

**I JORNADAS DE
INTRODUCCIÓN A LA
INVESTIGACIÓN
DE LA UPCT**

MAYO 2008



Director de la Revista
Gaspar Pedreño López

Coordinadora Jornadas
Maliko Tanguy

Comité Organizador Jornadas

Belén Gallego Elvira
Juan Diego Giraldo Osorio
Zaida Hernández Guillén
Juan Pedro Muñoz Gea
Gaspar Pedreño López
Pedro Antonio Robles Sánchez
Maliko Tanguy
Alejandro Tomás Callejas

Imprime

Editorial Aglaya
C/ Zagreb, parc. 14-15
30353 Cartagena
www.editorialaglaya.com

ISSN 1888-8356
Depósito Legal: Mu-1618-2008

Impreso en España
Printed in Spain

Mayo 2008

sumario

- 2 Editorial
- 3 Saluda ETSIA
- 4 Saluda ETSIT

Investigación ETSIT

- 6 Desarrollo de aplicaciones Domóticas dirigido por modelos
- 9 Estudio comparativo de modelos de simulación para canal físico 802.16
- 12 Estudio de la Cabeza Humana como Cavidad Resonante
- 16 Regresión Local por Mínimos Cuadrados para Estimación Eficiente de Datos Incompletos
- 19 Nuevo Algoritmo de Control de Flujo para el interfaz lub en HSDPA
- 23 Sistemas P2P de *Streaming* de Vídeo

Investigación ETSIA

- 26 Evaluación de las pérdidas por evaporación en embalses de riego de la cuenca del Segura
- 29 Proliferaciones de algas tóxicas *Harmful Algal Blooms* (HABs)
- 32 ¿Influye el movimiento de las cadenas poliméricas de PEDOT en su cinética de oxidación?
- 35 Estudio comparativo de algoritmos para estimar la evapotranspiración a partir de información satelital (MODIS)
- 38 Investigación en contaminación atmosférica en Cartagena: Aerobiología y Toxicología Ambiental y Química del Medio Ambiente

Editorial



En nombre de todos los miembros de la junta directiva de la Asociación de Jóvenes Investigadores de Cartagena (AJICT) os queremos dar la bienvenida a las primeras Jornadas de Introducción a la Investigación de la UPCT. Desde la constitución de la AJICT en Diciembre del pasado año, éste fue uno de los principales objetivos marcados para 2008: la celebración de unas jornadas de investigación dentro de nuestra Universidad. La motivación era doble, por un lado, poder mostrar a la comunidad universitaria el desconocido trabajo que día a día realizan los jóvenes becarios y contratados de la UPCT y, por otro, dar a conocer e informar a los estudiantes de esta universidad sobre las distintas posibilidades que existen para acceder al mundo de la investigación.

Desde aquel primer momento en que se gestó la idea de estas jornadas llamamos a muchas puertas, unas se abrieron y otras no. Es por ello que debemos estar infinitamente agradecidos a las dos escuelas que se han volcado con nosotros, ETSIT e ETSIA, a la propia universidad así como al resto de patrocinadores que han hecho posible este evento. En concreto, y, a título personal, quisiera dar las gracias por el apoyo y ánimo que nos brindaron desde un primer momento al director de la ETSIT D. Joan García Haro, al subdirector de la misma D. José Luis Gómez Tornero, al director de la ETSIA D. Pablo Bielza Lino y a los Vicerrectores de Estudiantes e Investigación, D. Francisco Martínez González y D. José Antonio Franco Leemhuis respectivamente.

Dentro de estas jornadas, tendrán lugar un conjunto de conferencias y mesas de debate sobre cuestiones directamente relacionadas con el mundo de la investigación. Dichas conferencias y mesas redondas contarán con la presencia de los distintos agentes implicados en la investigación: políticos, académicos, miembros de la Federación nacional de Jóvenes Investigadores, entre otros. Así mismo, está prevista la asistencia de varios medios de comunicación de carácter autonómico.

En lo que a la revista respecta, los artículos aquí publicados representan una muestra muy interesante de la actividad investigadora llevada a cabo en ésta, nuestra universidad. Los trabajos realizados abarcan una temática muy amplia desde la ingeniería agronómica a la de telecomunicaciones pasando también por