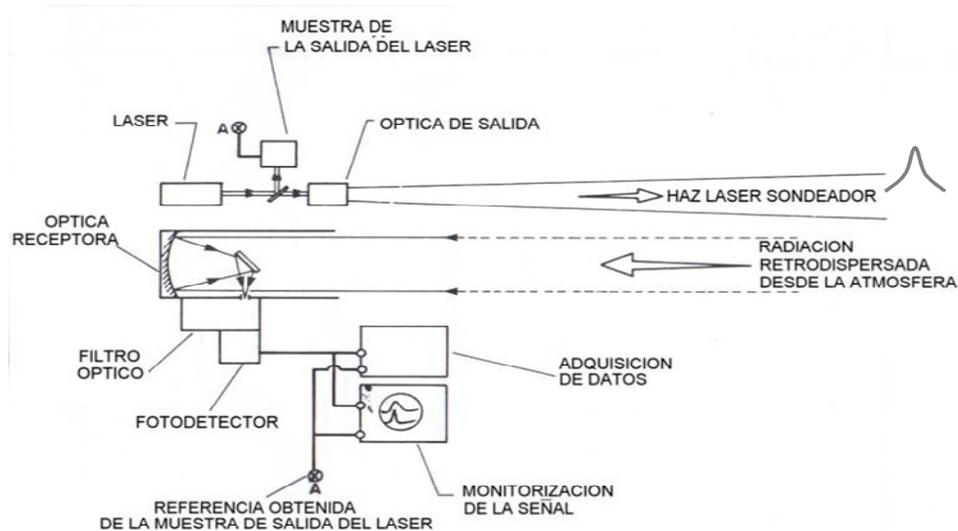


Fig. 1. Estructura básica de un lidar (figura adaptada de la referencia 1)

La figura 2 muestra la información proporcionada por la señal corregida en distancia (la señal de salida del fotorreceptor multiplicada por el cuadrado de la distancia de la que procede, en la escala de color en la figura) de un lidar de una sola longitud de onda (1064 nm en este caso) en función de la altura y el tiempo en el inicio de una irrupción de polvo sahariano sobre Barcelona. Se distinguen claramente las estratificaciones del polvo y la aparición de una gran masa que se extiende desde unos 1500 m hasta unos 3000 m entre las 14:00 UTC y las 18:00 UTC aproximadamente.

En sistemas más avanzados se incluyen los llamados canales Raman que, además de la radiación a la longitud de onda emitida por el láser, reciben la radiación retrodispersada por una especie atmosférica abundante, por ejemplo el nitrógeno, desviada en longitud de onda respecto de la de emisión por efecto Raman. Dado que la proporción de nitrógeno en la atmósfera es uniforme en toda la tierra y que su concentración puede conocerse muy bien, esta señal Raman sirve como “marcador”, pues su ley de decrecimiento en función de la altura, ligada al decrecimiento de la concentración de moléculas, puede conocerse asimismo muy bien en una atmósfera puramente molecular.

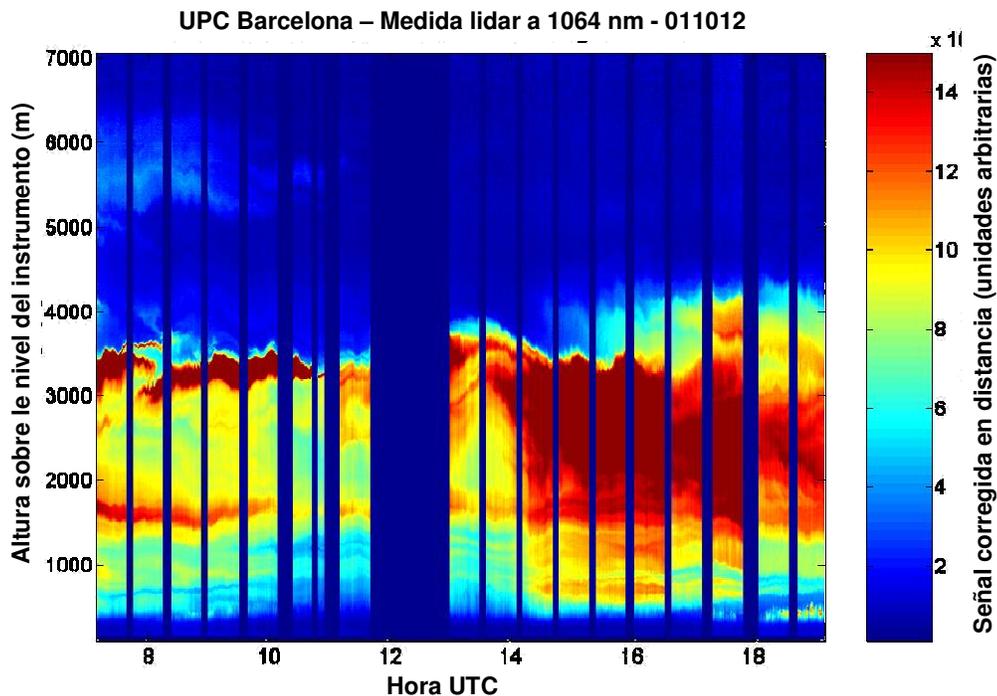


Fig. 2. Señal corregida en distancia en función del tiempo y de la altura medida por un lidar a la longitud de onda de 1064 nm al principio de una irrupción de polvo sahariano.

Las desviaciones respecto de esta ley en la señal Raman realmente medida se pueden relacionar fácilmente con la extinción producida por los aerosoles. Así pues, estos sistemas que combinan canales de recepción elásticos (a la longitud de onda de emisión) y canales Raman (algo desplazados respecto de la longitud de onda de emisión), permiten determinar simultáneamente sin hipótesis a priori los coeficientes de extinción y de retrodispersión de los aerosoles, lo cual, a su vez, proporciona cierta información sobre el tipo de aerosol que se está midiendo, pues el cociente entre el coeficiente de extinción y el de retrodispersión, llamado relación lidar, depende de la composición de las partículas. La figura 3 corresponde a una medida según esta técnica. En sistemas con más prestaciones se utilizan combinaciones de canales elásticos y Raman a varias longitudes de onda; por ejemplo es típico emplear láseres de Nd:YAG, con una longitud de onda fundamental de 1064 nm (infrarrojo próximo), provistos de dobladores y triplicadores de frecuencia, con lo que se obtienen simultáneamente tres haces, uno a la longitud de onda fundamental y los otros dos a 532 nm (frecuencia doble, prácticamente en el centro del espectro visible) y 355 nm (frecuencia triple, ultravioleta próximo) simultáneamente; además de canales de recepción a estas tres longitudes de onda, se realizan canales Raman a 607 nm (una de las bandas laterales intensas del espectro Raman del nitrógeno excitado a 532 nm) y 387 nm (misma banda lateral bajo la excitación a 355 nm). No se utiliza canal Raman correspondiente a la excitación a 1064 nm, porque la sección recta Raman, que es aproximadamente proporcional a la potencia cuarta de la inversa de la longitud de onda, es demasiado baja a esa longitud de onda. Con la información que se puede extraer sobre los coeficientes de extinción y retrodispersión a las distintas longitudes

Contribución de la red de lidares EARLINET a la infraestructura europea de investigación atmosférica ACTRIS (Aerosols, Clouds, and Trace Gases Infrastructure Network)

de onda, es posible inferir propiedades microfísicas de los aerosoles, como el radio efectivo de las partículas, concentración de las mismas, índice de refracción complejo e incluso la distribución del tamaño de las partículas [2,3]. La adición de canales de despolarización, que miden la componente despolarizada de la luz retrodispersada (los pulsos emitidos están normalmente polarizados linealmente), permite además obtener información sobre el grado de elongación de las partículas.

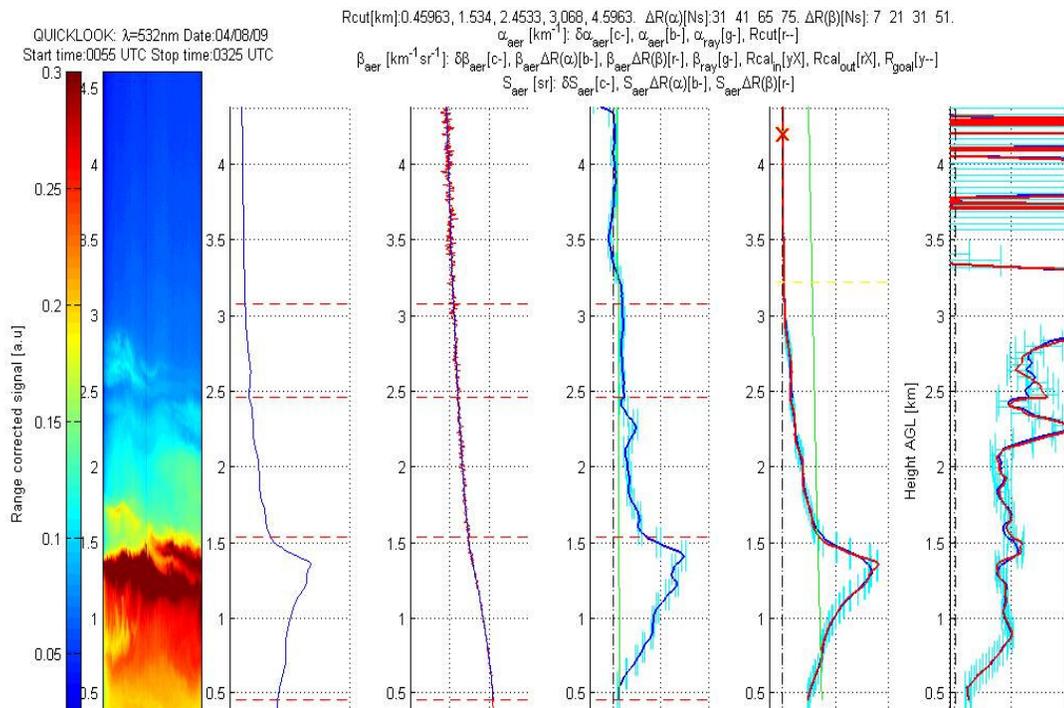


Fig. 3. Ejemplo de obtención de los coeficientes de retrodispersión y extinción a la longitud de onda de 532 nm mediante la técnica Raman. Las gráficas, empezando desde la izquierda corresponden a: a) señal elástica (532 nm) corregida en distancia (escala de color) en función de la altura y del tiempo en un intervalo de 3 horas y media; b) señal corregida en distancia en función de la altura correspondiente al promedio de las 3 horas y medias de la gráfica anterior; c) señal corregida en distancia del canal Raman (607 nm); d) coeficiente de extinción de los aerosoles a 532 nm; e) coeficiente de retrodispersión de los aerosoles a 532 nm; f) cociente entre el coeficiente de extinción v el de retrodispersión (relación lidar).

2 Origen y evolución de EARLINET

La red europea de lidares de investigación de aerosoles (EARLINET: European Aerosol Research Lidar Network⁴) se creó en el año 2000 con el impulso de un proyecto del 5º Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Comisión Europea. Inicialmente estaba formada por 21 lidares pertenecientes a 19 organismos de investigación. La red demostró su capacidad como herramienta para la medida de la distribución de aerosoles en las tres dimensiones del espacio (cada estación lidar mide en la dimensión vertical y el funcionamiento coordinado de las distintas estaciones distribuidas sobre Europa proporciona las otras dos) y en el tiempo (de nuevo mediante el funcionamiento coordinado de las estaciones), e inició la

Contribución de la red de lidares EARLINET a la infraestructura europea de investigación atmosférica ACTRIS (Aerosols, Clouds, and Trace Gases Infrastructure Network)

compilación de la mayor base de datos existente hoy en día sobre la distribución de aerosoles a escala continental.

La explotación de esta base de datos permite, además de la cuantificación de la concentración de aerosoles, la determinación de sus propiedades radiativas a través de sus coeficientes de extinción y retrodispersión, el estudio de fenómenos de transporte sobre grandes distancias, como, por ejemplo, las aportaciones de polvo mineral desde el Sahara o el transporte de biomasa quemada con ocasión de grandes incendios forestales, la predicción de tendencias mediante el análisis temporal de las medidas contenidas en la base de datos, la mejora de los modelos numéricos meteorológicos y climáticos de gran escala mediante la inclusión en los mismos de una representación más exacta de los efectos de los aerosoles en cuanto a distribución y propiedades, y la mejora de la explotación de los datos de satélites de observación de la tierra, que son afectados por la presencia de aerosoles.

Tras la finalización del proyecto del 5º Programa Marco en 2003, EARLINET se constituyó como una asociación de instituciones y personas interesadas en el estudio de los aerosoles atmosféricos mediante lidar, con existencia independiente de la financiación específica de un proyecto de respaldo.

Entre 2006 y 2011, las actividades de EARLINET fueron parcialmente financiadas por el proyecto del 6º Programa Marco “EARLINET – Advanced Sustainable Observation System” (EARLINET-ASOS), cuyos objetivos eran progresar en el control de calidad de los instrumentos lidar, establecer normas comunes para incrementar la cobertura temporal de las medidas, mejorar los procedimientos de medida, procesado de datos e inversión de los parámetros microfísicos de los aerosoles a partir de las medidas de los parámetros ópticos mediante sistemas con varias longitudes de onda, mejorar la base de datos y su interficie de usuario, y fomentar la cooperación y coordinación con otras comunidades científicas en general y, en particular, con la federación global de redes de lidares de aerosoles GALION⁵, patrocinada por la Organización Meteorológica Mundial dentro del programa Global Atmospheric Watch (GAW), a la cual EARLINET, como red más desarrollada, sirve de modelo y traspasa la experiencia adquirida en cuanto a procedimientos y control de calidad de instrumentos y productos.

El marco propiciado por EARLINET-ASOS fomentó el crecimiento de EARLINET en cuanto al número de estaciones y las prestaciones de las mismas, produciéndose durante el proyecto una evolución de muchas estaciones desde configuraciones más sencillas hacia el llamado “standard de EARLINET”, consistente en sistemas lidar con al menos tres canales elásticos y dos canales Raman del nitrógeno atmosférico, comúnmente basados en un lidar de Nd:YAG provisto de doblador y triplicador de frecuencia utilizando las longitudes de onda mencionadas en la sección 1. La figura 4 muestra el lidar de la estación EARLINET de la UPC, correspondiente al “standard de EARLINET”. En la foto de la izquierda se ve el sistema completo; se observa, al fondo, el cabezal óptico con el láser emisor, provisto de un doblador y de un triplicador de frecuencia, y el telescopio que recoge la radiación retrodispersada desde la atmósfera; a la derecha se encuentra el rack que contiene el sistema óptico de separación de las longitudes de onda medidas (policromador) y los fotodetectores que convierten las señales ópticas en eléctricas, el sistema de muestreo y adquisición y el ordenador de control. La luz recogida por el telescopio se lleva al policromador mediante un haz de fibras ópticas.

La foto de la derecha es una vista frontal del sistema en funcionamiento, en que se ve el haz verde de 532 nm de longitud de onda correspondiente al segundo armónico de

Contribución de la red de lidares EARLINET a la infraestructura europea de investigación atmosférica ACTRIS (Aerosols, Clouds, and Trace Gases Infrastructure Network)

la longitud de onda fundamental del láser de Nd:YAG; al haz verde, e invisibles para el ojo humano, se superponen un haz a la longitud de onda fundamental del láser (1064 nm, infrarrojo próximo) y otro a la longitud de onda del tercer armónico (355 nm, ultravioleta próximo).

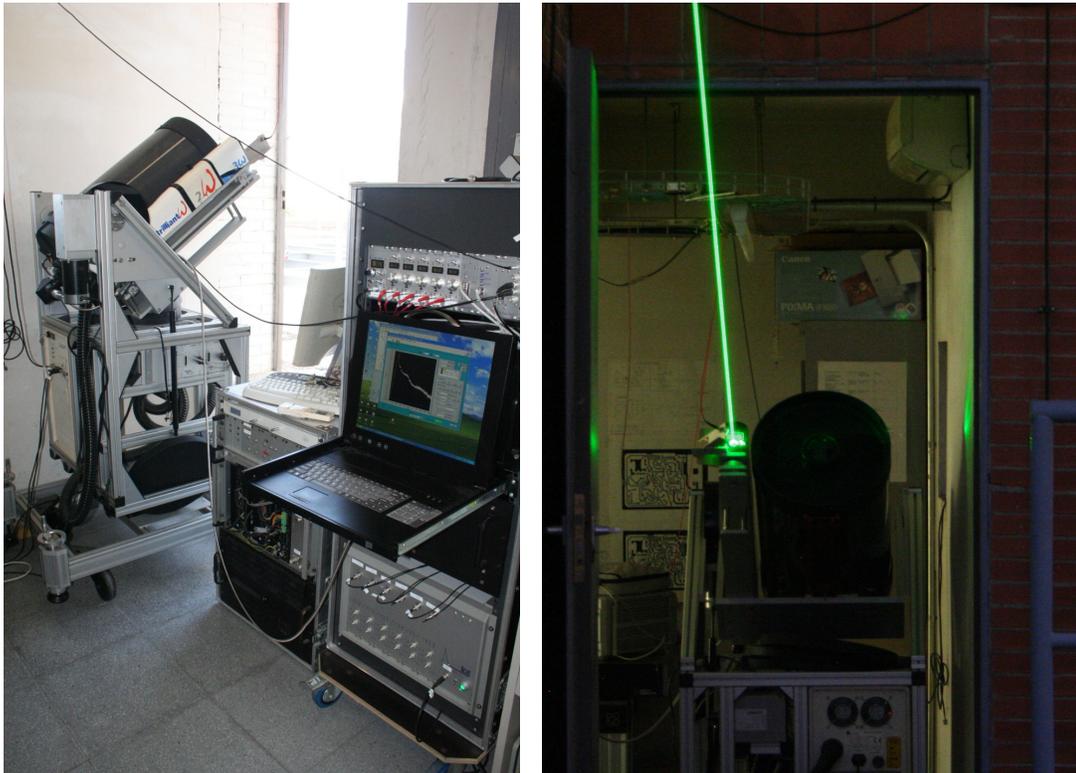


Fig. 4. El sistema lidar de la estación EARLINET de Barcelona (Universidad Politècnica de Catalunya). Izquierda: Sistema completo. Derecha: vista frontal del sistema en funcionamiento.

Los datos de EARLINET pueden obtenerse, tras aceptar las condiciones de utilización, de la base de datos accesible desde su página web⁴.

3 La infraestructura ACTRIS

Desde abril de 2011, EARLINET es la componente de medida remota de aerosoles con resolución en distancia de la infraestructura ACTRIS (Aerosols, Clouds, and Trace Gases Infrastructure Network⁶), respaldada hasta 2015 por un proyecto europeo del 7º Programa Marco del mismo nombre. La figura 5 muestra el estado actual de EARLINET en ACTRIS, con 30 estaciones lidar en funcionamiento coordinado distribuidas en Europa, doce de ellas (círculos rojos) correspondientes como mínimo al “standard de EARLINET” descrito en la sección 2, que permiten obtener información sobre el tipo de aerosol e incluso determinar sus propiedades microfísicas, nueve (círculos verdes) que, aunque con menos canales que las anteriores, están dotadas de canales Raman del nitrógeno que permiten determinar los coeficientes de extinción y retrodispersión de los aerosoles sin necesidad de hipótesis sobre una relación entre ambos (sección 1) y nueve sistemas relativamente sencillos (círculos azules) que no **Contribución de la red de lidares EARLINET a la infraestructura europea de investigación atmosférica ACTRIS (Aerosols, Clouds, and Trace Gases Infrastructure Network)**

poseen canales Raman. Además, quince sistemas (símbolo III sobre fondo azul adicional) están dotados de canales de despolarización que permiten obtener información adicional sobre las propiedades microfísicas de las partículas que constituyen el aerosol (sección 1).



Fig. 5. EARLINET en ACTRIS. Círculo rojo adicional: la estación satisface como mínimo el “standard de EARLINET”; círculo verde: estación que no llega al “standard de EARLINET”, pero que está dotada de al menos un canal Raman; círculo azul: la estación no posee canales Raman; símbolo III sobre fondo azul: la estación está dotada de canales de polarización; sol amarillo: hay en funcionamiento un fotómetro solar de AERONET en la estación o sus proximidades.

En ACTRIS confluyen, además de EARLINET, las infraestructuras de EUSAAR (European Supersites for Atmospheric Aerosol Research⁷), centrada en el estudio de aerosoles mediante instrumentos de medida *in-situ* de las propiedades químicas, físicas y ópticas de los aerosoles, de CLOUDNET⁸, dedicada a la teledetección de nubes y aerosoles, y la infraestructura existente de medida de gases traza, que no había sido agrupada oficialmente bajo un proyecto común hasta la fecha.

Contribución de la red de lidares EARLINET a la infraestructura europea de investigación atmosférica ACTRIS (Aerosols, Clouds, and Trace Gases Infrastructure Network)

Además, existe una relación estrecha con la red de fotómetros solares AERONET⁹, que, a través de AERONET-Europa, proporciona servicios de calibración a los fotómetros solares de que muchas de las estaciones de ACTRIS también están equipadas (soles amarillos en la figura 5). La distribución de las distintas partes de la infraestructura de ACTRIS aparece en la figura 6.

ACTRIS tiene como objetivos proporcionar datos mediante observaciones de largo plazo a escala regional para investigaciones climáticas y de calidad del aire, proporcionar acceso a grandes infraestructuras a investigadores externos, desarrollar nuevas herramientas de integración de los datos adquiridos mediante las distintas técnicas usadas en la infraestructura, favorecer la formación de científicos y usuarios de datos en el campo de las observaciones atmosféricas y promover el desarrollo de nuevas tecnologías de observación de aerosoles, nubes y gases traza mediante la

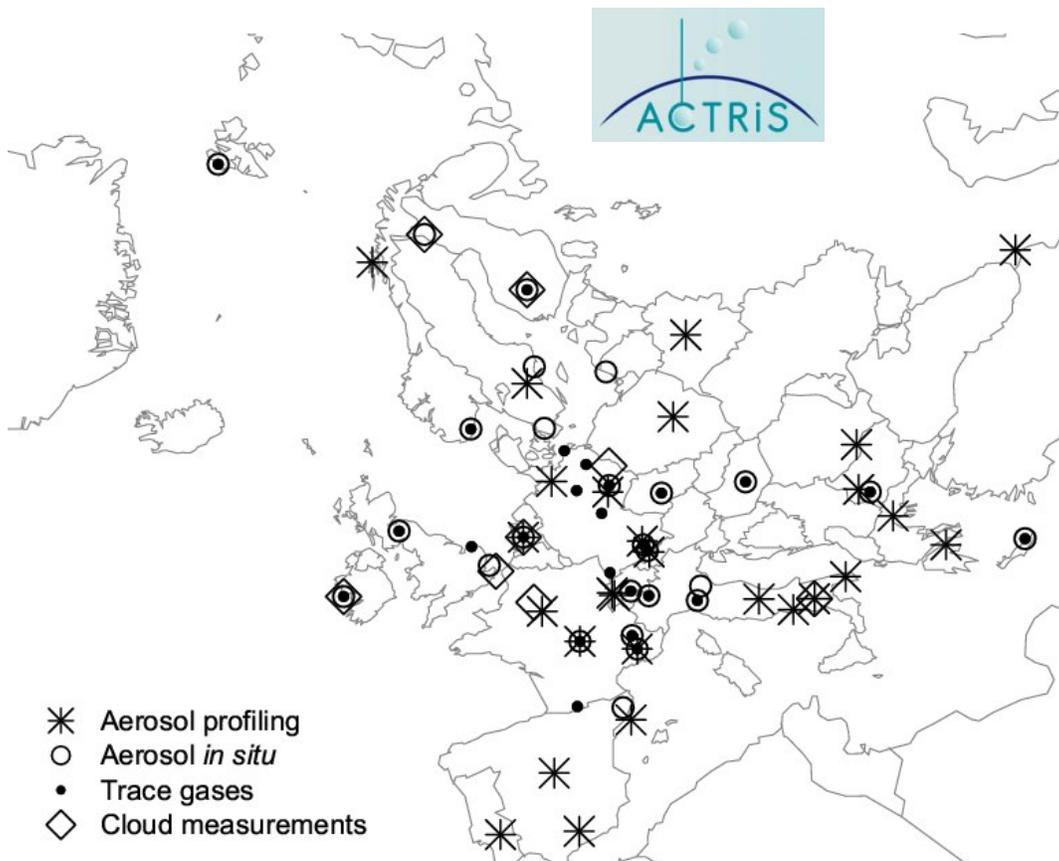


Fig. 6. Distribución de los componentes de la infraestructura de ACTRIS.

asociación de PyMEs al proyecto.

Dentro de ACTRIS, EARLINET, además de contribuir a la base de datos integrada de productos de aerosoles, mantiene los procedimientos de control de calidad de los instrumentos lidar (comprobaciones periódicas internas, campañas de intercomparación de lidares), introduce controles de calidad en las medidas brutas y

Contribución de la red de lidares EARLINET a la infraestructura europea de investigación atmosférica ACTRIS (Aerosols, Clouds, and Trace Gases Infrastructure Network)

en las medidas invertidas y define nuevos parámetros que se incluirán en las medidas, además de los coeficientes ópticos (extinción y retrodispersión), relación lidar y exponentes de Ångström, que ya existían en la base de datos de EARLINET antes de ACTRIS, como la relación de despolarización, la detección de estratificaciones y la determinación de las propiedades geométricas y ópticas de las mismas, y la evaluación de la incertidumbre en las medidas. Además fomenta la utilización de la llamada cadena única de cálculo, programa de procesado de datos centralizado y automatizado, desarrollado dentro del proyecto EARLINET-ASOS (sección 2), cuya entrada son los datos brutos de los distintos sistemas lidar y cuya salida son los productos lidar (coeficientes ópticos, etc...), cuya utilización debe contribuir a mejorar la calidad de las inversiones y a reducir el tiempo transcurrido entre una medida y la inclusión de sus resultados en la base de datos.

Por otra parte, EARLINET lleva también a cabo dentro de ACTRIS una tarea de investigación científico-técnica destinada, por una parte, a aumentar las capacidades de medida diurna de los canales Raman, cuyas prestaciones, debido a lo débil de la señal, se degradan mucho si no se limita lo suficiente la radiación de fondo que reciben y, por otra, al desarrollo del funcionamiento sinérgico de lidares y fotómetros solares para, a partir de la combinación de los datos proporcionados por ambas clases de instrumentos, obtener información resuelta en distancia sobre algunas propiedades microfísicas de los aerosoles.

El futuro de ACTRIS se contempla idealmente como una infraestructura distribuida estable, cuyas prestaciones y cobertura irían aumentando con el tiempo, probablemente en el marco del Foro Estratégico Europeo sobre Infraestructuras de Investigación (ESFRI). Desde ahora mismo, los datos proporcionados por las distintas estaciones e instrumentos de la infraestructura están disponibles, después de aceptar las condiciones de uso, desde el centro de datos de ACTRIS accesible desde su portal web⁶.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a los siguientes organismos, que han contribuido a hacer posible el trabajo presentado en esta ponencia mediante la financiación de los proyectos indicados: Comisión Europea, por el proyecto del 7º Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico “Aerosols, Clouds, and Trace gases Research Infrastructure Network (ACTRIS)” (Grant Agreement No. 262254); Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnología y Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), por los proyectos TEC2009-09106 “Lidares elástico-Raman: integración, procesado de datos y explotación (red europea y misiones espaciales)” y UNPC10-4E-442 “Unmanned unattended lidar (radar laser) station”; Ministerio de Ciencia e Innovación, por la Acción Complementaria CGL2011-13580-E/CLI “Participación española en ChArMEx (The Chemistry-Aerosol Mediterranean Experiment) – ChArMEx – SP2”.

Contribución de la red de lidares EARLINET a la infraestructura europea de investigación atmosférica ACTRIS (Aerosols, Clouds, and Trace Gases Infrastructure Network)



REFERENCIAS

- [1] R. M. Measures: “Laser Remote Sensing. Fundamentals and applications”. John Wiley & Sons, 1984
- [2] Detlef Müller, Ulla Wandinger, Dietrich Althausen, Ina Mattis, Albert Ansmann, “Retrieval of physical particle properties from lidar observations of extinction and backscatter at multiple wavelengths”, *App. Opt.*, **37**, 12, pp. 2260-2263, Abril de 1998.
- [3] L. Osterloh, C. Böckmann, R. E. Mamouri, A. Papayannis, “An Adaptive Base Point Algorithm for the Retrieval of Aerosol Microphysical Properties”, *The Open Atmospheric Science Journal*, **2011**, 5, pp. 61-73, 2011.
- [4] <http://www.earlinet.org/>
- [5] <http://alg.umbc.edu/galion/>
- [6] <http://www.actris.net/>
- [7] <http://www.eusaar.net/>
- [8] <http://www.met.reading.ac.uk/radar/cloudnet/>
- [9] http://aeronet.gsfc.nasa.gov/new_web/

Avances en el seguimiento en continuo de los vertidos de las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales Urbanas (EDARU)

Ramón Prats i Vime. ADASA SISTEMAS

La Directiva Marco del Agua (DMA) obliga a tratar las aguas residuales urbanas producidas en aglomeraciones humanas superiores a los 200 He, teniendo que habilitar para ello las correspondientes instalaciones. En cumplimiento de esta normativa, en la mayoría de las Comunidades Autónomas ya están construidas las EDAR para núcleos de hasta 2000 He y parcialmente las de núcleos de menor tamaño.

El problema que sigue a esta parte de la legislación, es cumplir también con el espíritu de la normativa o sea, a que las instalaciones construidas al efecto funcionen correctamente. Es una realidad constatada que las EDAR tienen, en muchos casos, una operativa deficiente por diferentes motivos, lo que hace que sea de alto interés el seguimiento de la calidad de las aguas tratadas llevado a cabo por las estaciones en servicio.

El control habitual del funcionamiento de las EDAR, se realiza mediante el muestreo periódico, realizado con una frecuencia que es función del tamaño de la planta, y posterior análisis en laboratorio de estas muestras. Esta frecuencia, para estaciones inferiores a 20.000 He, que son la mayor parte de las nacionales, es mensual. Pero esta frecuencia es insuficiente para garantizar que la estación funciona correctamente durante todo el periodo.

Por otro lado, las causas por las que una EDAR puede perder el equilibrio (entendiendo con ello que pasa de una operación estabilizada y correcta - ver Fig. 1 - a otra con resultados deficientes) son múltiples y pueden aparecer en cualquier momento: desde concentraciones de carga en el influente imposibles de "digerir" en tiempo real, a flujos mayores a los previstos, pasando por contenidos en las aguas a tratar de compuestos no permitidos de carácter tóxico para las bacterias que oxidan la materia orgánica (MO).

También hay que considerar que las EDAR, o más concretamente las estaciones de tratamiento de las aguas residuales urbanas (EDARU), están diseñadas para reducir la concentración de MO procedente de seres vivos y que prácticamente todo lo que no corresponda a este tipo de contenido, o a

Avances en el seguimiento en continuo de los vertidos de las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales Urbanas (EDARU).

Ramón Prats i Vime. ADASA SISTEMAS

materia en suspensión decantable MSD o eliminable por flotación, sale de la instalación tal y como ha entrado ya sea en los lodos producidos, ya sea en el efluente o agua tratada.

Cabe considerar como potencial perturbador del equilibrio de la planta, todo compuesto que por su naturaleza actúe como inhibidor de la actividad de las bacterias del reactor biológico, o un exceso en la concentración de la MO que sature la capacidad del reactor.

Estas condiciones en el influente, no son raras sino todo lo contrario, ni tampoco permanentes, por lo que el equilibrio del reactor puede perderse con más frecuencia de la deseable y su recuperación no es inmediata, sobre todo ante episodios de toxicidad que pueden restar actividad al lecho bacteriano tanto por mortandad como por inhibición temporal más o menos larga y que reducen la capacidad de tratamiento de la EDARU por días e incluso algunas semanas.



Fig. 1 Dos situaciones del funcionamiento de una misma EDARU

En estas condiciones es evidente que la operativa de control de muestreo periódico no garantiza detectar los cambios que se producen en el proceso a causa de las variaciones del influente y nos empuja requerir de medios de control permanentes capaces de informar en todo momento del resultado del proceso aplicado al agua tratada.

La presentación muestra los avances en los medios automáticos y de funcionamiento continuo que se han desarrollado para este fin, y los resultados

Avances en el seguimiento en continuo de los vertidos de las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales Urbanas (EDARU).

obtenidos en las aplicaciones, así como el uso de esta información por los operadores de las estaciones de tratamiento.

Para cubrir la necesidad de control del funcionamiento de una EDARU, nos planteamos los objetivos que siguen:

- Tener información sobre la calidad del efluente en tiempo real 24/24 horas y 365/365 días del año, mediante un sistema automático y con capacidad de funcionar en red (posibilidad de control simultáneo de varias EDARU)
- Tener constancia de las eventuales desviaciones de la calidad del vertido, y con ello anticipar situaciones de funcionamiento deficiente de la EDARU que permitan adoptar, de manera temprana, acciones que restablezca el óptimo funcionamiento de la planta.
- Medios para el aprendizaje que nos proporciona la respuesta, y la manera de integrar este conocimiento en la operación de las plantas en situaciones de funcionamiento irregular.
- Optimizar la gestión de las plantas controladas.

La solución adoptada para alcanzar los objetivos propuestos se ha basado en el desarrollo de un sensor de medida de la MO integrable en un equipo multi paramétrico, que permite la operativa propia de “una sonda” (efectuar la medida de la concentración de la MO en el agua, sin necesidad de acondicionar la muestra ni añadir ningún tipo de reactivo).



Fig. 2 El sensor desarrollado: detalle interior, unidad completa y su integración en el equipo

Avances en el seguimiento en continuo de los vertidos de las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales Urbanas (EDARU).



Especificaciones de la sonda desarrollada:

Canales implementados en el módulo: 4

Utilización: Canal 1	medida SAC
Canal 2	Compensación turbidez
Canal 3	Previsto UV 280nm
Canal 4	Medida de la Turbidez en NTU

Rango estándar de medida SAC 0 – 200 Und abs/m

Alimentación ± 15 Vcc

Medidas 170 x 120 x 70 mm

A estas especificaciones cabe unir las propias de los parámetros físico - químicos habituales del equipo multiparámetro en su versión definitiva:

Temperatura	0	...	50°	C
pH	0	...	14	Uds pH
Redox	-1000	...	+1000 mV	o -2500 ... +2500 mV
Conductividad	0	...	20 mS	o 0 ... 100 mS/cm
Oxígeno disuelto	0	...	25 ppm	O ₂
Turbidez	0	...	300 FAU	o 0 ... 1000 FAU
SAC (UV 254 nm)	0	...	400 Abs/m	o 0 ... 1300 Abs/m
Ampliaciones	0	...	20mA	

Lo que nos da un equipo con las características generales:

Alimentación:	110 - 230 VAC / 50 -60 Hz
Potencia:	200 W máx.
Comunicaciones:	RS-232 , RS-485.
Opcional:	Modem GSM/GPRS, Ethernet y 4-20mA
Medidas:	750 x 500 x 420 mm
Peso:	45 Kg

Avances en el seguimiento en continuo de los vertidos de las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales Urbanas (EDARU).

Que puede efectuar, las medidas que se indican en la Fig. 3:

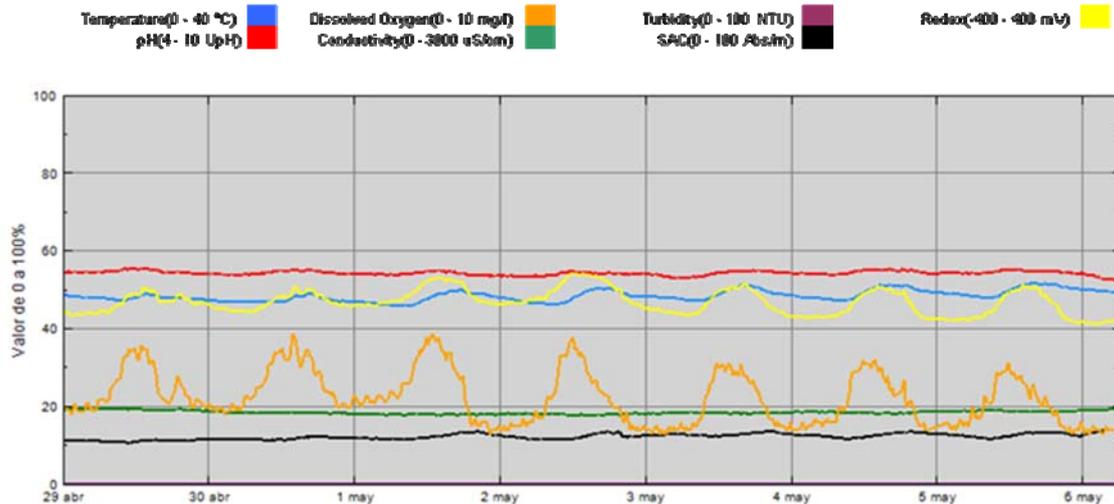


Fig. 3 Ejemplo de buen funcionamiento de una estación de tratamiento de AR's

Y que con los medios de comunicación integrados puede transmitir la información generada para optimizar la gestión de la EDARU en tiempo real, a un centro de control situado en la misma planta o externo a ella.

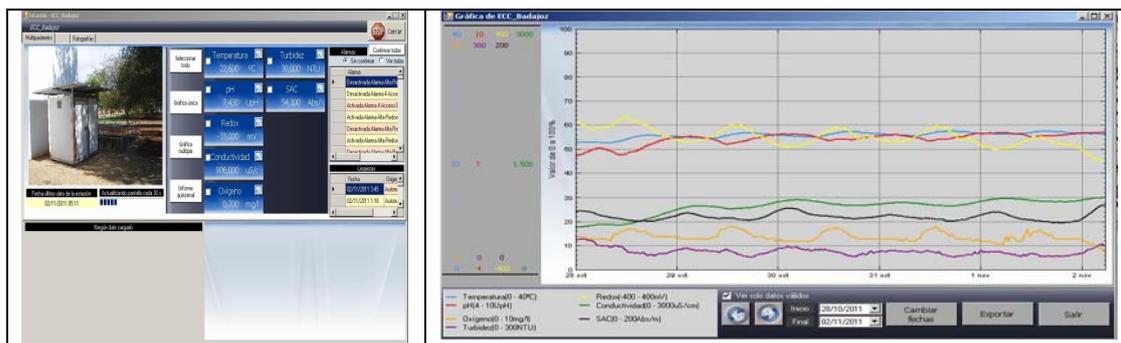


Fig. 4 Aspecto de los datos representados en el Centro de Control

Desde el centro de control se puede ejercer un nivel apreciable de telemando enviando órdenes remotas tales como parar o poner en marcha el sistema, tomar una muestra, solicitar el envío de información, etc., con lo que se dispone

Avances en el seguimiento en continuo de los vertidos de las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales Urbanas (EDARU).

de una capacidad de control del sistema muy adecuado para el seguimiento de episodios en tiempo real.

El sistema puede ser configurado como una verdadera red automática de control para un grupo de EDARU's, que permite desde un único "centro de control" adquirir, visualizar y gestionar la información recibida, tanto la evolución de los parámetros de calidad de los vertidos controlados como la recepción o generación de las alarmas de estado/funcionamiento que se establezcan.

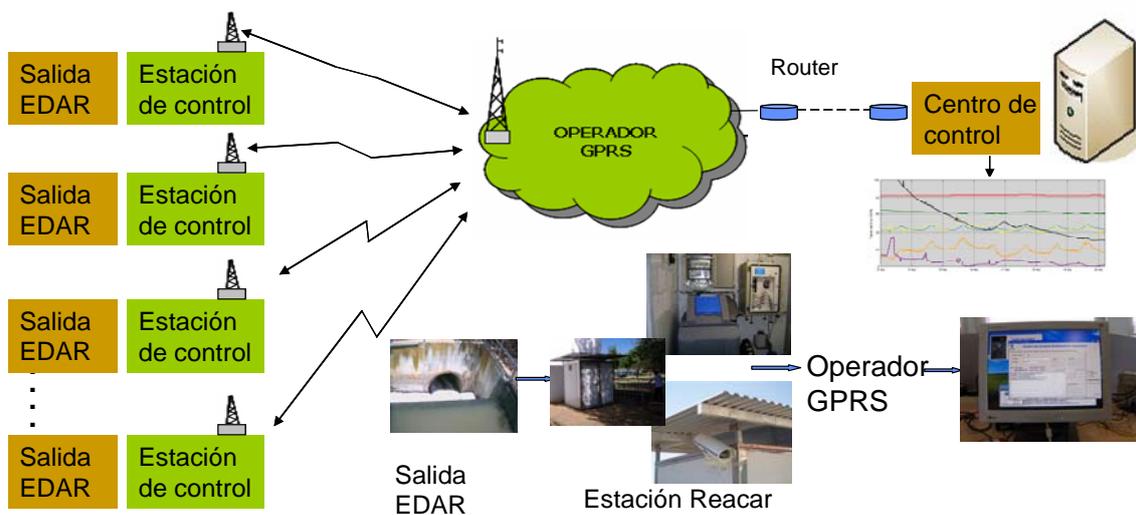


Fig. 5 Esquema de control de varias EDARU's operando en red

Los resultados obtenidos por el equipo multiparámetro que integra la sonda de medida de la MO desarrollada, instalado en una EDARU, nos han proporcionado el tipo de información que se muestra en los ejemplos:

Avances en el seguimiento en continuo de los vertidos de las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales Urbanas (EDARU).

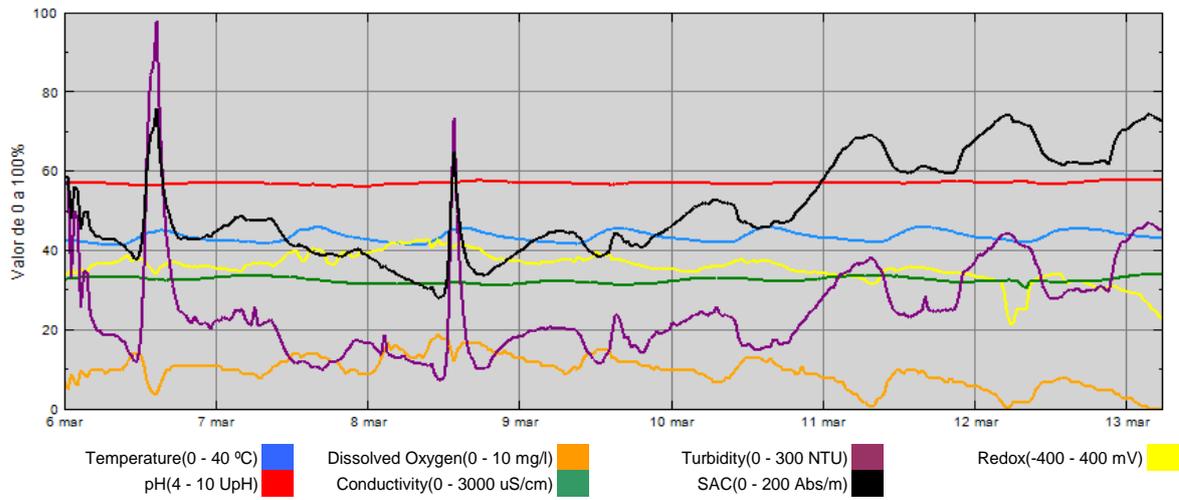


Fig. 6 Ejemplo de detección de episodios puntuales y tendencia a empeorar

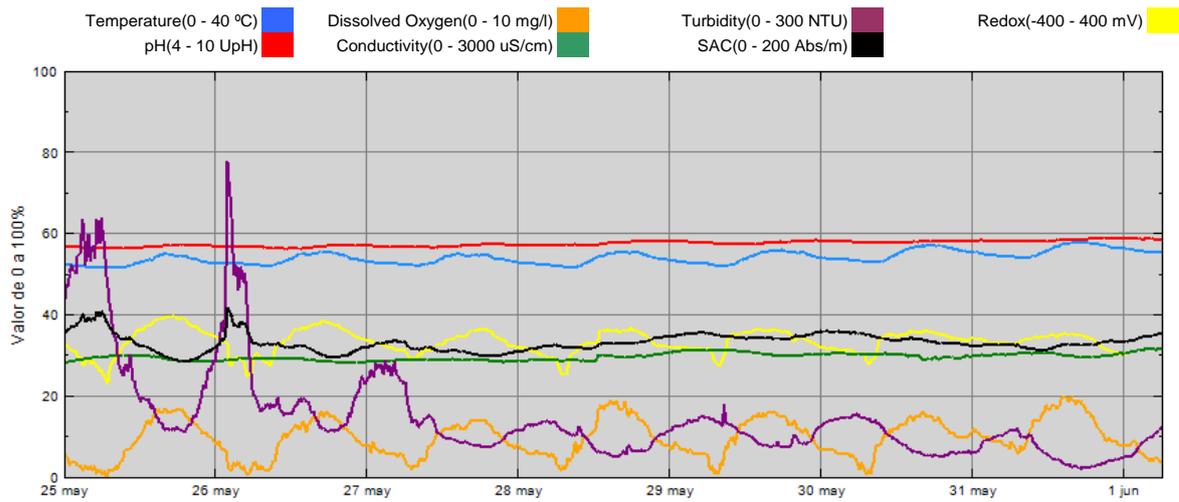


Fig. 7 Detalle de cómo se recupera el equilibrio después de un episodio

Avances en el seguimiento en continuo de los vertidos de las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales Urbanas (EDARU).

Ramón Prats i Vime. ADASA SISTEMAS

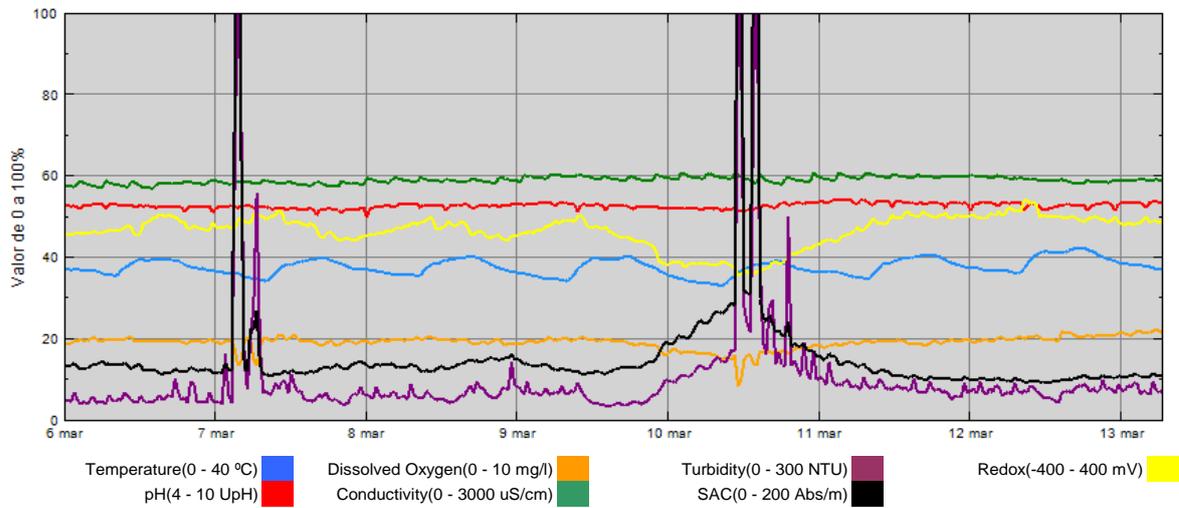


Fig. 8 Episodio producido por la operativa de la planta

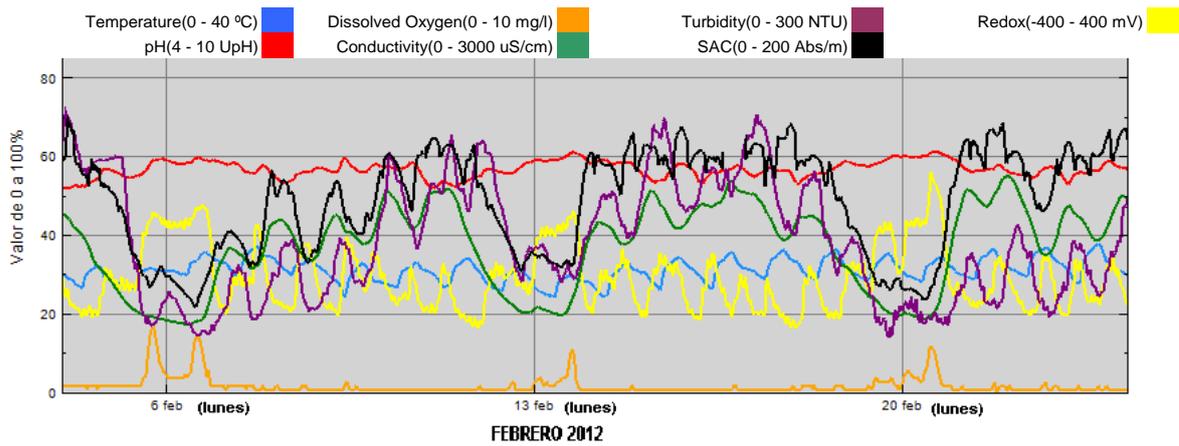


Fig. 9 Detalle de los efectos del ciclo semanal

Avances en el seguimiento en continuo de los vertidos de las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales Urbanas (EDARU).

Ramón Prats i Vime. ADASA SISTEMAS

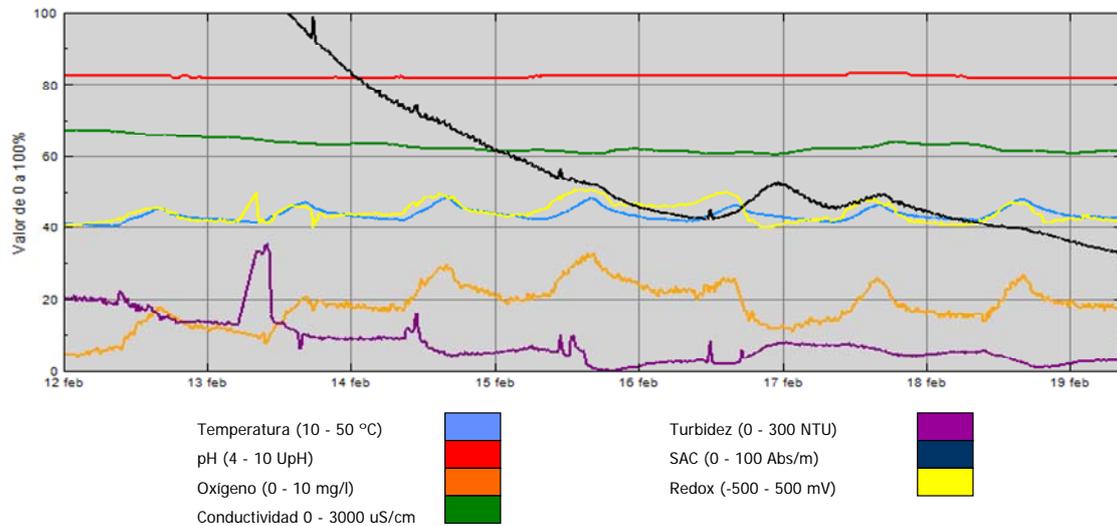


Fig. 10 Como se recupera el equilibrio en una EDARU

Como conclusión de cuanto acabamos de describir, podemos afirmar que la información obtenida permite:

- Realizar el seguimiento continuo y en tiempo real de la calidad de las aguas tratadas y por tanto del vertido de la EDARU.
- De ducir de manera fehaciente, en el caso que se produzcan, las situaciones de funcionamiento deficiente de las EDARU's.
- Tener una primera visión de las causas del problema.
- Conocer la calidad permanente del efluente obtenido, las variaciones que sufre éste en función de los influentes tratados o problemas en la operativa.
- Saber los momentos en los que no se cumplen los límites de calidad autorizados para el vertido.

En definitiva, toda una serie de datos de alto interés cuyo objetivo es proporcionar información que nos ayude a optimizar la operación de la planta y demostrar que su funcionamiento cumple, probablemente la mayor parte del

Avances en el seguimiento en continuo de los vertidos de las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales Urbanas (EDARU).



Teledetección y Sensores Medioambientales

tiempo, los requisitos exigidos en la autorización del desarrollo de la actividad y los límites de carga del efluente fijados en ella.

El sistema puede ser por todo ello de alto interés para los explotadores de las plantas (generalmente empresas especializadas en este servicio, contratadas por la propiedad), así como para la supervisión de la propiedad (normalmente entes locales o entidades supralocales). Interés para optimizar el funcionamiento de las plantas al permitir, mediante el estudio de la información obtenida, detectar en tiempo real los desequilibrios en el reactor biológico, los hábitos y tipologías del vertido (distribución horaria, semanal y vacacional o de días especiales, frecuencia y origen de vertidos problemáticos) y además demostrar el cumplimiento de los objetivos de calidad planteados y tener con ello una defensa ante la Administración competente en caso de dudas o desacuerdos.

Avances en el seguimiento en continuo de los vertidos de las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales Urbanas (EDARU).

Ramón Prats i Vime. ADASA SISTEMAS



SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUÁTICOS COSTEROS Y CONTINENTALES MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN

Carmelo Alonso-Jiménez, Victoriano Moreno, Daniel Carrasco y Marino Palacios

Unidad de Observación de la Tierra, Indra Sistemas. Calle Mar Egeo, 4, 28830 San Fernando de Henares. calonso@indra.es

RESUMEN

Se presenta un trabajo sobre el seguimiento de entornos acuáticos mediante imágenes de satélite de muy alta resolución cuyo objetivo es presentar las posibilidades del satélite Worldview-2 en su aplicación en los estudios relacionados con aguas costeras y continentales, especialmente en el ámbito de la medida de la calidad del agua mediante mapas de concentración de clorofila y de sólidos en suspensión en el agua. El satélite Worldview-2, que fue puesto en órbita en octubre de 2009, adquiere imágenes de la superficie terrestre con una resolución de 0.5 m en su modo pancromático y de 2 m en modo multiespectral. Su característica más distintiva que lo diferencia del resto de satélites de Muy Alta Resolución actualmente operativos es su resolución espectral: posee en total 8 bandas espectrales, registrando información de la superficie terrestre en 8 regiones del espectro electromagnético entre el azul y el infrarrojo cercano. Entre estas bandas, una se encuentra en la región conocida como “borde de rojo”, a caballo entre el rojo y el infrarrojo próximo entre 700 y 750 nm. Es ésta una banda clave para la medida cuantitativa de la concentración de clorofila y de sólidos en suspensión en entornos acuáticos.

INTRODUCCIÓN

Entre las aplicaciones de las imágenes de la superficie terrestre que obtienen los satélites de Observación de la Tierra en los entornos acuáticos están la detección y seguimiento de proliferaciones de algas y la medida de la concentración de sólidos en suspensión en el agua. Tradicionalmente, uno de los parámetros obtenidos de las imágenes de baja resolución (del orden de 1 km de tamaño de píxel) es el “color del océano”, relacionado con la distribución de fitoplancton (clorofila) en el mar. Este es el caso de sensores como CZCS (1978), SeaWiFS (1997) o MODIS (1999). Estos sensores permitían además la monitorización diaria de los fenómenos dinámicos asociados con el fitoplancton.

Las imágenes de media resolución (del orden de 100 m de tamaño de píxel), como las adquiridas por los sensores MSS (1972) a bordo de la serie Landsat, se pudieron aplicar a estudios de mayor escala en el ámbito costero, aunque se perdía en la capacidad de monitorización diaria.

Con la entrada en el siglo XXI y el desarrollo de los sensores de muy alta resolución embarcados en los nuevos satélites como el WorldView-2 o RapidEye (entre 2 y 5 m

SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUÁTICOS COSTEROS Y CONTINENTALES MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN

***Carmelo Alonso-Jiménez, Victoriano Moreno, Daniel Carrasco y Marino Palacios
Unidad de Observación de la Tierra, Indra Sistemas.
Calle Mar Egeo, 4, 28830 San Fernando de Henares***

Teledetección y Sensores Medioambientales

de tamaño de píxel), se abren nuevas posibilidades para su aplicación tanto en entornos costeros como de aguas continentales, potenciados con la capacidad de monitorización diaria de los procesos dinámicos asociados con dichos entornos acuáticos.

El objetivo de este artículo es mostrar el trabajo realizado en la Unidad de Observación de la Tierra de Indra para analizar las posibilidades del satélite Worldview-2 en su aplicación a los estudios relacionados con aguas costeras y continentales. La alta resolución espacial de los datos multispectrales (2 metros) de este satélite y su alta resolución espectral (8 bandas), hacen pensar que este satélite puede tener grandes posibilidades en este tipo de estudios.

CARACTERÍSTICAS DEL SATÉLITE WORLDVIEW-2

El satélite Worldview-2 fue puesto en órbita el 8 de octubre de 2009 a unos 770 km de altitud. Este satélite se encuadra entre los de Muy Alta Resolución ya que las imágenes que adquiere de la superficie terrestre poseen una resolución de 0.5 m en su modo pancromático y de 2 m en modo multispectral.

Su característica más distintiva que lo diferencia del resto de satélites de Muy Alta Resolución actualmente operativos es su resolución espectral. Posee 8 bandas espectrales centradas respectivamente en: 427 nm (Coastal), 478 nm (Blue), 546 nm (Green), 608 nm (Yellow), 659 nm (Red), 724 nm (Red Edge), 831 nm (NIR-1) y 908 nm (NIR-2).

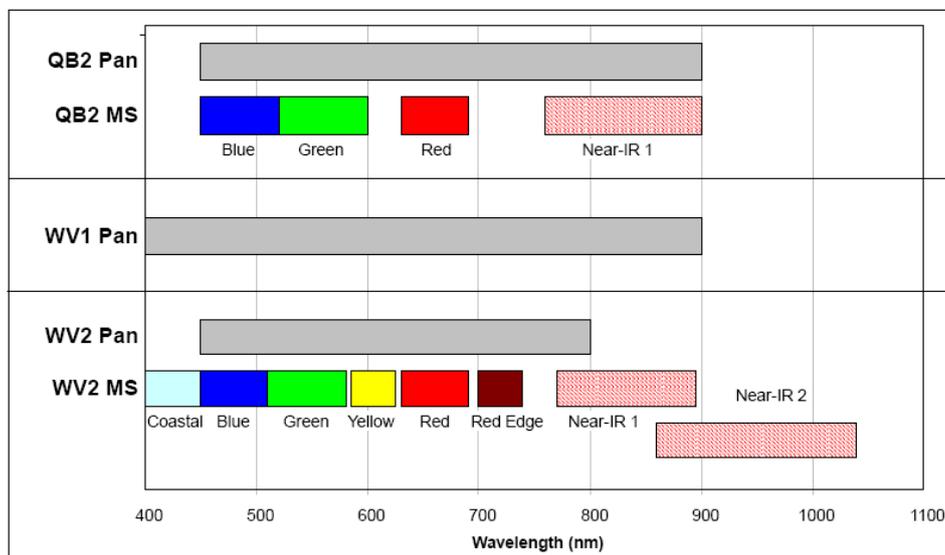


Figura 1. Comparación entre las bandas de Quickbird-2, Worldview-1 y 2. (Fuente: Digital Globe)

SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUÁTICOS COSTEROS Y CONTINENTALES MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN

Carmelo Alonso-Jiménez, Victoriano Moreno, Daniel Carrasco y Marino Palacios
Unidad de Observación de la Tierra, Indra Sistemas.
Calle Mar Egeo, 4, 28830 San Fernando de Henares

Teledetección y Sensores Medioambientales

De las bandas anteriores, cuatro de ellas le hacen diferente al resto de satélites: las denominadas Coastal, Yellow, Red Edge y NIR-2. Son estas bandas las que pueden abrir nuevas aplicaciones para este tipo de imágenes.

Por ejemplo, algunos estudios utilizan la banda Yellow como base de algoritmos que buscan obtener la batimetría en zonas litorales, con profundidades entre 0 y 20 m, a partir de las imágenes de satélite. En otros estudios, más orientados al tema de la calidad del agua, se utilizan la banda Red Edge para extraer la concentración de sólidos en suspensión totales con una buena correlación. Otros algoritmos utilizan además las bandas Red y NIR-1 para obtener mapas de concentración de Clorofila-a.

La Clorofila-a es el pigmento dominante en la captación de luz solar por parte de la vegetación y está presente en las algas verdes y cianofíceas. Su fuerte absorción de la luz con longitud de onda entre 650 y 700 nm es la base para su detección en láminas de agua a partir de los datos adquiridos por sensores pasivos aeroportados o a bordo de satélites.

IMÁGENES UTILIZADAS Y TRATAMIENTOS REALIZADOS

Para este estudio se han utilizado dos imágenes adquiridas por el satélite WorldView-2. Una de las imágenes es de una zona costera en Valencia, tomada el 18 de octubre de 2010 (figura 3 izquierda). La otra imagen es de un embalse interior, concretamente el embalse de Alfonso XIII, en la Comunidad Autónoma de Murcia y tomada el 9 de septiembre de 2010 (figura 3 derecha).



Figura 2. Imágenes Worldview-2 utilizadas: Valencia (izquierda) y Murcia (derecha)

SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUÁTICOS COSTEROS Y CONTINENTALES MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN

*Carmelo Alonso-Jiménez, Victoriano Moreno, Daniel Carrasco y Marino Palacios
Unidad de Observación de la Tierra, Indra Sistemas.
Calle Mar Egeo, 4, 28830 San Fernando de Henares*



Calibración de las imágenes

Para las imágenes WorldView-2, la conversión de los VD_{λ} de los píxeles a radiancia en el sensor (Top-Of-Atmosphere, TOA) se realiza mediante la ecuación:

$$L_{\lambda}^{TOA} = \frac{absCalFactor(\lambda) * VD_{\lambda}}{\Delta\lambda}$$

Donde L_{λ}^{TOA} es la radiancia en el sensor en unidades $W / m^2 sr \mu m$, $absCalFactor(\lambda)$ es el factor de calibración radiométrica absoluta para una banda dada y se encuentran en el fichero de metadatos con extensión IMD de la imagen, VD_{λ} es el Valor Digital de los píxeles de una banda dada de la imagen corregida radiométricamente y $\Delta\lambda$ es el ancho de banda efectivo (*Effective Bandwidths*) para la banda dada. Este último valor se calcula a partir de las curvas de respuesta espectral relativa de cada banda y también se encuentra en el fichero de metadatos.

La conversión de los valores de radiancia recibida por el sensor a valores de reflectividad recibida por el sensor se realiza mediante la expresión siguiente:

$$\rho_{\lambda}^{TOA} = \frac{\pi * L_{\lambda}^{TOA} * d_{T-S}^2}{ESUN_{\lambda} * sen(AES)}$$

Donde L_{λ}^{TOA} es la radiancia en el sensor en unidades $W / m^2 sr \mu m$, d_{T-S} es la distancia Tierra-Sol que depende de la fecha de adquisición de la imagen, $ESUN_{\lambda}$ es la irradiancia solar exoatmosférica para la banda dada y AES es el ángulo de elevación solar que también depende de la fecha y hora de adquisición de la imagen (este dato también se encuentra en los metadatos).

El cálculo de la d_{T-S} se puede hacer utilizando las ecuaciones del U.S. Naval Observatory,

$$d_{T-S} = 1.00014 - 0.01671 * \cos(g) - 0.00014 * \cos(2g)$$

Donde $g = 357.529 + 0.98560028 * (JD - 2451545.0)$, con JD es el día juliano.

Para el cálculo de $ESUN_{\lambda}$ es necesario tener las curvas de respuesta espectral del sensor, $R(\lambda)$, ya que este parámetro es la irradiancia espectral solar exoatmosférica, $E^0(\lambda)$, ponderada con la respuesta espectral del sensor:

SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUÁTICOS COSTEROS Y CONTINENTALES MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN

Carmelo Alonso-Jiménez, Victoriano Moreno, Daniel Carrasco y Marino Palacios
Unidad de Observación de la Tierra, Indra Sistemas.
Calle Mar Egeo, 4, 28830 San Fernando de Henares

$$ESUN_{\lambda} = \frac{\int E^0(\lambda)R(\lambda)d\lambda}{\int R(\lambda)d\lambda}$$

Para numerosos sensores esta cifra se puede encontrar en tablas proporcionadas por el suministrador de los datos, en notas técnicas, o en ciertas publicaciones en las que los autores la han calculado a partir de las curvas de respuesta espectral del sensor.

La siguiente tabla muestra los parámetros utilizados en las expresiones anteriores para transformar los valores de los píxeles en valores de reflectividad recibida en el sensor

Banda	$\langle\lambda\rangle$ [nm]	$\Delta\lambda$ [μm]	absCalFactor(λ) [W/m ² sr]	ESUN(λ)
Coastal Blue	427	0.0473	0.009295654	1758.223
Blue	478	0.0543	0.01260825	1974.242
Green	546	0.063	0.009713071	1856.41
Yellow	608	0.0374	0.005101088	1738.479
Red	659	0.0574	0.01103623	1559.456
Red-Edge	724	0.0393	0.004539619	1342.069
NIR1	831	0.0989	0.0122438	1069.73
NIR2	908	0.0996	0.009042234	861.287

Tabla 1. Parámetros utilizados en el tratamiento de las imágenes.

Mapas de concentración de clorofila

El algoritmo para la elaboración de mapas de concentración de Clorofila-a utiliza las bandas del WorldView-2 denominadas *red*, *red edge* y *nir1*. Más concretamente, la expresión utilizada es la siguiente:

$$[Chl - a] = A + B \left(\left(\frac{1}{\rho_{red-edge}} - \frac{1}{\rho_{red}} \right) \cdot \rho_{NIR1} \right)$$

Donde ρ_{red} es la reflectividad de la banda del rojo, $\rho_{red-edge}$ la reflectividad de la banda borde de rojo y ρ_{NIR1} la de la banda 1 del infrarrojo cercano. Siendo A y B constantes a calibrar con datos de campo.

SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUÁTICOS COSTEROS Y CONTINENTALES MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN

Carmelo Alonso-Jiménez, Victoriano Moreno, Daniel Carrasco y Marino Palacios
Unidad de Observación de la Tierra, Indra Sistemas.
Calle Mar Egeo, 4, 28830 San Fernando de Henares



Mapas de concentración de sólidos en suspensión

El algoritmo para la elaboración de mapas de concentración de sólidos en suspensión (TSS) utiliza la banda del WorldView-2 denominada *red edge*. Más concretamente, la expresión utilizada es la siguiente:

$$TSS = C \cdot (\rho_{red-edge}) + D$$

Donde $\rho_{red-edge}$ es la reflectividad en la banda borde de rojo. Siendo C y D constantes a calibrar con datos de campo.

ESTUDIOS DE AGUAS COSTERAS: VALENCIA

Dentro de la zona que cubre la imagen de Valencia, se encuentra uno de los emisarios submarinos del norte de Valencia, el emisario de Vera. El punto de vertido de este emisario está situado en las coordenadas UTM (huso 30) ED50: X=732976 e Y=4373919.

La imagen WorldView-2 multiespectral, de 2 m de resolución y adquirida el 18/10/2010, se ha comparado con una imagen Ikonos multiespectral, de 4 m de resolución y adquirida el 19/02/2000, que se utilizó entonces para el estudio de los vertidos de dicho emisario.

**SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUÁTICOS COSTEROS Y CONTINENTALES
MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN**

***Carmelo Alonso-Jiménez, Victoriano Moreno, Daniel Carrasco y Marino Palacios
Unidad de Observación de la Tierra, Indra Sistemas.
Calle Mar Egeo, 4, 28830 San Fernando de Henares***

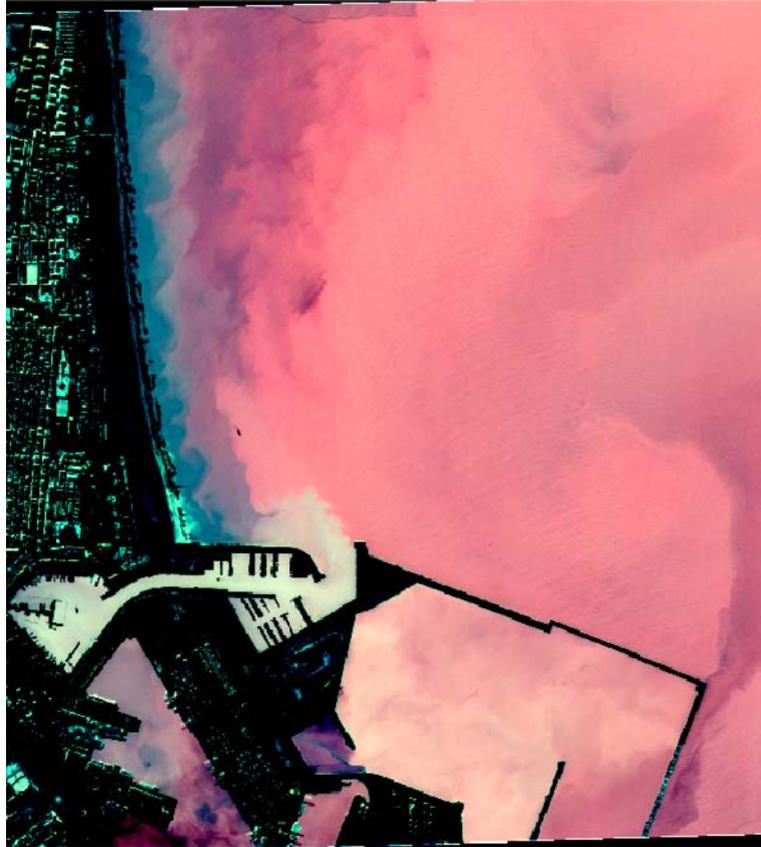


Figura 3. Resultado del realce de histograma aplicado a la imagen WorldView-2 de Valencia.

El primer tratamiento que puede realizarse es un simple realce de histograma, que permita eliminar la mayor parte de la información de la zona terrestre de la imagen y “estirar” linealmente la información de la zona de agua de la imagen en los 8 bits (256 niveles) de visualización. Este realce se muestra en la figura 3 en la que se ha representado la imagen en falso color, con la combinación de bandas: *yellow*, *blue* y *coastal* en RGB. Con este realce se pretende “enmascarar” los valores más altos de los píxeles, expandiendo los valores más bajos, que corresponden a la distribución de los valores en el mar, entre 0 y 255.

En la siguiente imagen se muestra la comparación con la imagen Ikonos adquirida en el año 2000. A diferencia de las WorldView, las imágenes Ikonos multiespectrales solo disponen de 4 bandas (tres visibles y un infrarrojo cercano).

SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUÁTICOS COSTEROS Y CONTINENTALES MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN

***Carmelo Alonso-Jiménez, Victoriano Moreno, Daniel Carrasco y Marino Palacios
Unidad de Observación de la Tierra, Indra Sistemas.
Calle Mar Egeo, 4, 28830 San Fernando de Henares***

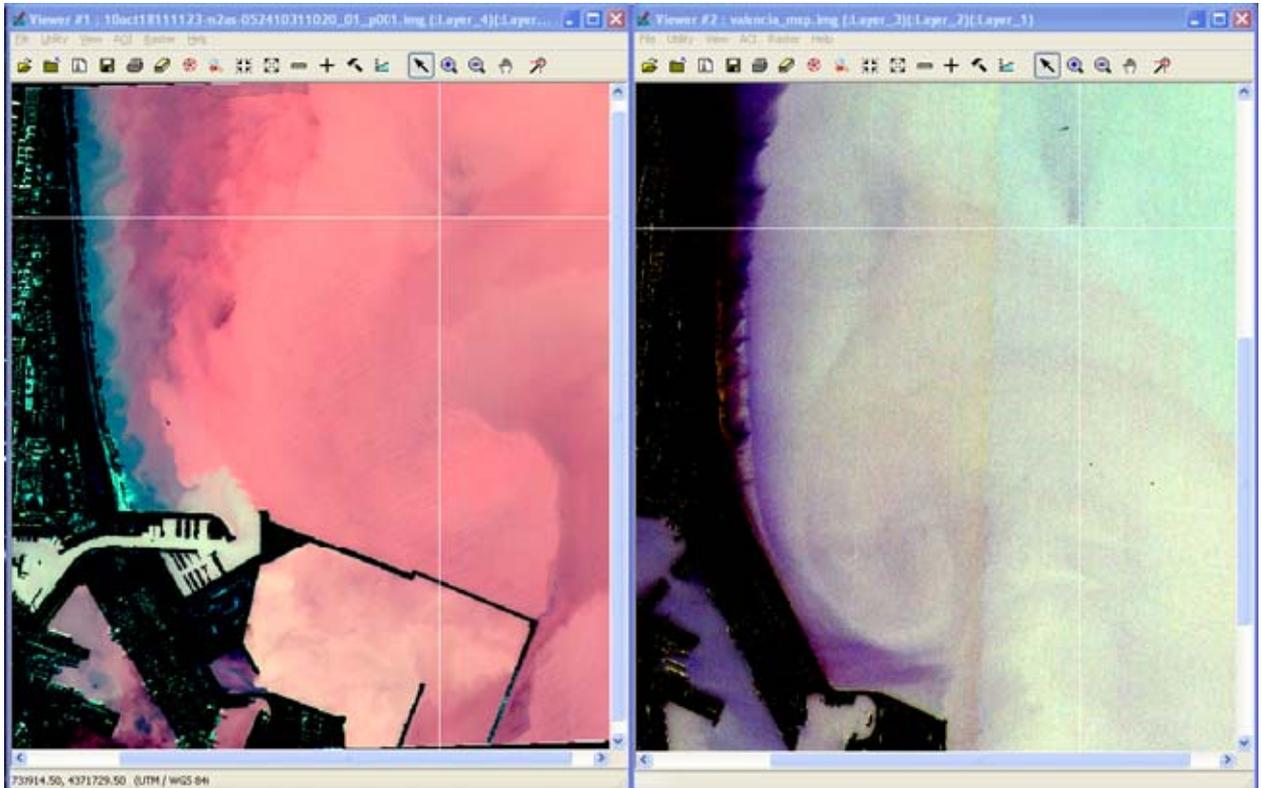


Figura 4. Comparación de la imagen WorldView-2 (izquierda) con la imagen Ikonos (derecha) de la zona del puerto de Valencia. Entre ambas imágenes hay 10 años de diferencia.

En esta figura se ha representado la ubicación del punto de vertido del emisario de Vera con la cruz en color blanco. Como la imagen Ikonos no tiene banda *red-edge*, no es posible aplicar algoritmos de los descritos más arriba para el análisis del contenido de clorofila y de sólidos en suspensión en el agua. Por ello la comparación solo se puede realizar en base a realces radiométricos similares aplicados a ambas imágenes, como se muestra en la figura 4.

Este tipo de análisis sobre las imágenes permite también apreciar en detalle las estructuras que se generan en el interior del puerto como consecuencia de la interacción entre las corrientes de agua y los vertidos realizados en dichas aguas. Un detalle del puerto se muestra en la siguiente figura 5.

SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUÁTICOS COSTEROS Y CONTINENTALES MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN

***Carmelo Alonso-Jiménez, Victoriano Moreno, Daniel Carrasco y Marino Palacios
Unidad de Observación de la Tierra, Indra Sistemas.
Calle Mar Egeo, 4, 28830 San Fernando de Henares***

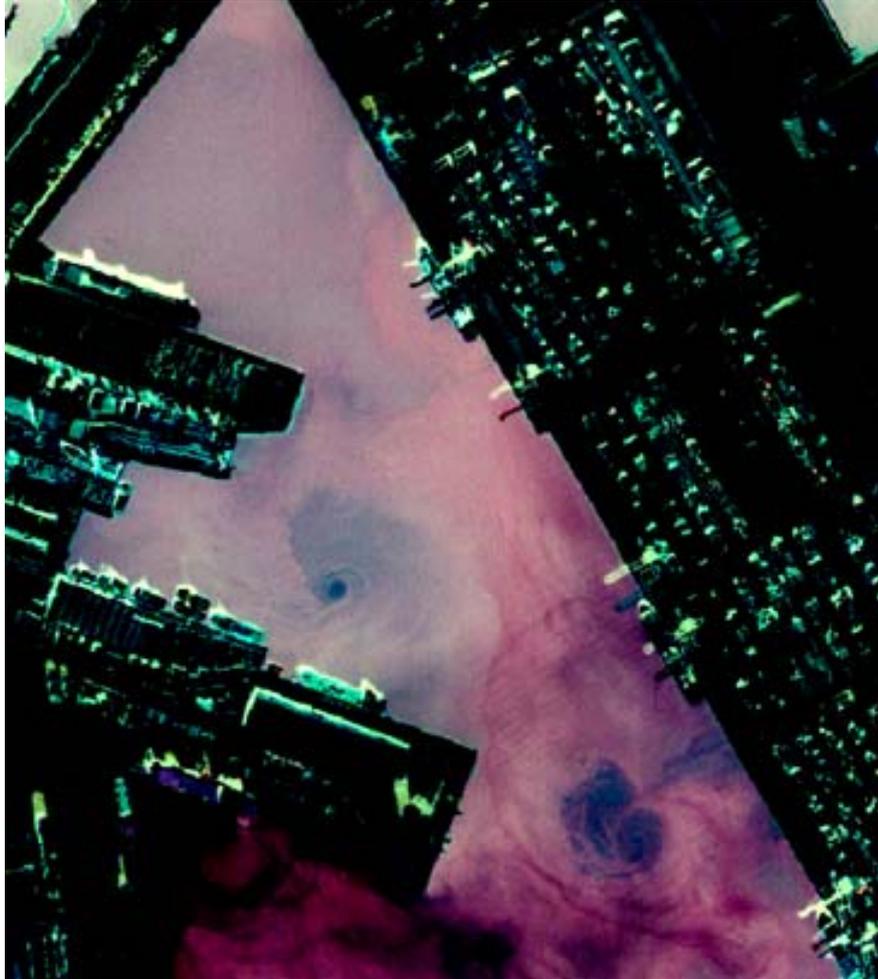


Figura 5. Detalle del puerto en la imagen WorldView-2 realizada.

Hasta ahora el tipo de análisis radiométricos que hemos visto solo permiten obtener información cualitativa de las imágenes. Pero la gran utilidad de las imágenes WorldView-2 multiespectrales es el poder aplicar el tipo de algoritmos descritos más arriba para obtener mapas de clorofila o de sólidos en suspensión que permitan extraer información cuantitativa acerca de dichos parámetros.

A continuación se muestran los resultados de aplicar esos algoritmos en la imagen WorldView-2 de Valencia para generar mapas de concentración de clorofila y de sólidos en suspensión. Se ha realizado una máscara sobre la zona de tierra de manera que los algoritmos se apliquen exclusivamente a los píxeles de mar.

Es necesario decir que al carecer de datos de campo, no se han calibrado los algoritmos para representar mapas cuantitativos de concentración de clorofila y de sólidos en suspensión, por lo que los resultados aquí mostrados deben entenderse en

SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUÁTICOS COSTEROS Y CONTINENTALES MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN

***Carmelo Alonso-Jiménez, Victoriano Moreno, Daniel Carrasco y Marino Palacios
Unidad de Observación de la Tierra, Indra Sistemas.
Calle Mar Egeo, 4, 28830 San Fernando de Henares***

Teledetección y Sensores Medioambientales

sentido cualitativos de menor a mayor concentración. La leyenda de los mapas, por tanto, va desde el azul para los valores más bajos de concentración hasta el rojo para los más altos, dando los colores verde y amarillo valores intermedios.

Sobre las imágenes se ha representado con una línea roja el emisario submarino de Vera, siendo el extremo final el punto de vertido con las coordenadas X = 732871, Y = 4373714, en UTM (huso 30), WGS84, como ya se ha dicho.

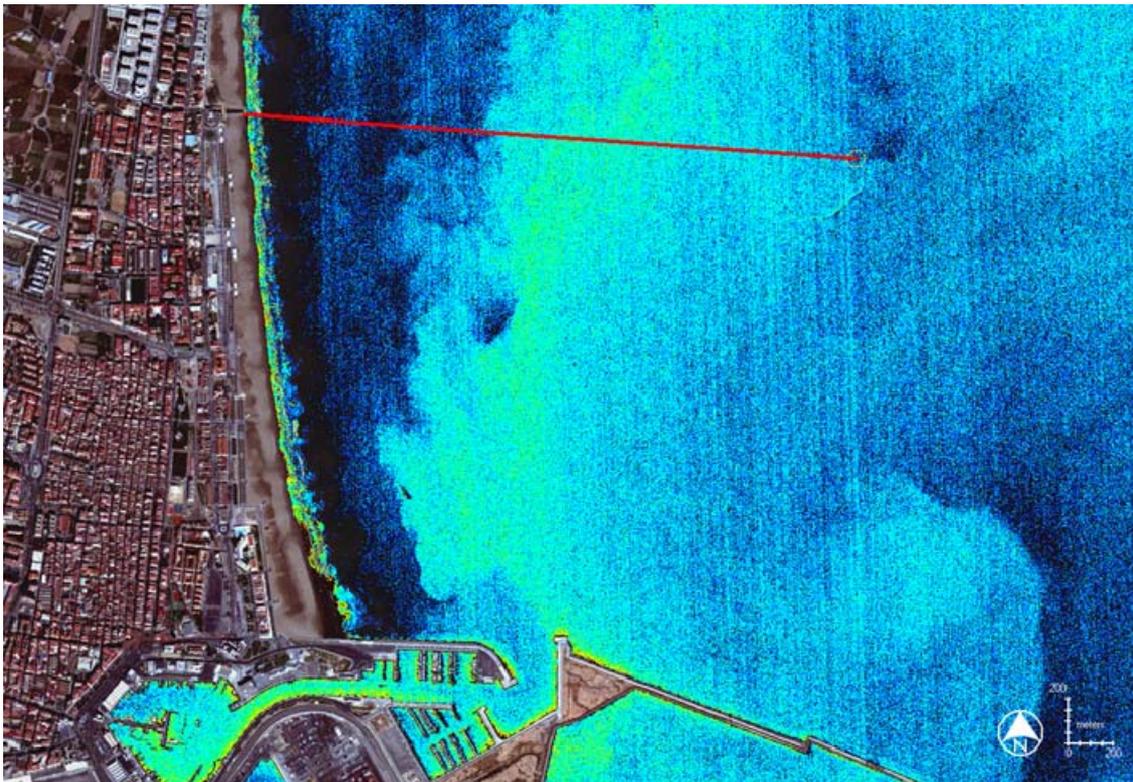


Figura 6. Mapa de concentración de clorofila obtenido con la imagen WorldView-2 en la zona de la playa.

SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUÁTICOS COSTEROS Y CONTINENTALES MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN

*Carmelo Alonso-Jiménez, Victoriano Moreno, Daniel Carrasco y Marino Palacios
Unidad de Observación de la Tierra, Indra Sistemas.
Calle Mar Egeo, 4, 28830 San Fernando de Henares*



Figura 7. Mapa de concentración de clorofila obtenido con la imagen WorldView-2 en la zona del puerto.

**SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUÁTICOS COSTEROS Y CONTINENTALES
MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN**

***Carmelo Alonso-Jiménez, Victoriano Moreno, Daniel Carrasco y Marino Palacios
Unidad de Observación de la Tierra, Indra Sistemas.
Calle Mar Egeo, 4, 28830 San Fernando de Henares***

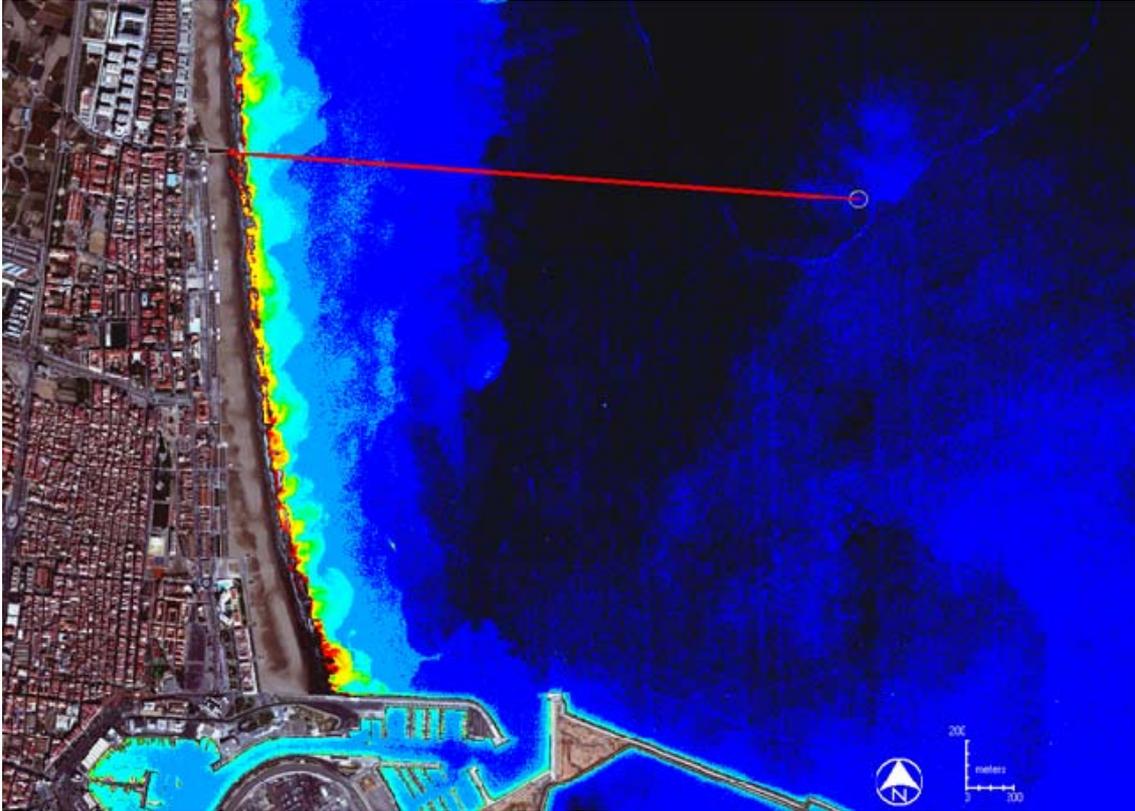


Figura 8. Mapa de concentración de sólidos en suspensión (TSS) obtenido con la imagen WorldView-2 en la zona de la playa.

**SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUÁTICOS COSTEROS Y CONTINENTALES
MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN**

***Carmelo Alonso-Jiménez, Victoriano Moreno, Daniel Carrasco y Marino Palacios
Unidad de Observación de la Tierra, Indra Sistemas.
Calle Mar Egeo, 4, 28830 San Fernando de Henares***



Figura 9. Mapa de concentración de sólidos en suspensión (TSS) obtenido con la imagen WorldView-2 en la zona del puerto.

ESTUDIO DE AGUAS CONTINENTALES: EMBALSE

Finalmente, la alta resolución de las imágenes multiespectrales del satélite WorldView-2 (2 m de tamaño de píxel) lo hacen idóneo para el estudio de la calidad del agua en láminas de agua interiores como embalses, lagos o lagunas.

En este caso se han aplicado los mismos algoritmos descritos anteriormente en la imagen WorldView-2 del embalse Alfonso XIII (Murcia) tomada el 9 de septiembre de 2010. Las coordenadas UTM (huso 30), elipsoide/Batum WGS84, del centro de la presa son: X = 622580, Y = 4231508.

Al igual que en los casos anteriores el análisis solo puede ser cualitativo al no existir datos de campo que nos permita calibrar el algoritmo para este caso. La leyenda de los colores va desde el azul para los valores más bajos de concentración hasta el rojo para los más altos, dando los colores verde y amarillo valores intermedios. La siguiente figura muestra la concentración de sólidos en suspensión en el embalse.

SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUÁTICOS COSTEROS Y CONTINENTALES MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN

***Carmelo Alonso-Jiménez, Victoriano Moreno, Daniel Carrasco y Marino Palacios
Unidad de Observación de la Tierra, Indra Sistemas.
Calle Mar Egeo, 4, 28830 San Fernando de Henares***

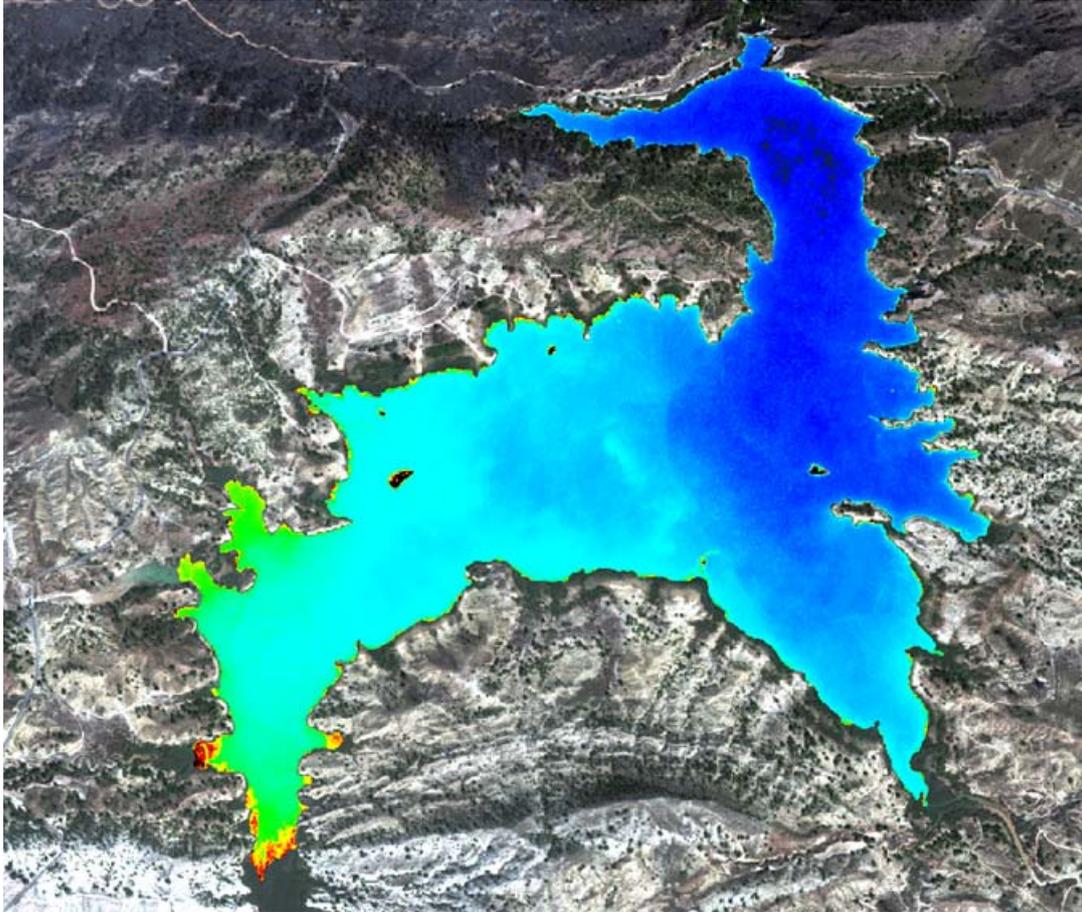


Figura 10. Mapa de concentración de sólidos en suspensión (TSS) obtenido con la imagen WorldView-2 del embalse Alfonso XIII (Murcia).

CONCLUSIONES

En este trabajo hemos mostrado la importancia de la banda entre 700 y 750 nm, denominada “borde de rojo” (*red-edge*) para utilizar imágenes de sensores satelitales de muy alta resolución para aplicaciones en entornos acuáticos. Esta banda es fundamental para elaborar mapas de concentración de clorofila y de sólidos en suspensión tanto en entornos acuáticos litorales como continentales.

De los satélites de muy alta resolución actualmente operativos, solo el WorldView-2 (2 m de resolución) y RapidEye (5 m de resolución) registran información en esta banda espectral.

En este tipo de estudios es básica la realización de campañas de campo simultáneas con la adquisición de las imágenes, de manera que se pueda realizar la calibración de

SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUÁTICOS COSTEROS Y CONTINENTALES MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN

***Carmelo Alonso-Jiménez, Victoriano Moreno, Daniel Carrasco y Marino Palacios
Unidad de Observación de la Tierra, Indra Sistemas.
Calle Mar Egeo, 4, 28830 San Fernando de Henares***



Teledetección y Sensores Medioambientales

los modelos que permiten transformar las imágenes en mapas de concentración de clorofila y de sólidos.

Sin embargo, al haber utilizado en este trabajo algoritmos desarrollados para su aplicación en otras partes del mundo, se ha mostrado también la generalización de los mismos para áreas españolas, con la salvedad de la calibración que, como se ha comentado, es necesaria para obtener resultados cuantitativos más óptimos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Malthus et al., Potential of enhanced spectral and spatial features of WorldView-2 for monitoring algal blooms in inland Waters. 2nd National Cyanobacterial Workshop. Agosto 2010. Melbourne, Australia.
2. NASA Technical memorandum, SeaWiFS Technical Report Series. Vol. 1, An overview of SeaWiFS and Ocean Color. 1992.
3. Richardson & LeDrew Eds. Remote Sensing of Aquatic Coastal Ecosystem Processes: Science and Management Applications. Springer. 2006.

SEGUIMIENTO DE ENTORNOS ACUÁTICOS COSTEROS Y CONTINENTALES MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN

***Carmelo Alonso-Jiménez, Victoriano Moreno, Daniel Carrasco y Marino Palacios
Unidad de Observación de la Tierra, Indra Sistemas.
Calle Mar Egeo, 4, 28830 San Fernando de Henares***



GREEN TIC; IMPACTOS DE LAS TIC EN LA SOSTENIBILIDAD

F. Davara Rodríguez (Relator)*

(*) f.davara@spatialdav.com; **Fundación FUNCOAS. Madrid**

INTRODUCCIÓN

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo celebrada en Rio de Janeiro en 1992, conocida como Cumbre de la Tierra, se suscribió, entre otros tratados, la denominada Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) con objeto fundamentalmente de abordar el problema del calentamiento global del planeta a consecuencia de la actividad humana.

La Convención se fijaba como un objetivo práctico el reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a un nivel que impida interferencias peligrosas en el sistema climático, el cual debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

Ya desde esa época aparecen los primeros indicios del concepto actual de sostenibilidad por el que se trata de conjugar y buscar el equilibrio entre tres factores principales: medioambiental, social y económico

La puesta en práctica de la CMNUCC tuvo su primera caracterización por medio del Protocolo de Kioto sobre el cambio climático, que vio la luz en 1997 en la Cumbre celebrada en la localidad japonesa de este nombre, por el que las naciones firmantes asumían el compromiso de reducir la emisión de gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global, en un porcentaje



aproximado de al menos un 5% en comparación a las emisiones al año 1990, dentro del período comprendido entre el año 2008 y el 2012.

Este porcentaje se lograría globalmente por medio del establecimiento de unos porcentajes parciales correspondientes a cada país firmante del Protocolo. Para alcanzar tales niveles, cada uno de los países ha ido adecuando sus estrategias en este sentido; así, por ejemplo, la Unión Europea ha asumido como objetivo común la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la evolución hacia un modelo económico más sostenible. Estos objetivos se concretan fijando unas metas cuantitativas para el año 2020, medidas en relación a los valores del año 1990. Tales metas son las siguientes:

- Reducción de al menos el 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Aportación de energías renovables de al menos el 20% del consumo energético total de la Unión Europea.
- Reducción del consumo energético del 20%.

TIC y SOSTENIBILIDAD

El compromiso de reducción de emisiones, y también el más amplio por el que se trata de asegurar la sostenibilidad mediante la búsqueda del equilibrio de los tres factores mencionados, afecta a todos los sectores y por ello también a las denominadas Tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), uno de los motores de la sociedad actual, que pueden jugar un papel esencial para lograr la necesaria sostenibilidad por su característica de ser parte del problema así como de la solución.

El sector TIC, por la elevada difusión y utilización de sus tecnologías, aplicaciones y servicios, supone una fuente de emisiones de gases de efecto invernadero y un consumo de energía que es preciso reducir para que ayude a



contribuir a alcanzar los objetivos de 2020 de forma proporcional a su peso en la economía global.

Pero, si bien el sector es contaminante, también es preciso considerar que la utilización de los productos, aplicaciones y servicios TIC puede contribuir muy positivamente a la reducción del impacto medioambiental que causan el resto de sectores, ayudando a mejorar su eficiencia para obtener un mejor y más eficiente empleo de los recursos y, en consecuencia, para una reducción de las necesidades energéticas y de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En este documento se presenta un breve análisis del papel de las TIC con respecto a esta doble vertiente: por un lado las TIC como parte del problema, con la consiguiente necesidad de reducir su huella directa, y por el otro las TIC como parte de la solución, ayudando a reducir la huella del resto, tanto por el mencionada apoyo a la mejora de la eficiencia energética de los otros sectores como por su capacidad de transformar la sociedad en beneficio del objetivo de la sostenibilidad.

El análisis se basa en el concepto de las Green TIC o TIC verdes, consideradas como el conjunto de soluciones TIC optimizadas desde el punto de vista del consumo energético, responsables con el medio ambiente, de aplicación en distintos ámbitos sociales y la mayor parte de los sectores productivos (incluido el sector TIC) que permiten reducir notablemente los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero y el impacto contaminante de la actividad humana en el medio ambiente.

Asimismo se hace eco de lo expuesto en el informe " Situación y retos de las Green TIC en España" emitido por el Foro TIC para la sostenibilidad, organizado por AMETIC, FUNCOAS y la Plataforma Green TIC, en cuya elaboración participaron más de 20 expertos de diferentes sectores profesionales (Administración, Asociaciones y Fundaciones, Universidad, Empresas, etc.)



Analizando el impacto global de las TIC pueden diferenciarse tres grandes grupos o categorías, denominadas en el mencionado informe como directos, habilitadores y sistémicos.

En un primer lugar destaca el impacto causado por estas tecnologías como parte del problema, el denominado como directo, que comprende los efectos causados por la actividad del propio sector, tanto el productivo como el de los usuarios.

Tal impacto, equivalente al de la industria de aviación, presenta una contribución a la huella de carbono estimada actualmente en un 2% de las emisiones totales, el 75% provocado por uso de las TIC y el 25% por procesos de producción y fabricación de la industria TIC.

Una conclusión importante de los resultados del análisis de este impacto es que la gran difusión en el uso de las tecnologías de la información y comunicaciones ha traído como consecuencia negativa una contribución a las emisiones equivalente a 3 veces la de su fabricación. En consecuencia, para poder mitigar los efectos de este impacto gran parte de las soluciones deberían adoptarlas los usuarios así como los proveedores de aplicaciones y servicios.

Entre las medidas a adoptar se incluyen algunas como la transmisión, conservación y destrucción de información en formato electrónico, promoción del uso de servicios basados en la Nube (Cloud Computing), etc., así como las que competen a usuarios, proveedores y fabricantes, sin olvidar a la Administración, como por ejemplo el diseño ecológico de materiales y equipos (consumo en espera y apagado, fuentes de alimentación unificadas para telefonía móvil,...), la optimización de la logística y el transporte de productos TIC, similar a la de otros sectores o la eliminación de materiales de difícil reciclado, sin olvidar que una medida principal y fundamental, que afecta a todos los sectores, como es la concienciación.



El segundo de los impactos identificados es el denominado habilitador, derivado de la aplicación de las TIC en el resto de sectores económicos y productivos, el cual en este caso tiene un efecto positivo dado que su amplia utilización puede ayudar a reducir la huella de los otros sectores, que no debe olvidarse, supone el 98% restante.

Entre las medidas a adoptar para que las TIC contribuyan a la disminución de la huella de carbono de otros sectores particularmente en aquellos más contaminantes, como por ejemplo como el energético (37% del total de emisiones), transporte y logística (23%), industria y construcción (22%), ciudades, edificios (11%), etc., destacan el aumento de la eficiencia en los procesos manufactureros, la eficiencia en la logística, empleo de smart grids para la distribución de energía, incluyendo la construcción de edificios energéticamente eficientes, menor uso del papel o la utilización de sistemas de tele presencia y videoconferencia que reduzcan los desplazamientos.

Finalmente se resalta un tercer impacto, el sistémico, derivado de la capacidad de las TIC para ofrecer, además de los efectos directos o habilitadores, un importante potencial para ayudar a modificar hábitos de consumo energético y, principalmente, promover cambios de comportamiento en la sociedad, mejorando usos y costumbres que afectan a nuestra forma de vivir.

Tales efectos son los más difíciles de estimar y también de predecir. En la actualidad las tendencias y estrategias apuntan hacia la adopción de soluciones del tipo de desmaterialización, virtualización y modelos Cloud computing y, de forma más genérica, hacia la reestructuración de los modelos de producción y modificación de los patrones de consumo.



CONCLUSIONES

Las TIC juegan un papel esencial para alcanzar un mundo sostenible, al ser uno de los principales motores de la innovación y de la competitividad de la economía. Constituyen la base tecnológica en la que sustentan la gestión eficiente de los recursos disponibles y la lucha contra el cambio climático, y en la que promover un cambio generalizado de los hábitos de la sociedad.

Por su amplitud, riqueza y capacidades, pueden y deben ser puestas al servicio de la sostenibilidad, siendo parte del problema y también de la solución, incluso de los problemas de las otras tecnologías y sectores.

En conclusión, las tecnologías de la información y las comunicaciones son unas herramientas eficaces para el desarrollo de las sociedades, pero siempre que se consideren tanto un medio como un fin para el desarrollo y por ello, no sólo hay que disponer de las tecnologías, hay que saber utilizarlas en beneficio de la sociedad moderna y el futuro de nuestro planeta.

Madrid, Noviembre de 2012



ALIMENTACIÓN DE REDES DE SENSORES MEDIANTE RECOLECCIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA AMBIENTAL

**Jesús Alpuente Hermosilla, Juan Antonio Martínez Rojas, Rocío Sánchez
Montero, Pablo Luis López Espi, Cristina Alén Cordero,
Emiliano Pereira González y Saturnino Maldonado Bascón**

**Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones
Universidad de Alcalá**

INTRODUCCIÓN.

Se define como **Energy Harvesting** (*Recolección de Energía*) al proceso por el cual la energía existente en el entorno de un sistema es captada desde el entorno del mismo y convertida en energía eléctrica utilizable, permitiéndose de esta manera que pequeños dispositivos electrónicos puedan operar en lugares en los que no existan fuentes de alimentación convencionales, sin necesidad de instalar cables o realizar frecuentes visitas para reemplazar las baterías de los mismos.

El aprovechamiento de energía a partir de fuentes de energía ambientales se remonta a tiempos muy remotos. El uso de molinos de agua y de viento ha sido constante a lo largo de la historia y su uso sigue hoy extendido en forma de generadores eólicos e hidráulicos.

Hasta hace relativamente poco, la recolección de energía (energy harvesting) de fuentes de baja intensidad no ha sido considerada seriamente debido a los bajos rendimientos de los dispositivos transductores y al alto consumo de los componentes electrónicos. Sin embargo, hoy en día, debido al interés mostrado por los sectores comercial y militar, se ha planteado la utilización de estos sistemas para la alimentación o recarga de teléfonos móviles, ordenadores portátiles, PDAs o equipos de radiocomunicaciones, cuyos bajos consumos en sus ciclos de trabajo –potencias por debajo de 1 mW, en algunos casos- posibilitan que la extracción de energía del ambiente sea suficiente para su alimentación.

Estos dispositivos de recolección de energía capturan la procedente de diversas fuentes externas –energía solar, energía térmica, energía eólica, gradientes de salinidad, energía cinética,...- es almacenándola con el fin de

proporcionar una pequeña energía que sea suficiente para asegurar el funcionamiento de pequeños dispositivos electrónicos inalámbricos autónomos y en redes de sensores inalámbricos.

Las diferentes partes de que un sistema de recolección de energía son una fuente de energía, un generador de energía eléctrica y un sistema de acumulación.

Existen varias fuentes de energía ambiental con potencial para extraer energía útil suficiente en estos sistemas electrónicos de muy bajo consumo. Entre las principales fuentes se encuentran las que se indican a continuación [Yil09]:

- Energía mecánica y térmica (variaciones de calor) generada por el movimiento de seres humanos o animales.
- Energía natural de origen solar, eólico, ondas oceánicas o flujos de agua.
- Energía mecánica obtenida de la vibración de máquinas, estrés mecánico, tensión de motores de alta presión o funcionamiento de máquinas, en general.
- Energía térmica debida a las variaciones de calor en hornos, calentadores y fuentes de fricción.
- Energía luminosa procedente del Sol o de cualquier sistema de iluminación interior o exterior.
- Energía electromagnética proporcionada por inductores, bobinas y transformadores o asociada a radiaciones ionizantes.
- Energía de radiofrecuencia presente en el ambiente como consecuencia del funcionamiento de los sistemas de radiocomunicación –radio, TV, sistemas inalámbricos,...-.
- Energía procedente de las reacciones químicas o electroquímicas propias del metabolismo de los seres vivos.
- Energía debida al ruido acústico presente en el entorno.

En general, excepto en el caso de grandes instalaciones de energía solar, la cantidad de energía extraída del ambiente es tan sólo adecuada para sistemas de alimentación de bajo consumo, menores de 1 W, por definición. Esto significa que ha de existir un desarrollo paralelo entre los sistemas de recolección de energía y la mejora del rendimiento de los sistemas electrónicos que alimentan. Sin un desarrollo coordinado de ambas tecnologías los resultados son muy pobres.

De forma resumida, en la tabla 1 se muestra la eficiencia física, así como la densidad de potencia final disponible para alguna de las fuentes enumeradas anteriormente [CAT09].

Fuente de energía	Origen	Eficiencia física	Densidad de potencia disponible estimada
Vibración o movimiento	Humano	Depende de la fuente	4 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
	Industrial		100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Variación de temperatura	Humano	0.1 %	25 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
	Industrial	3 %	1-10 mW/cm^2
Luz ambiente	Interior	10-24 %	10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
	Exterior		10 mW/cm^2
Radiofrecuencia	GSM 900/1800	50 %	0.1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

Tabla 1. Densidad de potencia y eficiencia de diferentes fuentes.

En función del tipo de fuente de energía, los principios físicos de generación de energía eléctrica a utilizar son diferentes, dando lugar, en cada caso, a los generadores que se indican en la figura 1 [Cha08][Bee06][Ber08][Fio08].

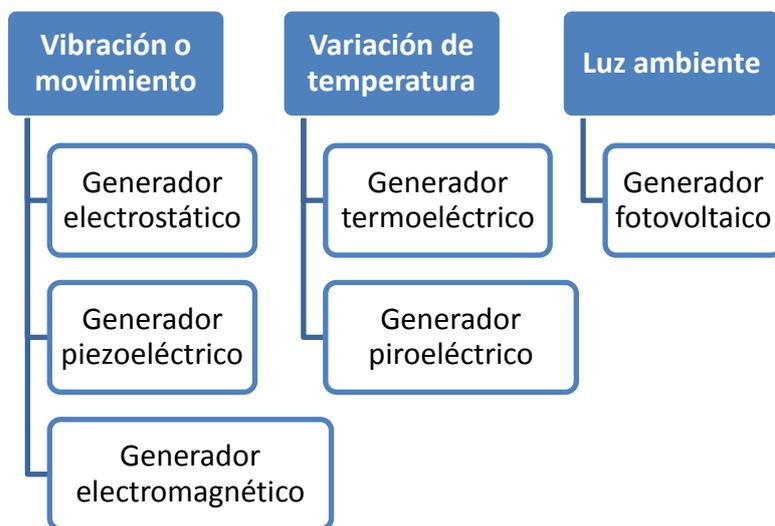


Figura 1. Generadores de energía eléctrica a partir de energía ambiental.

Un recolector de energía necesita, además, de un sistema que permita la acumulación eficiente y duradera de la energía eléctrica producida, para que pueda emplearse de forma más o menos continua por otros sistemas a los que alimenta. Los acumuladores más utilizados son los siguientes: condensadores, condensadores electrolíticos, supercondensadores, ultracondensadores o

condensadores electroquímicos de doble capa, baterías primarias o secundarias y pilas de combustible. Entre los distintos tipos de acumuladores se pueden establecer diferentes comparativas [Sem03][Nat04], mostrándose en la figura 2 la que relaciona la densidad de potencia disponible a la salida con la energía almacenada.

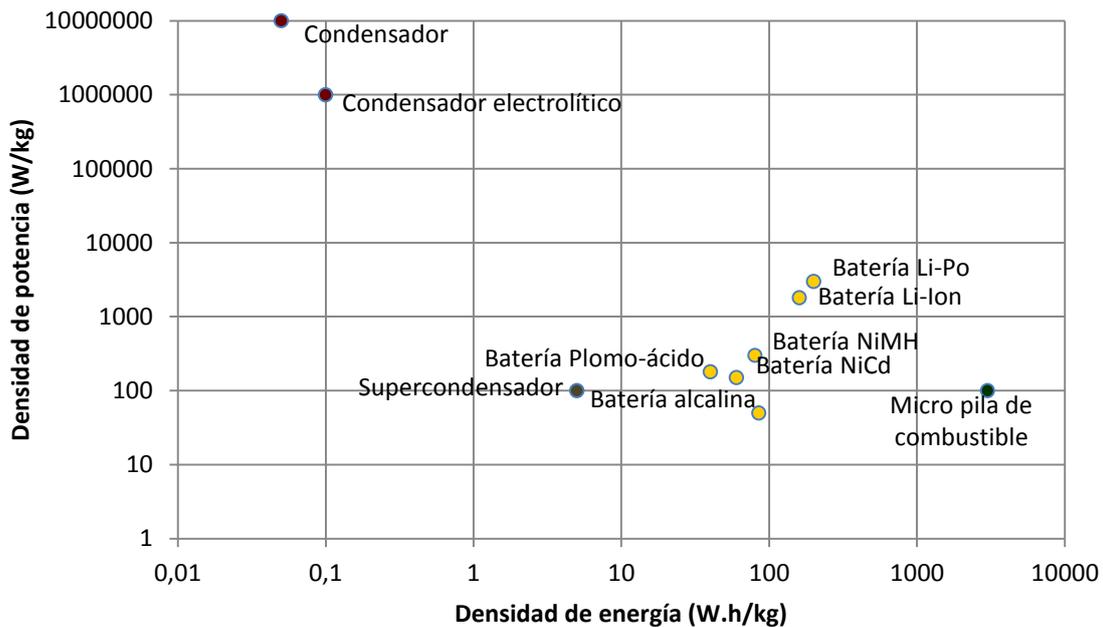


Figura 2. Comparativa de diferentes tipos de acumuladores.

En cuanto a la eficiencia, entendida como el porcentaje de energía acumulada que se entrega a la salida, las baterías alcalinas, junto con las de Li-Ion y Li-Po muestran eficiencias del 99.9%, siendo los acumuladores de peor eficiencia las pilas de combustible.

En los últimos años se ha producido un creciente interés por la recolección de energía, dando lugar en la última década a numerosas investigaciones, en las que tienen un papel importante diferentes organismos que han apostado por la investigación en este campo, así como al aumento de productos comerciales. En la actualidad, numerosas empresas y organismos dedican sus esfuerzos a la investigación en tecnologías de recolección de energía o en el desarrollo de productos relacionados con la misma, así como su integración en sensores, habiéndose dedicado el mayor esfuerzo al desarrollo de sistemas basados en generadores piezoeléctricos que actúan ante vibraciones [Kom08].

En cualquier caso, considerando los diferentes generadores de energía eléctrica a partir de las vibraciones ambientales, sea cual sea la tecnología utilizada en la recolección de la energía asociada a las mismas – electromagnética, piezoeléctrica o electrostática-, se desprende que la obtención de potencias máximas de más de 1 mW requiere de estructuras suficientemente complejas, no llegándose en ninguno de los estudios analizados a conseguir potencias de salida por encima de los 2 mW, con independencia de la frecuencia, el origen o la aceleración de la vibración.

GENERADORES CINÉTICOS.

Los generadores cinéticos, en general, pueden ser de dos tipos: generadores de fuerza directa y los generadores inerciales [Mit05].

Los generadores de fuerza directa basan su funcionamiento en la aplicación de una fuerza que actúa sobre una masa suspendida mediante un resorte y un amortiguador que da lugar a una fuerza que se opone al movimiento. Si el amortiguador se implementa utilizando un mecanismo de transducción adecuado, la energía asociada a la fuerza que se opone al movimiento puede convertirse de mecánica en eléctrica. Este tipo de generadores se puede utilizar cuando hay dos puntos con un movimiento relativo entre ellos que puede aplicarse como una fuerza en el amortiguador.

Los generadores inerciales son sistemas basados en el movimiento relativo de una masa inercial o masa sísmica con respecto al armazón del generador, al experimentar éste una aceleración. La energía se convierte cuando el trabajo se hace en contra de la fuerza de amortiguamiento opuesta al movimiento relativo entre la masa inercial y el armazón. Este tipo de generadores, utilizables cuando solo se dispone de un punto de acoplamiento, permiten diseños más flexibles que los de fuerza directa, siendo los más comunes en aplicaciones industriales.

Para convertir el movimiento en energía eléctrica se pueden usar diferentes métodos –electromagnético, piezoeléctrico o electrostático- o una combinación de los mismos. En los generadores electromagnéticos es necesario utilizar imanes de tierras raras (neodimio o samario), capaces de generar densidades de flujo magnético muy elevadas. La pequeña escala de estos generadores da lugar a diferentes problemas de fabricación, entre los que se encuentran la precisión necesaria en el alineamiento de las bobinas de inducción con los

imanes y la complicación extrema de realizar este tipo de generadores con geometría planar, lo que limita mucho su uso en circuitos integrados.

En el caso de los generadores piezoeléctricos, que son los más estudiados en la actualidad dado que pueden producir una gran densidad de energía eléctrica, su fabricación es más sencilla que en el caso de los generadores electromagnéticos, si bien existen inconvenientes tales como la fragilidad de los piezoeléctricos cerámicos (PZT) utilizados normalmente, la escalabilidad de los sistemas y la elevada impedancia del generador que exige el diseño de circuitos electrónicos especiales para conseguir el aprovechamiento de la energía generada.

Por último, los generadores electrostáticos, si bien no generan tanta densidad de energía eléctrica como los piezoeléctricos, son más fáciles de fabricar y escalar a diferentes tamaños y son más robustos. En general se trata de dispositivos no lineales, al contrario que los dos tipos anteriores que suelen ser lineales en primera aproximación. Por el contrario, su impedancia también es muy elevada, lo que habrá de tenerse en cuenta al diseñar la electrónica asociada.

Aparte de su mecanismo de transducción, los generadores cinéticos pueden distinguirse por su geometría y por el uso o no de resonancias mecánicas del sistema, existiendo básicamente dos tipos de generadores cinéticos por el tipo de fuerza que produce el amortiguamiento: los generadores amortiguados en velocidad (VDG) y los generadores amortiguados por una fuerza constante (CDG), pudiendo ambos ser resonantes o no resonantes, conociéndose a los primeros por sus siglas VDRG o CDRG. En el caso de los generadores no resonantes, sólo los amortiguados por una fuerza constante paramétricos (CFPG) producen niveles de energía aceptables [Mit04].

Todavía no se han fijado criterios que, aceptados universalmente, sirvan para analizar el rendimiento comparado de los diversos tipos de generados cinéticos. En general, la mayoría de los dispositivos fabricados producen conversiones de energía con eficiencias del orden del 1-10%, con picos del 30% en algunos casos. Las densidades de potencia generadas se encuentran entre 1 y 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^3$, de modo que aún queda mucho margen para la optimización y mejora de los diseños.

Generadores electrostáticos.

Los generadores electrostáticos necesitan una fuente de carga para poder producir energía a través del movimiento relativo de sus electrodos, que puede conseguirse de dos formas diferentes. La primera de ellas, descartable a priori en este proyecto, en el que se pretende desarrollar sistemas totalmente autosuficientes, consistiría en utilizar una fuente de carga adicional, como pueda ser una batería.

La segunda manera de conseguir una fuente de carga consiste en utilizar un material cargado capaz de retener su carga durante períodos de tiempo muy largos. Los materiales denominados electretos cumplen esta misión, ya que son capaces de almacenar carga durante tiempos de décadas o incluso centenares de años. Los materiales electretos que permiten mayor densidad de carga son los fluoropolímeros, como el teflón, que es fácilmente adquirible, mecanizable, extremadamente estable y duradero.

Con independencia del uso o no de electretos, existen dos configuraciones posibles para la conversión energética en este tipo de generadores. La primera, denominada de carga constante, implica el movimiento de una cantidad fija de carga eléctrica por medio de un campo eléctrico, aumentando así el potencial eléctrico asociado a dicha carga. Para una estructura de placas planas paralelas con una separación variable, un desplazamiento fijo entre ellas y un efecto borde despreciable, la intensidad de campo es proporcional a la carga constante siendo la densidad de energía del campo eléctrico independiente de la separación de las placas. En la segunda configuración, denominada de potencial constante, moviendo las posiciones relativas de las placas se produce el cambio de la capacidad entre ellas manteniéndose constante su diferencia de potencial

En cuanto a la geometría del sistema, se puede hablar de tres tipos básicos de generadores electrostáticos [Bee09]: generador con movimiento en el plano de las placas y superficie variable, generador con movimiento en el plano de las placas y separación variable y generador con movimiento de las placas fuera de su plano con separación variable, mostrándose estas geometrías en la figura 3.

Las dos primeras configuraciones en las que el movimiento es horizontal, presentan ciertas ventajas desde el punto de vista de su análisis matemático y el manejo electrónico posterior de la energía que producen. Sin embargo, su

construcción exige técnicas micromecánicas complicadas y los dispositivos resultantes son muy frágiles. Además, en estos generadores, el hueco de aire tiene que ser muy pequeño, del orden de nanómetros o micrómetros, lo cual es muy difícil de conseguir y controlar, ya que a esas distancias las placas tienden a pegarse por atracción electrostática.

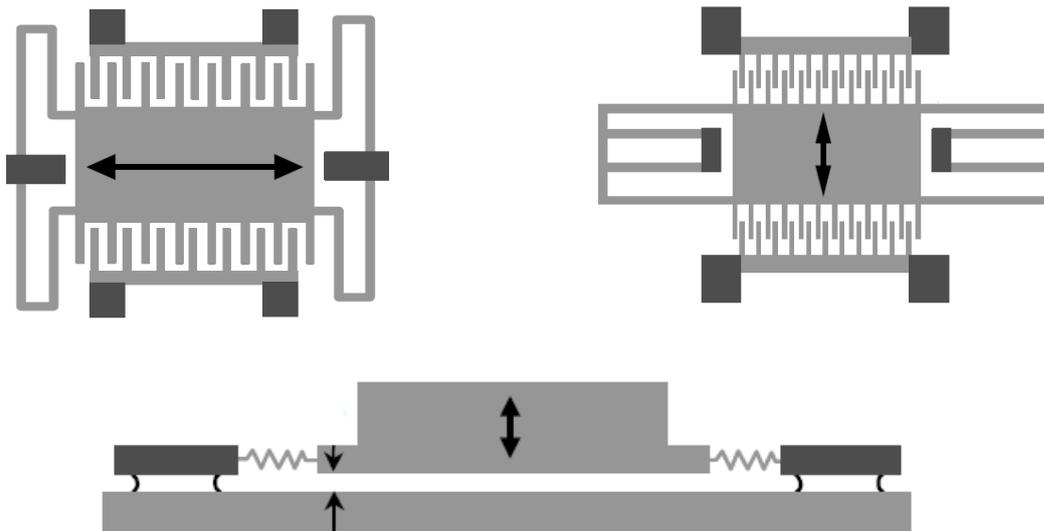


Figura 3. Generador en plano con separación variable (superior izquierda) o separación variable (superior derecha) y generador fuera de plano (inferior).

La tercera configuración enunciada, en la que el movimiento de las placas se realiza en sentido vertical –perpendicular a las mismas-, corresponde a la imagen más intuitiva de un condensador variable con aire como dieléctrico. El aumento o disminución de la capa de aire intermedia es lo que provoca el cambio de capacidad y genera la diferencia de potencial. El principal problema de esta configuración es la necesidad de conseguir diferencias de amplitud en el movimiento suficientemente grandes para que la energía producida sea comparable a la de otros diseños. Además, si la escala de fabricación es muy pequeña, con placas de superficies del orden de los milímetros cuadrados, el amortiguamiento fluido debido al aire puede provocar pérdidas inaceptables de energía.

Otras configuraciones, menos estudiadas y desarrolladas, son las configuraciones en forma laminar de lengüeta vibrante - su comportamiento se puede simular como el de un sistema fuera de plano con fuerza exterior aplicada, en el que el desplazamiento coincidirá con la deflexión, produciendo una mayor potencia de salida- y la circular -similar a una ruleta con sectores de



conductor y de electreto intercaladas, cuyo principal problema es la estabilidad y mecanizado del eje, en el que se sitúa la masa sísmica, así como su movimiento sin rozamientos-.

La principal limitación de los generadores de energía a partir de fuentes ambientales es el bajo rendimiento de los sistemas no resonantes. Para obtener niveles de energía aceptables es preciso sintonizar las frecuencias de vibración del generador con las del ambiente. Cuanto mayor sea el factor de calidad del generador como resonador, mejor será la eficiencia y la energía producida.

No obstante, un factor de calidad elevado implica una curva de resonancia muy estrecha, de modo que el ancho de banda o rango de vibraciones accesible para producir energía es muy reducido. Salvo que la fuente de vibraciones sea artificial y de frecuencia prácticamente monocromática, cosa que raramente suele suceder, parece conveniente sacrificar parte del factor de calidad del generador por un mayor ancho de banda. Precisamente la consecución del compromiso óptimo entre los dos factores es la clave de la investigación en este tipo de sistemas. Existen dos soluciones posibles al problema. Por una parte, si no se quiere sacrificar demasiado la linealidad del comportamiento mecánico del sistema es preciso usar matrices (arrays) de generadores, estando cada uno de los elementos sintonizado a una frecuencia distinta. Esto complica enormemente tanto la mecanización y mantenimiento del sistema como la electrónica de conversión de la energía para su posterior almacenamiento. La otra solución consiste en optimizar la curva de resonancia del sistema usando configuraciones mecánicas no lineales. Esta solución es la mejor, pero también la más difícil, porque la no linealidad de las vibraciones debe conjugarse con la máxima diferencia de amplitud en todos los puntos posibles del sistema en un diseño planar. La no linealidad puede aportar beneficios adicionales. Si el factor de calidad es muy elevado, las resonancias pueden llegar a ser catastróficas y provocar incluso la destrucción mecánica del sistema. Ajustando convenientemente los efectos de la no linealidad podemos conseguir que el sistema evolucione hacia estados con relajación o ciclos límites estables, si bien habrá que controlar la posible disipación adicional que introducen las no linealidades.

Antes de proceder al diseño de un extractor de energía ambiental, es preciso conocer el tipo de fuentes de energía que presumiblemente van a alimentarlo. En el caso de las vibraciones, existen numerosos estudios de los rangos de frecuencia y amplitudes probables de las principales fuentes de vibraciones,

tanto naturales como artificiales. Dentro de las fuentes naturales destaca el movimiento humano -situado en el margen de 1-10 Hz, con una resonancia marcada en torno a los 4-6 Hz-, con amplitudes bastante grandes que producen voltajes del orden de los centenares de voltios en los electrodos del generador electrostático, siendo necesaria la reducción de la amplitud de las vibraciones en el generador, tanto por motivos mecánicos (no es posible, en general, conseguir estructuras estables con vibraciones de amplitud mayor que sus propias dimensiones) como por motivos eléctricos (tensiones de centenares de voltios no son prácticos para los circuitos electrónicos de muy bajo consumo; con diferencias de potencial muy elevadas y distancias entre electrodos muy pequeñas se pueden producir fenómenos de arco y descarga que pueden dañar los sistemas). De origen natural son también los microsismos ($f < 1$ Hz) y microtemblores ($f > 1$ Hz), con amplitudes tan pequeñas que la energía que se puede extraer de ellas es minúscula.

Sin embargo, en general, las vibraciones artificiales producen mucha mayor densidad de energía en entornos urbanos. Los entornos industriales son candidatos ideales a la implementación de las tecnologías de extracción de energía. La mayoría de las máquinas producen vibraciones considerables en rangos de frecuencias que van de los centenares a los miles de Hz. Los propios generadores podrían diseñarse de forma que actuaran como supresores eficientes del ruido, de modo que no sólo se aprovechara la energía, sino que además se contribuiría a la mejora general del entorno industrial y se ampliaría la vida útil de las máquinas. Con frecuencias tan elevadas y amplitudes considerables la energía generada puede llegar a ser nada despreciable. Dichos generadores podrían alimentar, con toda probabilidad, redes de sensores inalámbricas y quizá otros sistemas.

Las resonancias de los sistemas electrostáticos inerciales se pueden ajustar mediante diversas técnicas que incluyen la variación de los parámetros elásticos, amortiguamientos mecánicos, fluidos y viscosos y las fuerzas electrostáticas en juego. La masa inercial es uno de los elementos más críticos del generador y suele añadirse a la masa del electrodo móvil para poder sintonizar un mismo sistema a varias frecuencias cambiando simplemente esta masa, dado que la frecuencia natural del sistema electromecánico está dada por la raíz cuadrada del cociente entre la constante elástica del resorte utilizado y la masa, de manera que disminuyendo esta última aumentará el valor de la frecuencia natural y, por tanto, de la frecuencia de resonancia, si bien disminuirá la potencia obtenida. En cualquier caso, no ha de olvidarse que

todos estos mecanismos deben introducir disipaciones mínimas para poder incluirlas como parte de un generador de energía.

Si la principal aplicación del sistema es la extracción de energía del movimiento humano, ha de tenerse en cuenta que las propias frecuencias de su movimiento son demasiado bajas para permitir una extracción eficiente de energía, siendo necesario trabajar a frecuencias superiores, por lo que es recomendable elegir una frecuencia de resonancia que sea armónica de las propias del movimiento, demostrando la experiencia en este sentido que la frecuencia de 32 Hz, múltiplo de 4 Hz, es un buen punto de partida.

DISEÑO DEL GENERADOR CINÉTICO DE ENERGÍA AMBIENTAL.

A la hora de diseñar el sistema de recolección de energía basado en vibraciones, se han de tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Geometría y dimensionamiento del sistema.
- Frecuencias de trabajo.
- Materiales a utilizar.
- Métodos de transducción de la energía.

Así mismo, los principales condicionantes en el uso de estos sistemas son el tamaño adecuado y cómodo para su transporte de forma semipermanente, el uso de materiales de bajo coste y alta durabilidad y la mayor eficiencia en la extracción de energía.

Así mismo, los principales condicionantes en el uso de estos sistemas son el tamaño adecuado y cómodo para su transporte de forma semipermanente, el uso de materiales de bajo coste y alta durabilidad y la mayor eficiencia en la extracción de energía.

En general, las frecuencias de resonancia más comunes son 4-32 Hz para el movimiento humano y unos 300 Hz para las máquinas. Para aumentar el ancho de banda se elegirá la técnica de utilizar suspensiones elásticas no lineales en el electrodo móvil, acoplando muelles no ideales o láminas metálicas (o plásticas) con diversas capas, procurando, en cualquier caso, que no disminuya excesivamente el factor de calidad del generador, como consecuencia de los sobretonos no lineales. El diseño a realizar habrá de ser básico, de manera que sea utilizable tanto en aplicaciones a 32 Hz como en aplicaciones para vibraciones de máquinas de uso doméstico, con frecuencias

dominantes en el margen de los centenares o miles de Hz, lo cual se manifiesta por el nivel de ruido audible que producen. Un buen compromiso es centrar la frecuencia de resonancia en 300 Hz para el caso de electrodomésticos. El cambio de una frecuencia de 32 Hz a 300 Hz se debe poder hacer cambiando tan sólo la masa inercial acoplada al electrodo móvil.

El diseño incorporará un electreto de teflón, eligiéndose este material por su excelente relación coste-rendimiento, su capacidad de carga con densidades máximas de 0.1 mC/m^2 , su tiempo medio de descarga de 300 años, su excelente estabilidad química y térmica, su fácil mecanización y el mínimo rozamiento que presenta. El principal problema de usar teflón es la dificultad de adherirlo a otras superficies.

Tras el análisis de los diferentes tipos de generadores posibles (piezoeléctricos, electromagnéticos o electrostáticos), se ha optado por los generadores electrostáticos por los siguientes motivos:

- Son los que menos problemas presentan de compatibilidad electromagnética, ya que no implican el uso de imanes de alta densidad de flujo magnético cerca de los circuitos.
- Son fácilmente escalables y se pueden agrupar en módulos volumétricos.
- Su fabricación es relativamente sencilla y su coste más bajo.
- Son reciclables y su impacto medioambiental muy bajo.
- Los generadores electrostáticos presentan mayor rendimiento por debajo de las frecuencias de vibración de trabajo, que es el caso típico en movimientos de origen humano.

Estos generadores pueden diseñarse en configuraciones deslizantes (movimiento horizontal) o verticales (movimiento vertical, perpendicular a los planos del condensador), siendo los generadores no resonantes o paramétricos los más eficientes a bajas frecuencias y grandes amplitudes de vibración, aunque están limitados por la tensión máxima que se puede suministrar a los acumuladores y circuitos que alimenta; si su amplitud excede 1 mm, las tensiones podrían superar los 400 V, lo cual excedería los márgenes de trabajo de cualquier acumulador o circuito de muy bajo consumo.

Otras especificaciones a tener en cuenta en el diseño del prototipo han de ser las siguientes: facilidad de fabricación y optimización, escalabilidad, posibilidad de sintonizar el prototipo a otras frecuencias, si se considera necesario,



optimización de los parámetros de elasticidad y amortiguamiento de los materiales, facilidad de construcción y adaptación de los electrodos a configuraciones modulares y robustez y bajo coste del generador. Para ello, habrán de reducirse al mínimo imprescindible las partes móviles del sistema, usándose tolerancias macroscópicas, materiales reciclables y sostenibles y técnicas convencionales.

DISEÑO DEL PROTOTIPO.

Se ha adoptado como solución por utilizar un generador electrostático resonante que trata de combinar las mejores características de ambas clases de generadores electrostáticos. La idea clave es diseñar un oscilador mecánico laminar amortiguado con un pico de resonancia en torno a los 32 Hz, pero con una curva de factor de calidad, Q , lo más ancha posible para permitir el aprovechamiento de las frecuencias más bajas con un máximo de amplitud que no exceda 1 mm de separación entre placas, de modo que la tensión se mantenga dentro de unos límites razonables.

En un principio, se descarta la estructura deslizante horizontal por la necesidad de utilizar raíles que permitan el desplazamiento del electrodo móvil que introducen pérdidas por fricción, y por la tolerancia mecánica inherente a un carril con 1 mm de apertura entre electrodos. También se descarta la estructura de electrodos paralelos en los que el movimiento de uno de ellos sea circular por la falta de inercia del electrodo y la propia fricción del eje. De igual forma, la estructura deslizante vertical, combinación de los anteriores, que utiliza raíles y presenta la dificultad del control de la separación entre electrodos y la alta probabilidad de impacto entre ellos que hace que el sistema sea poco fiable a medio-largo plazo.

Electreto.

Como se ha comentado, se ha elegido teflón como electreto, dadas sus características, anteriormente citadas, eligiéndose un espesor es de 0.1 mm y una constante dieléctrica de 2.1.

Teniendo en cuenta la densidad de carga y suponiendo unas dimensiones de 2x2 cm tanto del teflón como del electrodo de apoyo del mismo, con una separación entre el teflón y el otro electrodo de 1 mm, la variación de la

diferencia de potencial entre electrodos en función de la carga, a partir de densidades de carga de 80 pC/m^2 , es superior a los 100 V, llegándose en el caso de carga máxima a tensiones de casi 1200 V.

Para la carga del electreto existen dos técnicas básicas. La primera consiste en solidificar el material mientras está sometido a un fuerte campo eléctrico. La segunda se basa en el efecto de corona que producen las descargas de alto voltaje en el aire, se trata, por tanto, de una implantación de carga en el material a una energía relativamente baja.

En el caso del teflón, la técnica de carga más conveniente es la basada en el efecto corona. Dentro de esta técnica podemos distinguir dos variantes:

- Carga del electreto por electrones de baja energía y rayos X secundarios.
- Carga por corona directa de alto voltaje, unos 30 kV.

El primer tipo de carga es muy seguro, cómodo y permite cargar varios electretos a la vez, ya que no exige instalaciones especiales, pero es muy lento (del orden de varios días) y no permite alcanzar las densidades de carga máximas que admite el teflón. El método consiste en utilizar la emisión de electrones y rayos X blandos que se produce en las proximidades de las pantallas de los tubos de rayos catódicos. En este caso se ha dispuesto el electreto sobre un electrodo directamente sobre la pantalla del tubo de imagen en el que se dispone una imagen de “nieve” que dará lugar a una carga uniforme del electreto.

Por otro lado, la carga por corona [Oka08] es muy rápida (del orden de 2 horas) y permite alcanzar las densidades máximas de carga, a costa de instalar un sistema de alto voltaje en aire de unos 30 kV en una urna estanca con salida de gases al exterior, debido a la producción de ozono tóxico. En este caso el electreto se monta sobre un electrodo conectado a masa, disponiéndose una rejilla cuya misión es acelerar los electrones para producir una carga más rápida. Como punta de descarga se puede utilizar una “chupeta” como las utilizadas en los receptores de TV para conectar la etapa de muy alta tensión (MAT) al ánodo final del tubo de imagen. Partiendo del transformador de salida de línea se utiliza un flyback (multiplicador de tensión) para subir la tensión hasta valores por encima de los 15 kV para atacar al ánodo final. Para evitar la formación de un arco eléctrico ha de cuidarse la distancia entre electrodos (punta de descarga-electrodo de fijación del electreto), teniendo en cuenta que

en la práctica la distancia que recorrerá la chispa en el aire a presión normal es de 1 mm por kilovoltio.

Se presentan en este tipo de dispositivos diferentes problemas a resolver: la seguridad eléctrica consecuencia de los altos niveles de tensión utilizados; la cantidad de ozono producida por la corona de descarga, que puede afectar a las vías respiratorias y los pulmones o producir irritación de los ojos; la influencia del dispositivo de carga sobre otros dispositivos electrónicos y la posibilidad de cargar el electreto de manera que se produzcan tensiones elevadas no útiles para la alimentación de dispositivos electrónicos prácticos.

Utilizando la circuitería básica de un monitor de ordenador, se ha diseñado un dispositivo de carga del electreto por corona de descarga que se muestra en la figura 4.



Figura 4. Sistema implementado de corona de descarga.

Para conseguir la seguridad eléctrica y la protección del usuario frente a la producción de ozono, se ha diseñado una urna de metacrilato dentro de la cual se introduce tanto la circuitería como la muestra de electreto a cargar, disponiéndose de un sistema de extracción para dar salida al ozono, a través de una manguera flexible, hacia el exterior de la sala de pruebas. Igualmente, se ha dispuesto de un sistema de regulación de la punta de descarga que permita la regulación de la distancia de ésta al electrodo de apoyo al electreto. La portabilidad del sistema permite aislarlo de zonas en las que estén presentes otros equipos cuyo funcionamiento sea susceptible de ser alterado durante el proceso de carga del electreto.

Con este sistema de carga de los electretos se consiguen distribuciones de carga uniformes siempre y cuando las dimensiones de éstos sean suficientemente pequeñas, o a distribuciones de carga que decrecen hacia los

extremos del electreto desde el la zona de apuntamiento del elemento de descarga a medida que las dimensiones del electreto son mayores [Suz09].

Primer prototipo: generador electrostático fuera de plano inercial.

Los electrodos utilizados han sido placas de circuito impreso de doble cara, con sustrato FR4, cuadradas de 36 cm^2 y espesor total (conductores y sustrato) de 1.5 mm, cuya densidad es de 1850 kg/m^3 . El conductor de ambas caras de la placa es de cobre de $35 \text{ }\mu\text{m}$ de espesor y su superficie se ha limitado a un cuadrado de 25 cm^2 . Como electreto se ha utilizado teflón de 0.1 mm de espesor y superficie de 30 cm^2 , cuya constante dieléctrica es de 2.1, solidario con el electrodo fijo. El prototipo desarrollado se basa en la estructura mostrada esquemáticamente en la figura 5.

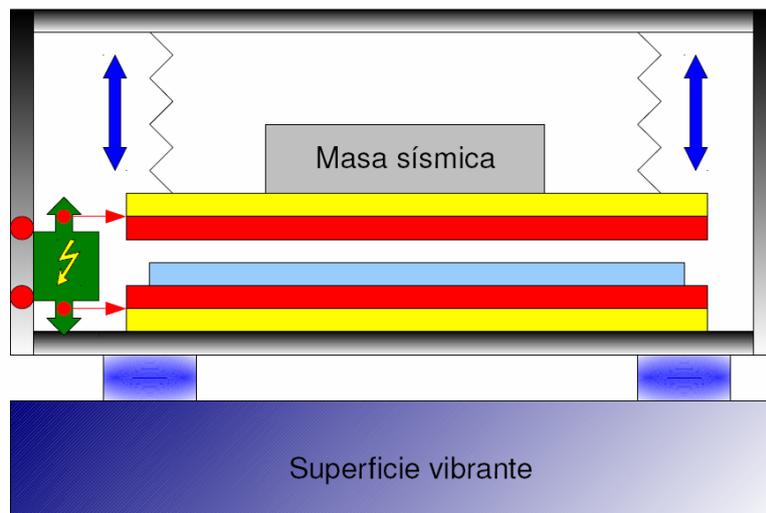


Figura 5. Esquema del generador fuera de plano inercial.

A la hora de su diseño y montaje, se ha optado por una cámara no cerrada, de forma que su parte superior se va a desplazar verticalmente en función de la excitación exterior, movimiento que va a provocar el del electrodo móvil. La unión entre las placas superior e inferior de la cámara, así como entre la placa superior de la cámara y el electrodo móvil se ha realizado utilizando muelles, cuya constante elástica es de 250 N/m , y cuya longitud ha de ser tal que la distancia entre el electreto y el electrodo móvil sea de 1 mm. Las láminas de la cavidad se han elegido de policarbonato con las dimensiones ya definidas. Su parte interior lleva un delgado recubrimiento de aluminio lacado, lo que permite cierto grado de aislamiento electromagnético hacia el exterior, a la vez que se dispone así de una cavidad cilíndrica en cuyo interior se va a disponer el generador electrostático propiamente dicho.

El electreto se ha compactado con el electrodo fijo mediante film plástico de polietileno adhesivo, que cubre la cara del electreto y se fija en la cara conductora contraria de la placa de circuito impreso con sustrato FR4. Su carga se ha realizado utilizando el método de emisión secundaria y rayos X blandos, fijando el electrodo compactado con el electreto sobre la pantalla de un receptor de TV Philips modelo 14GR1221/168 durante un período de una hora, y posteriormente mantenido bajo la corona de descarga, a 5 cm de la punta de descarga, durante un tiempo de otra hora.

El resto de elementos ha sido fijado utilizando cianoacrilato, adhesivo epoxídico cuya resistencia a esfuerzos, tensiones o cargas es del orden de los 30 MPa, y que, además, presenta alta resistencia a agentes físicos o químicos, alta resistencia a la temperatura, tendencia a absorber la humedad y buena adhesión al aluminio, acero y muchos plásticos.

El dispositivo fabricado es el mostrado en la figura 6. En ella se indican los distintos elementos componentes del sistema de conversión de energía.

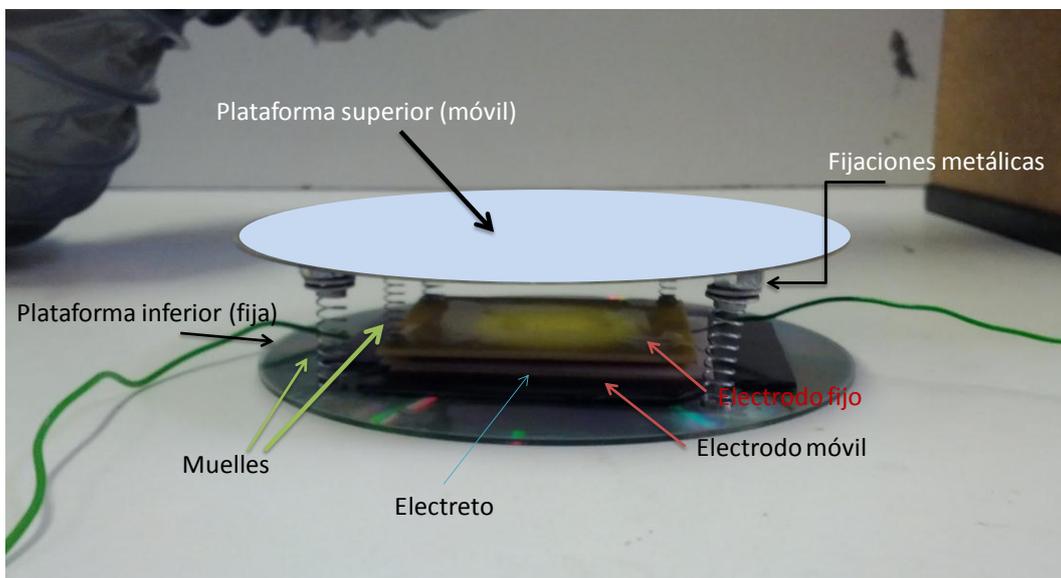


Figura 6. Generador basado en muelles.

Segundo prototipo: generador electrostático basado en palanca.

Otro diseño realizado, más apropiado aplicaciones donde la integración y la modularidad sean importantes, es el basado en una lengüeta flotante. Este dispositivo, representado en la figura 7, está formado por placas plano paralelas de circuito impreso de 1.5 mm de grosor con cobre en ambos lados y soporte dieléctrico FR4, con una superficie de 37.8 cm². La separación entre

placas es de 8 mm, teniendo adherida una de las placas teflón, de forma análoga a la utilizada en el prototipo anterior, utilizándose una superficie de 19.35 cm².

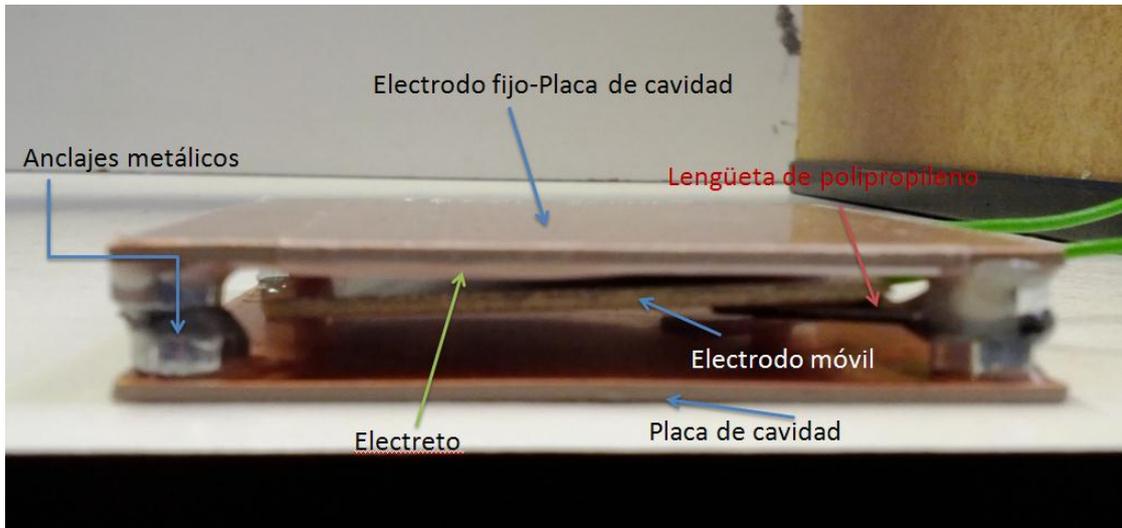


Figura 7. Generador basado en palanca.

MEDIDAS REALIZADAS.

Utilizando un osciloscopio Fluke modelo Scopemeter Color 199C, se han realizado medidas de la tensión entre electrodos de cada uno de los generadores desarrollados.

El generador basado en muelles se ha sometido a impactos no regulares, simulando una actividad física normal, y a una variación de los impactos tanto en amplitud como en cadencia, simulando el funcionamiento de una máquina en vibración. El prototipo basado en palanca se ha sometido únicamente a impactos no regulares. Los resultados obtenidos en cada uno de los prototipos se muestran resumidos en la figura 8, sirviendo de comparativa del rendimiento de los dos tipos de generadores.

En ambos casos, las frecuencias de trabajo se tomaron cerca de la resonancia vibratoria del ser humano, lo suficientemente baja como para permitir pruebas directas sin necesidad de máquinas de vibración sinusoidal.

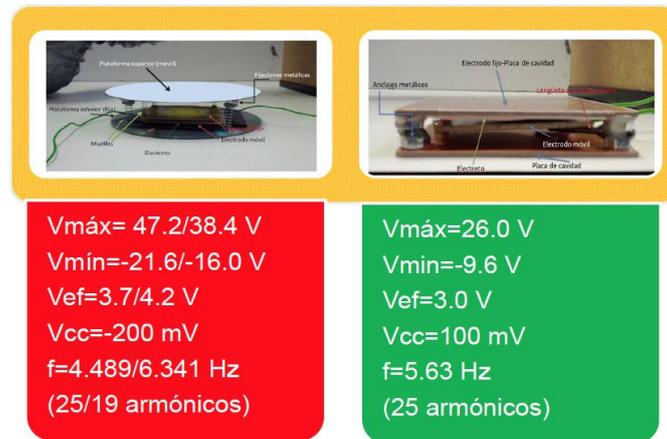


Figura 8. Comparativa del rendimiento de los dos generadores diseñados.

Como dato significativo, para el primer diseño destacar que, con independencia del impulso (amplitud y frecuencia) utilizado en la excitación del generador, el valor de la tensión continua se mantiene en -200 mV , habiéndose conseguido con la utilización de la cavidad una multiplicación de la frecuencia de resonancia del sistema que da lugar a la aparición de numerosos armónicos junto con la frecuencia fundamental, que muestran el comportamiento no lineal con la frecuencia del dispositivo, si bien en ambos casos existe una componente de frecuencia alrededor de los 32 Hz , objetivo del diseño.

Por otra parte, mientras el diseño basado en muelles admite pocas optimizaciones, el diseño basado en lengüeta se puede mejorar con unos simples cambios de materiales y dimensiones. Su diseño modular promete una mayor capacidad global de recolección de energía.

Acondicionamiento, almacenamiento y gestión de la energía.

En este proyecto, para las pruebas de rendimiento de ambos prototipos de recolectores electrostáticos, el basado en muelles y el de configuración en palanca, se ha utilizado el kit de evaluación de sistemas de recolección de energía EnerChip EP Universal Energy Harvester Eval Kit CBC-EVAL-09 de Cymbet Corporation, mostrado en la figura 9. Básicamente consiste en un adaptador de impedancias, un rectificador, un multiplicador de voltaje y un sistema de almacenamiento de energía en chip, junto con diferentes salidas para monitorización y acumulación externa [Cym11]. Esta tarjeta se ha usado para las pruebas de rendimiento de ambos prototipos de recolectores electrostáticos, el basado en muelles y el de configuración en palanca.

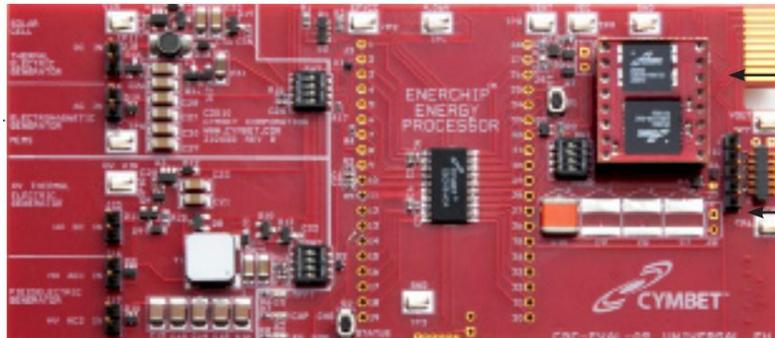


Figura 9. Kit de evaluación de recolectores de energía.

APLICACIONES DE AMBOS DISEÑOS.

El prototipo basado en muelles está especialmente indicado en el caso de fuertes impulsos, como impactos producidos por máquinas y elementos esencialmente percutores (ferrocarril, automoción,...). El prototipo presenta fuertes resonancias en 32 Hz y sus subarmónicos. En el caso de una mayor dimensionado para máquinas habría que usar muelles más rígidos de baja disipación. Su uso como recolector de energía del ser humano es más limitado, dado que sólo funciona adecuadamente en posición vertical y requiere un espacio que lo hace poco práctico para su implementación en ropa o calzado. Se consigue un mayor ancho de banda gracias al solapamiento de un gran número de modos de oscilación de ambas cavidades y su diferente configuración geométrica. La realización de simulaciones previas ha resultado muy útiles para confirmar los resultados experimentales.

Por su parte, el diseño en lengüeta vibrante es mucho más compacto y permite su fácil apilamiento en serie o paralelo, según las necesidades. Su tamaño es mucho más escalable y permite su integración en ropa y calzado. Con ciertas variaciones mecánicas y optimizando las pérdidas elásticas en los soportes de la palanca es posible conseguir que funcione a diversos ángulos, no sólo en la vertical. También el gran número de modos de vibración permite un ancho de banda considerable. Una construcción multicapa del electreto sería clave para mejorar notablemente el rendimiento global.

Sobre todo en el caso del generador basado en palanca, las aplicaciones de interés son múltiples: alimentación de pequeños dispositivos electrónicos de bajo consumo, sensores biomédicos, redes de sensores de muy bajo consumo e iluminación de emergencia. Incluso en entornos industriales, cierta capacidad

de comunicación inalámbrica de bajo consumo. Otra posibilidad interesante es la configuración de estos recolectores como sensores sísmicos autoalimentados con capacidad de, por ejemplo, reconocimiento de vehículos. Su uso en sistemas de alarma a prueba de ataques externos de alimentación, dado su carácter autónomo, también es muy interesante. En áreas donde los impactos sean mayores, como en pavimentos inteligentes, el uso de recolectores basados en muelles está más recomendado.

CONCLUSIONES.

En este trabajo se han desarrollado dos prototipos de recolectores de energía vibracional con diferentes arquitecturas que comparten el esquema físico de condensador variable basado en un electrodo móvil suspendido sobre un electrodo fijo que soporta un electreto. El primer prototipo usa una configuración de plataforma móvil de geometría rectangular suspendida por muelles de un disco unido a su vez por otros muelles de diferentes características a otro disco inferior que soporta el electrodo fijo, arquitectura ventajosa en recolectores grandes o que van a ser sometidos a fuertes impactos, que presenta resonancias amplias en torno a los 32 Hz y sus subarmónicos, dominando la extracción de energía a frecuencias bajas, que son las dominantes en los movimientos humanos. Las técnicas de ensanchamiento de pulsos mediante la introducción de múltiples modos de vibración en los recolectores han funcionado satisfactoriamente.

El otro prototipo, con una estructura plana y el electrodo móvil interior en forma de palanca suspendida por un lado, resulta un modelo escalable a tamaños mucho más pequeños que su equivalente con muelles y ofrece mejores rendimientos en tales casos. Esta arquitectura presenta la ventaja de ser fácilmente apilable, permitiendo cubrir grandes extensiones de forma modular según las necesidades energéticas y los condicionantes del entorno. En este caso, las técnicas de ensanchamiento de pulsos mediante el uso de láminas de propileno flexibles también han resultado ventajosas.

Los pulsos de voltaje producidos por ambos sistemas son bastante reproducibles y de una duración temporal razonable. El método de fabricación y los materiales empleados, cuya relación coste/rendimiento es excelente, aseguran que los sistemas fabricados sean accesibles a todo tipo de mercados y aplicaciones, incluidos los países en vías de desarrollo, habiéndose conseguido además que los sistemas fabricados sean compatibles con un entrenador comercial diseñado para adaptar la energía de los sistemas de recolección a otros dispositivos electrónicos.

AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo se ha desarrollado gracias al contrato de investigación Referencia 108/2011 suscrito entre la Universidad de Alcalá y la empresa Tecnologías para la Innovación y Desarrollo de Aplicaciones S.L., que se enmarca dentro del proyecto TSI-020100-2010-358 del Plan Avanza 2, cofinanciado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología.

REFERENCIAS.

- [Bee06] Beeby, S.; Tudor, M.; White, N. (2006). "Energy harvesting vibration sources for Microsystems applications (Review article)". *Measurement Science and Technology*, 17 (12), R175-R195.
- [Bee09] Beeby, S.P.; Torah, R.N.; Tudor, M.J. (2009). "Kinetic energy harvesting". *Acta Futura*, 3, p.53-61.
- [Ber08] Bertoldi, O.; Berger, S. (2008). *Report on Energy. 5.7 Energy harvesting*. Observatory Nano. European Commission.
- [CAT09] CATRENE (2009). *Energy autonomous systems: future trends in devices, technology and systems*. París: CATRENE-Cluster for Application and Technology Research in Europe on Nanoelectronics, CATRENE Working Group on Energy Autonomous System, 2009, 84 p.
- [Cha08] Chalasani, S.; Conrad, J. (2008). "A survey of energy harvesting sources for embedded systems". En: *Proceedings of the IEEE SouthEastcon 2008, (Huntsville, April 3-6), 2008*, p.442-447.
- [Cym11] Cymbet Corp. (2011). "EnerChip™ EP Universal Energy Harvester Eval Kit. Datasheet". Disponible en: <http://www.cymbet.com/pdfs/DS-72-13.pdf>
- [Fio08] Fiorini, P.; Doms, I.; Van Hoof, C.; Vullers, R. (2008). "Micropower energy scavenging". En: *Proceedings of the 34th European Solid-State Circuits Conference (ESSCIRC) 2008, (Edinburgh, September 15-19), 2008*, p. 4-9.
- [Mit04] Mitcheson, P.D.; Green, T.C.; Teatman, E.M.; Holmes, A.S. (2004). "Architectures for vibration-driven micropower generators". *Journal of Microelectromechanical Systems*, 13 (3), p. 429-440.
- [Mit05] Mitcheson, P.D. (2005). "Analysis and optimization of energy-harvesting micro-generator systems". PhD Thesis. University of London and Faculty of Engineering of Imperial College London, 2005.
- [Nat04] National Research Council. Committee of Soldier Power/Energy Systems (2004). *Meeting the energy needs of future warriors*. Washington: The National Academies Press, 2004, 114 p.



- [Oka08] Okamoto, H.; Onuki, T.; Mori, K.; Kuwano, H. (2008). "Improving an electrets energy harvester by redirecting the electric field". En: *Proceedings of the 8th International Workshop on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (PowerMEMS) 2008, (Sendai, November 9-12), 2008*, p. 11-14.
- [Sem03] Semadeni, M. (2003). "Energy storage as an essential part of sustainable energy systems. A review on applied energy storage technologies". Zurich: CEPE-Centre for Energy Policy and Economics, Swiss Federal Institutes of Tecnology. CEPE working paper, No. 24. 49 p.
- [Suz09] Suzuki, T.; Nagasawa, S.; Okamoto, H.; Kuwano, H. (2009). "Novel structure and fabrication of an energy harvesting device based on vibration-oriented generation for low oscillation operation". En: *Proceedings of 2009 IEEE Sensors, (Christchurch, October 25-28), 2009*, p. 1832-1835.
- [Yil09] Yildiz, F. (2009). "Potential ambient energy-harvesting sources and techniques". *Journal of Technology Studies*, 35 (1), p. 40-48.

LA REALIDAD DEL TRÁFICO EN MATERIA DE EMISIONES
Josefina de la Fuente. TechNet

TechNet, empresa española fundada en 2007, se dedica al estudio y análisis de las emisiones reales del tráfico, y ofrece servicios de consultoría y asesoramiento especializado a empresas con la intención de crear políticas eficientes de movilidad, reduciendo las emisiones, potenciando la eficiencia energética y reduciendo los costes de operación.

Para ello, TechNet usa la tecnología RSD (*RemoteSensingDevice*), y cuenta con los derechos exclusivos de explotación en Europa. Esta tecnología permite medir, de manera no intrusiva, las emisiones y consumos de los vehículos.



Con la tecnología RSD es posible auditar una flota sin hacer perder tiempo a los transportistas y empresas subcontratadas, con el ahorro de los costes asociados.

Es decir, la medición se realiza en las mismas instalaciones del cliente y de manera no intrusiva gracias al uso de un sistema seguro y eficaz (testado y homologado) de detección remota.

El RSD registra en menos de medio segundo:

- Emisiones (CO, CO₂, HC, NO_x, partículas)
- Consumo
- Condiciones cinéticas (velocidad, aceleración)
- Placa de matrícula

Al tiempo que el vehículo circula junto al sistema de medición, sin necesidad de que se detenga, se registra la matrícula y las emisiones/consumo de cada unidad.



A día de hoy, no existe una tecnología capaz de analizar las emisiones de los vehículos que ofrezca las prestaciones de los sistemas RSD. Las ventajas del uso de esta tecnología se podrían resumir:

- Económicas: Implantación con bajo presupuesto y reducción de costes directos (combustible) e indirectos (limpieza, filtros, reparaciones mecánicas, cambio de flotas).
- Estratégicas y corporativas: Acercamiento a límites de emisión cada día as estrictos, mejora de la imagen corporativa y reconocimiento público tras la publicidad de las políticas aplicadas de movilidad sostenible.
- Ambientales y sociales: Reducción de las emisiones mejora del medio ambiente y la calidad de vida, concienciación y educación ambiental.
- Rapidez, eficiencia y comodidad: TechNet es capaz de realizar la auditoría en las plantas de los clientes y sin entorpecer las operaciones que se estén llevando a cabo.

Caso de Estudio: Flota Mahou – San Miguel

Los pasos que se dieron en el proyecto fueron:

- En tan sólo una semana Technet midió las emisiones de todos los vehículos (más de un millar) en los 5 centros de distribución.
- Se realizó un volcado de información (incluyendo datos técnicos de cada vehículo) con el fin de analizar todos los datos y obtener una “fotografía” en materia de emisiones y eficiencia energética.
- Elaboración de conclusiones y diseño de políticas:
 - Reparación y mantenimiento
 - Sustitución
 - Adaptación (SCRT, urea)
 - Cursos de conducción eficiente...

El potencial ahorro de combustible se cifró de la siguiente manera:



Tipo	Km/año	Veh.	Litros	Ahorro (€)
HDV	100.000	145	405.488	446.037
LDV	100.000	26	18.804	20.685
Turismos	30.000	50	10.246	11.271
		221	434.538	477.992

Adicionalmente esta iniciativa fue galardonada con el premio “Muévete en Verde” de la mano de la alcaldesa de Madrid Dña. Ana Botella.



LA IMPORTANCIA DE LA TELEDETECCIÓN COMO TECNOLOGÍA DE APOYO A LA ADMINISTRACIÓN EN EL CONTROL DE LOS PROGRAMAS EUROPEOS DE AYUDAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES.

María del Rosario Escudero Barbero

TRAGSATEC- Grupo TRAGSA

1. LA TELEDETECCIÓN APLICADA A LOS CONTROLES DE LA PAC.

La teledetección es una tecnología muy eficiente y de gran utilidad para las Administraciones Públicas en el cumplimiento de sus competencias como organismos encargados de la gestión y control de las ayudas europeas de la PAC (Política Agraria Común). Esta tecnología vienen utilizándola los organismos pagadores de los estados miembros de la Unión Europea de forma creciente desde 1993.

El sistema integrado de gestión de las ayudas, regulado en el Reglamento (CE) nº 1782/2003, estableció el sistema de ayudas del Régimen de Pago Único, ratificando el empleo de la teledetección en los controles: “los estados miembros podrán utilizar la teledetección ... en lugar de los métodos tradicionales de control sobre el terreno”. El objetivo de la teledetección es, en este marco, realizar el control de una muestra muy amplia de parcelas acogidas a las ayudas directas de la PAC (un 5% de los expedientes), utilizando técnicas mixtas de teledetección y trabajo de campo, comprobándose: “Admisibilidad”: Uso del suelo y superficie cultivada; “Condicionalidad”: Buenas Prácticas Agrarias y Medioambientales (BCAM), y, en su caso, si procede, las Ayudas Agroambientales, establecidas como medidas complementarias, desarrolladas por los estados miembros y en España por las Comunidades Autónomas.

Estos controles se realizan sobre un conjunto de imágenes de observación de la Tierra multitemporales de alta y muy alta resolución cuyas fechas son programadas *ad hoc*, a lo largo del desarrollo fenológico de los cultivos objeto de discriminación espectral mediante técnicas combinadas de teledetección y campo, y, realizados en un periodo corto de tiempo, entre la presentación de las solicitudes por los agricultores y la fecha óptima para la realización de los controles por la Administración.

La reforma en marcha de la PAC prevista para 2014 supondrá el desarrollo de nuevas líneas y medidas de control cuyo eje central será el desarrollo sostenible de la agricultura, suponiendo un reto tecnológico muy importante para la nueva generación de satélites de observación de la Tierra (Spot 6 y Spot7, Pleiades1A y 1B, Sentinel 2, etc) que operarán en constelación, consiguiendo con ello periodos de revisita del orden de dos o tres días.

LA IMPORTANCIA DE LA TELEDETECCIÓN COMO TECNOLOGÍA DE APOYO A LA ADMINISTRACIÓN EN EL CONTROL DE LOS PROGRAMAS EUROPEOS DE AYUDAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES.

María del Rosario Escudero Barbero

TRAGSATEC- Grupo TRAGSA



2.- MARCO INSTITUCIONAL EN ESPAÑA DEL CONTROL DE AYUDAS DE LA PAC.

La base territorial del control de las ayudas en España es el SIGPAC <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/> y el Estado español, a través del FEGA (Fondo Español de Garantía Agraria) la autoridad estatal competente, para la coordinación de los controles de la PAC, cuya misión es garantizar la aplicación armonizada en el territorio nacional de la reglamentación comunitaria.

La Comisión Europea: Reglamenta la normativa de la PAC; suministra las imágenes de satélite; realiza la coordinación técnica y el control de calidad a través del Joint Research Centre (JRC) <http://mars.jrc.it/Documents/control/>

Por su parte, las CCAA gestionan el control en su territorio; seleccionan la muestra de control y suelen realizar la visita de campo a los expedientes no verificados por teledetección.

3.- DATOS DE OBSERVACIÓN DE LA TIERRA UTILIZADOS.

Imágenes de observación de la Tierra:

Se utilizan 4 fechas de imágenes de distintos sensores de alta resolución (SPOT, RapidEye, IRS Liss, etc.) de las cuales al menos una es VHR (GeoEye, QuickBird, WorldView2, etc.) de medio metro de resolución espacial.

Las fechas de captura se fijan en función de los ciclos vegetativos de los cultivos a controlar.

Otros datos necesarios son:

- SIGPAC
- Declaraciones de los agricultores
- Datos de visita a campo (clasificación de cultivos)
- Ortofoto
- Croquis de parcelas, calendarios de cultivo, etc.

LA IMPORTANCIA DE LA TELEDETECCIÓN COMO TECNOLOGÍA DE APOYO A LA ADMINISTRACIÓN EN EL CONTROL DE LOS PROGRAMAS EUROPEOS DE AYUDAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES.

María del Rosario Escudero Barbero

TRAGSATEC- Grupo TRAGSA

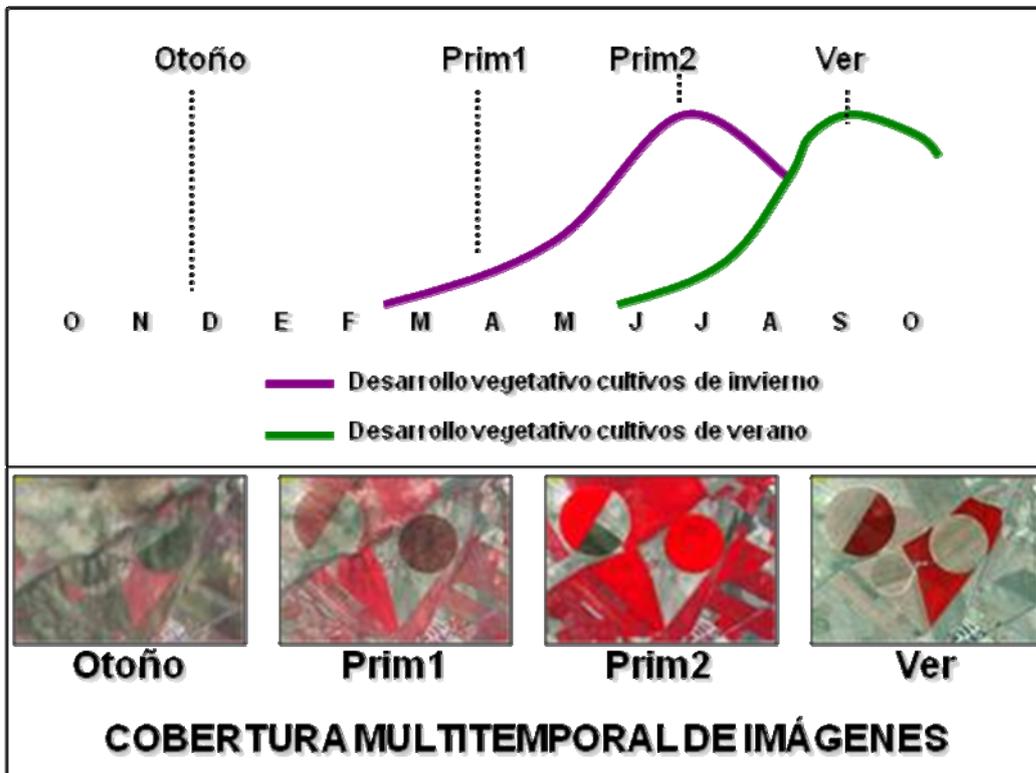


Figura 1: Datos de observación de la Tierra empleados en el Cw-RS.

4.- EL CONTROL DE LAS MEDIDAS DE ADMISIBILIDAD.

El control de las medidas de admisibilidad (uso/cultivo y superficie) se realiza entre mayo y septiembre, en un plazo de tiempo muy corto, entre la presentación de las solicitudes por los agricultores y la fecha óptima para la realización de los controles por la Administración.

Los mecanismos de control se desarrollan en dos fases:

LA IMPORTANCIA DE LA TELEDETECCIÓN COMO TECNOLOGÍA DE APOYO A LA ADMINISTRACIÓN EN EL CONTROL DE LOS PROGRAMAS EUROPEOS DE AYUDAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES.

María del Rosario Escudero Barbero

TRAGSATEC- Grupo TRAGSA



Teledetección y Sensores Medioambientales

- Control administrativo universal de los datos declarados (referencias catastrales y de superficie).
- Verificación de los usos y superficies declaradas sobre una muestra de expedientes (+- 5%). Esta verificación se hace en dos fases: primero en gabinete por teledetección, siendo verificados a continuación en campo los expedientes dudosos (visita rápida).

Los expedientes rechazados por teledetección, en su mayoría, son notificados al agricultor por las comunidades autónomas para su subsanación.

4.- EL CONTROL DE LAS MEDIDAS DE CONDICIONALIDAD.

La Condicionalidad se define como el conjunto de requisitos legales de gestión y de buenas condiciones agrarias y medioambientales (BCAM) que el agricultor y el ganadero deben cumplir para poder recibir íntegramente el pago de las ayudas directas de la PAC y/o determinadas ayudas de desarrollo rural.

Algunas de ellas son:

- Cobertura mínima del suelo
- Terrazas de retención
- Gestión de rastrojos
- Mantenimiento y protección de pastos permanentes
- Mantenimiento de los elementos estructurales
- Prohibición de arrancar olivos
- Prevención de invasión de tierras agrícolas por vegetación espontánea no deseada.

LA IMPORTANCIA DE LA TELEDETECCIÓN COMO TECNOLOGÍA DE APOYO A LA ADMINISTRACIÓN EN EL CONTROL DE LOS PROGRAMAS EUROPEOS DE AYUDAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES.

María del Rosario Escudero Barbero

TRAGSATEC- Grupo TRAGSA

Para el control de las medidas de condicionalidad se emplean las mismas imágenes que para las de admisibilidad. Las medidas se van controlando por fotointerpretación comparando la ocupación/uso observado en la ortofoto PNOA disponible contra la imagen VHR de la campaña agrícola en curso, tal y como muestra en la Figura 2.



Figura 2: Control de la medida de condicionalidad de preservar las terrazas de retención.
Izda (Ortofoto PNOA archivo), Drcha (Imagen VHR actual).

5.- AYUDAS AGROAMBIENTALES. EL CASO DEL CONTROL POR TELEDETECCIÓN DE LA INUNDACIÓN INVERNAL DE LAS PARECLAS DE ARROZ.

Las Ayudas Agroambientales, establecidas como medidas complementarias de la PAC son desarrolladas por los estados miembros y en España por las Comunidades Autónomas.

LA IMPORTANCIA DE LA TELEDETECCIÓN COMO TECNOLOGÍA DE APOYO A LA ADMINISTRACIÓN EN EL CONTROL DE LOS PROGRAMAS EUROPEOS DE AYUDAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES.

María del Rosario Escudero Barbero

TRAGSATEC- Grupo TRAGSA



Teledetección y Sensores Medioambientales

Desde el año 2001 la Generalitat Valenciana controla por teledetección la medida agroambiental para la protección de la flora y fauna en humedales aplicada a la inundación invernal de las parcelas de arroz; en aplicación de las Órdenes de 22 febrero y 26 de diciembre de 2.001 (Generalitat Valenciana). Con la Orden de junio de 2002 se establecen las Medidas Complementarias a la regulación de las mismas en la Comunidad Valenciana para el Programa 2000-2006 y de su modificación en la Orden de 21 de enero de 2008 (PDR-CV 2007-2013) en lo relativo a las medidas del “Cultivo sostenible del arroz en humedales”, para el Programa 2007-2013. El compromiso consiste en *“mantener el rastrojo y la paja del arroz al menos hasta el 1 de febrero, o mantener inundada la superficie de cultivo al menos durante 3,5 meses adicionales al cultivo, durante un periodo mínimo de 5 años”*.

Para el control de esta medida la Generalitat Valenciana analiza anualmente un conjunto de imágenes de observación de la Tierra de alta resolución, como apoyo al control administrativo de campo. El objetivo del control por teledetección es, en este caso, ahorrar a la Administración la visita de campo de octubre (inicio inundación) y orientar la visita de finales de enero a los recintos no inundados, en los que se comprueba la existencia de paja de arroz.

6.- LA REFORMA DE LA PAC A 2014.

La reforma de la PAC prevista para 2014 pero de probable aplicación en 2015, impondrá nuevos retos y aplicaciones a la teledetección. Supondrá el desarrollo de nuevas líneas y medidas de control cuyo eje central es el desarrollo sostenible de la agricultura ya que el objetivo principal de esta reforma es mantener en Europa una producción viable de alimentos, vinculada a una gestión sostenible de los recursos naturales y un desarrollo territorial equilibrado.

Se requerirá la aplicación de indicadores ambientales, que pondrán a prueba las capacidades de la nueva generación de sensores de observación de la Tierra entre los que destaca Sentinel 2 cuyo lanzamiento previsto para 2014 vendrá a coincidir con la puesta en marcha del nuevo programa de la PAC. Sentinel 2 está dotado de unas capacidades espectrales (13 bandas, frente a las 4 tradicionales) y temporales (2-3 días en latitudes medias) muy mejoradas, que se espera se adapten bien al control de las nuevas medidas PAC que pondrán énfasis en el seguimiento de los usos agrícolas, la presión sobre el agua y el suelo, y el impacto de los cambios de uso en la biodiversidad y el paisaje.

LA IMPORTANCIA DE LA TELEDETECCIÓN COMO TECNOLOGÍA DE APOYO A LA ADMINISTRACIÓN EN EL CONTROL DE LOS PROGRAMAS EUROPEOS DE AYUDAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES.

María del Rosario Escudero Barbero

TRAGSATEC- Grupo TRAGSA



ANÁLISIS AMBIENTAL DE REDES GSM-R EN ÁREAS URBANAS Y SUBURBANAS

José Javier Martínez Vázquez

Comité de Ingeniería y Desarrollo Sostenible. Instituto de la Ingeniería de España

1. INTRODUCCIÓN.

El establecimiento de la comunicación entre el personal de conducción de una circulación y el operador de tráfico simplificó muchas de las funciones de los maquinistas ferroviarios. Cuando se producía una avería, el agente de conducción tenía que bajarse de la cabina y buscar un conector de vía en el trayecto para comunicarse con algún agente de circulación mediante un aparato telefónico de batería local. Si una señal se encontraba en rojo, en el mejor de los casos, tenía que descolgar el teléfono situado en el mástil de la señal para recibir las indicaciones e instrucciones de rebase dadas por el personal de circulación.

A principios de los años 80, RENFE empezó a instalar en toda la geografía de la red ferroviaria el denominado sistema de Comunicación Tren – Tierra, conocido profesionalmente como Tren-Tierra o por las siglas TT. Hoy en día, esta herramienta de ayuda a la explotación comercial de los ferrocarriles está funcionando prácticamente en todas las líneas de ancho convencional de Adif.

El sistema Tren – Tierra además, significó un incremento notable de la seguridad en la circulación. Su instalación fue paralela al desarrollo del denominado Control de Tráfico Centralizado (CTC) y a nivel normativo, dio lugar a al bloqueo telefónico moderno entre la cabina del tren y el puesto de mando de circulación, agilizándose de forma notable la autorización para circular en un trayecto al amparo del ya citado bloqueo telefónico que originariamente se establecía entre los jefes de circulación de dos estaciones colaterales.

La aparición del estándar GSM-R y su implantación en las líneas de Adif de Alta Velocidad y las de Cercanías, supone un notable aumento de la capacidad del sistema, de un canal único a ocho canales por portadora y hasta 19 portadoras. También, se incluye la posibilidad de transmitir datos a baja velocidad 9600 bits/s ó utilizar técnicas GPRS ó EDGE para tasas de transmisión más elevadas.

Sin embargo, desde un punto de vista medioambiental la problemática que surge en las líneas de AV es muy diferente de la originada en las líneas de cercanías. De hecho,

ANÁLISIS AMBIENTAL DE REDES GSM-R EN ÁREAS URBANAS Y SUBURBANAS

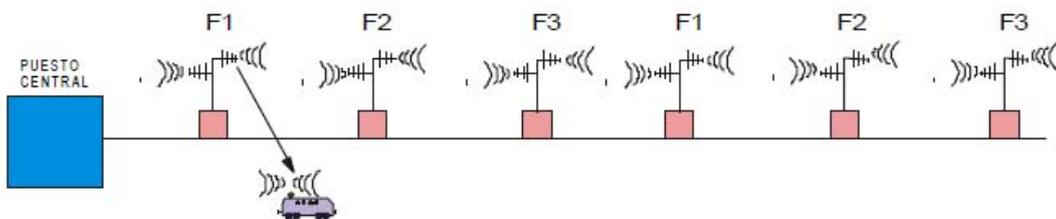
José Javier Martínez Vázquez. IIES

en el primer caso, las infraestructuras de telecomunicaciones se desarrollan y construyen en zonas rurales prácticamente en todo su recorrido, con trazados nuevos que nada tienen que ver con las líneas convencionales de Adif. En el segundo caso, se trata de áreas urbanas y suburbanas en las que ya está implantado el ferrocarril y que plantean problemas concretos, básicamente de impacto visual y de alarma social.

El estudio de estos problemas, y el paralelismo entre dos situaciones, instalación del sistema Tren-Tierra e instalación del equipamiento GSM-R, sugiere una comparación entre una y otra, con el objeto de extraer conclusiones de interés en el ámbito mediambiental.

2. LA COMUNICACIÓN TREN TIERRA.

El Tren – Tierra podría situarse en los inicios de la telefonía celular. Funciona con una serie de puestos fijos situados a lo largo de la línea férrea. Cada uno emite a una frecuencia distinta con un factor de reutilización de 3 y un margen entre frecuencias de 50 khz, configurando así el enlace descendente. El enlace ascendente siempre emplea la misma frecuencia. El canal de comunicación es único, tiene un ancho de banda de 25 khz y está gestionado por el operador de tráfico desde un puesto central. Un cuadro va cosiendo los puestos fijos su conexión en bus con el puesto central.



Desde un punto de vista medioambiental, el Tren – Tierra tiene las siguientes características de interés:

Frecuencias de funcionamiento:

Enlace descendente: 447.550 MHz y 448.650 MHz

Enlace ascendente: 457.600 y 458.600 MHz

Potencia de salida del transceptor: 6 vatios

Sistema radiante compuesto de antenas tipo yagi con polarización vertical

Mástiles de 5, 10, 15 y 20 mts soportando el sistema radiante

Puestos fijos montados sobre caseta de hormigón monobloque



Los mástiles, debido a lo liviano de las estructuras radiantes y su escasa resistencia al viento, son sencillos y ligeros, no necesitando basamentos de gran volumen, ni profundidad.

En cuanto a su localización en áreas urbanas y suburbanas podemos apuntar las siguientes diferencias con la situación actual:

En el tiempo en que se llevó a cabo su instalación no existía ningún tipo de regulación.

El equipamiento Tren-Tierra no generó ninguna alarma social durante su instalación. Hoy en día, debido a su aspecto muy diferente de los emplazamientos típicos de telefonía móvil, tampoco han presentado problemas. Actualmente, algunos de estos puestos fijos Tren – Tierra han sido literalmente engullidos por las áreas urbanas de algunas poblaciones, sin que ello haya supuesto algún problema de tipo social o medioambiental.

3. EL SISTEMA GSM-R

El sistema GSM-R es la adaptación de la segunda generación de telefonía móvil a la explotación ferroviaria. Se trata de un sistema celular digital, con una banda propia de frecuencias de utilización y una serie de aspectos funcionales específicos de ferrocarril: Llamadas de grupo y de difusión, direccionamiento por localización, numeración funcional, etc. El sistema va más allá de la mera conexión vía radio entre la máquina del tren y el operador de tráfico, abarcando otro tipo de comunicaciones necesarias para la explotación ferroviaria, por ejemplo entre el puesto de mando y el personal de seguridad civil o agentes de mantenimiento.

Cada portadora de radio GSM-R tiene un ancho de banda de 200 khz y contiene 8 canales de voz o datos. La transmisión de datos se especifica para velocidades relativamente bajas, 9600 b/s.



Las características medioambientales más destacadas del sistema son:

ANÁLISIS AMBIENTAL DE REDES GSM-R EN ÁREAS URBANAS Y SUBURBANAS

José Javier Martínez Vázquez. IIES



Frecuencia de funcionamiento:

Enlace descendente: 921-925 Mhz

Enlace ascendente: 876-880 Mhz

Potencia por transceptor: 50 vatios

Sistema radiante compuesto de antenas tipo panel

Torres de celosía o mástiles soportando el sistema radiante

Puestos fijos montados sobre caseta de hormigón panelable o armarios

La instalación de una red GSM-R en los núcleos de cercanías de Adif ha dado lugar a una evolución medioambiental de los puestos fijos, buscando un menor impacto ambiental, estructuras menos agresivas con el paisaje, así como rebajar la conflictividad social que presenta actualmente el equipamiento de telefonía móvil.

3.1. BREVE ANÁLISIS COMPARATIVO

En este apartado se hace una breve comparación de los dos sistemas, GSM-R y TT, desde el punto de vista medioambiental, resultando las siguientes consideraciones de interés:

1. En relación con las bandas de frecuencias de funcionamiento de ambos sistemas, se tiene por un lado que el nivel de referencia que contempla la regulación es más restrictivo a 450 Mhz que a 900 Mhz. De hecho, el nivel de referencia es proporcional a la frecuencia, por lo que en el caso GSM-R es el doble que en el caso Tren- Tierra.
2. Por otra parte, la frecuencia de funcionamiento menor no sólo incide en los niveles de referencia, sino también en el hecho de que al presentar pérdidas de propagación más reducidas, la distancia entre puestos fijos es mayor.
3. La potencia de emisión de un transceptor TT es de 6 vatios, mientras que la correspondiente a un transceptor GSM-R es de 50 vatios. Aún teniendo en cuenta que la potencia por canal es aproximadamente la misma ya que GSM-R

Teledetección y Sensores Medioambientales

- tiene 8 canales por transceptor, las potencias PIRE puestas en juego por los equipos tren tierra son considerablemente inferiores a las emitidas en GSM-R.
4. Debido a las bajas potencias entregadas a las antenas, los sistemas radiantes utilizados en la comunicación Tren Tierra son mucho más sencillos que los GSM-R. En la comunicación Tren- Tierra se utilizan antenas yagi con polarización vertical. En GSM-R antenas de panel para diversidad de polarización en recepción.
 5. Esto está directamente relacionado con las estructuras que sirven de soporte a los sistemas radiantes: En el caso Tren - Tierra, mástiles huecos de una sola pieza de pequeña o mediana envergadura. En el caso GSM-R, torres de celosía y mástiles que soportan esfuerzos en punta elevados.
 6. Los mástiles del sistema de comunicación tren tierra se sustentan con cimentaciones ligeras y poco profundas. Los mástiles de GSM-R y por supuesto las torres de celosía necesitan cimentaciones de gran volumen y profundidad.
 7. En los años 80 no existía ninguna regulación ambiental para la implantación de este tipo de sistemas. El equipamiento de radiocomunicaciones tampoco generaba ningún tipo de alarma social. La reglamentación medioambiental actual dimana de una directiva comunitaria cuya transposición a la legislación española dio lugar al **Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas** (RD 1066/2001).

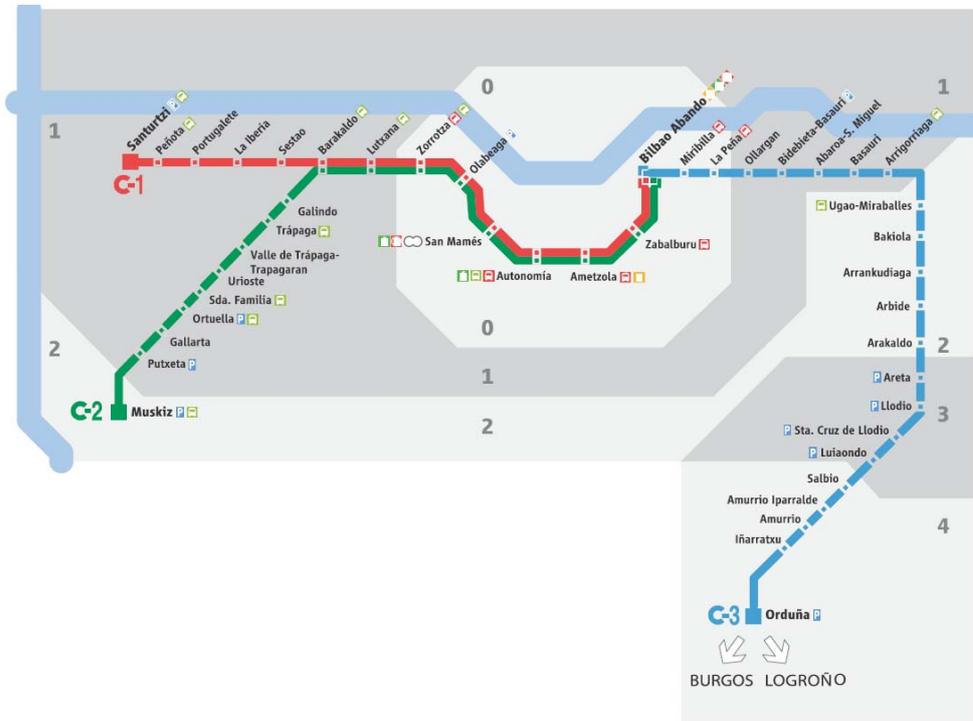
4. TELEFONÍA MÓVIL GSM-R EN NÚCLEOS DE CERCANÍAS DE ADIF

Hasta la fecha, se han puesto en funcionamiento los sistemas GSM-R de los núcleos de Cercanías de Adif de Bilbao y Santander, que estaban incluidos en un mismo proyecto, así como algunas líneas correspondientes al núcleo de Cercanías de Barcelona. Está previsto que el núcleo de Barcelona entre en funcionamiento completamente y de forma gradual durante los primeros meses del año 2013.

A lo largo de cinco años de trabajos en obras de implantación de equipos GSM-R en núcleos de Cercanías de Adif, la experiencia ha ido marcando una evolución de los aspectos medioambientales de las obras, tratando de minimizar tanto el impacto ambiental como la posible controversia social que causa este tipo de sistemas.

ANÁLISIS AMBIENTAL DE REDES GSM-R EN ÁREAS URBANAS Y SUBURBANAS

CERCANÍAS DE BILBAO



Se da cobertura a las tres líneas de cercanías del núcleo de Bilbao:

- Abando – Barakaldo - Santurce
- Abando – Barakaldo - Muskiz
- Abando – Orduña

Las estaciones base y los repetidores van montados en armarios de intemperie.

Con carácter general, los sistemas radiantes van dispuestos sobre torres de celosía tipo RENFE normalizada, adaptándose la altura de la torre a las necesidades de cobertura radioeléctrica de cada punto.



CERCANÍAS DE SANTANDER

El núcleo de cercanías de Santander tiene una sola línea de Adif, a la que se ha dado cobertura:

Santander - Reinosa

Igual que en el caso de Bilbao, las estaciones base y los repetidores van montados en armarios de intemperie. En aquellos casos en ha sido posible utilizar la infraestructura Tren-Tierra, se instalan los equipos repetidores GSM-R en casetas Tren-Tierra.

Teledetección y Sensores Medioambientales



Como en las cercanías de Bilbao, los sistemas radiantes van dispuestos sobre torres de celosía tipo RENFE normalizada, adaptándose la altura de la torre a las necesidades de cobertura radioeléctrica de cada punto.



ANÁLISIS AMBIENTAL DE REDES GSM-R EN ÁREAS URBANAS Y SUBURBANAS

CERCANÍAS DE BARCELONA



Se da cobertura radioeléctrica a las líneas de las cercanías del núcleo de Barcelona:

Hospitalet-Vic

Molins de Rei-Sants-Mataró-Massanet Massanas

Massanet Massanas-Granollers-Sants-Aeropuerto y Castelldefels

Francia-Sants

Granollers-Sants- San Vicens de Calders

Manresa- Tarrasa-Montcada-Martorell-San Vicens de Calders

Martorell-Castellbisbal-Sabadell-Granollers

Teledetección y Sensores Medioambientales

Las estaciones base van montadas sobre casetas de hormigón panelables y los repetidores van montados en armarios de intemperie. En algunos casos, se aprovechan las casetas monobloque de Tren-Tierra para albergar los equipos repetidores GSM-R.



Como norma general se ha reducido al mínimo la utilización de torres de celosía de gran similitud con las instaladas por operadores de telefonía móvil. En su lugar se levantaron mástiles de 10, 15 ó 20 metros. El impacto ambiental ha sido mucho menor.



ANÁLISIS AMBIENTAL DE REDES GSM-R EN ÁREAS URBANAS Y SUBURBANAS

José Javier Martínez Vázquez. IIES



En poblaciones del área metropolitana se han instalado mástiles de pequeña envergadura, con alturas de 10 mts e incluso menores.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con lo aquí expuesto, y en relación con los aspectos medioambientales de las redes GSM-R, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

1. En los años 80 no existía ninguna regulación ambiental para la implantación de este tipo de sistemas. El equipamiento de radiocomunicaciones tampoco generaba ningún tipo de alarma social. La reglamentación medioambiental actual dimana de una directiva comunitaria cuya transposición a la legislación española dio lugar al **Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas** (RD 1066/2001).
2. Los mástiles del sistema de comunicación tren tierra se sustentan con cimentaciones ligeras y poco profundas. Los mástiles de GSM-R y por supuesto las torres de celosía necesitan cimentaciones de gran volumen y profundidad.
3. La potencia de emisión de un transceptor TT es de 6 vatios, mientras que la correspondiente a un transceptor GSM-R es de 50 vatios. Aún teniendo en cuenta que la potencia por canal es aproximadamente la misma ya que GSM-R tiene 8 canales por transceptor, las potencias PIRE puestas en juego por los equipos tren tierra son considerablemente inferiores a las emitidas en GSM-R.
4. En relación con las bandas de frecuencias de funcionamiento de ambos sistemas, TT y GSM-R, se tiene por un lado que el nivel de referencia que contempla la regulación es más restrictivo a 450 Mhz que a 900 Mhz.
5. Por otra parte, la frecuencia de funcionamiento menor no sólo incide en los niveles de referencia, sino también en el hecho de que al presentar pérdidas de propagación más reducidas, la distancia entre puestos fijos es mayor.
6. La utilización de mástiles, en lugar de torres de celosía, reduce en gran medida el impacto ambiental del equipamiento GSM-R. Con alturas menores o iguales a 15 metros los emplazamientos pueden quedar mimetizados en el entorno ferroviario.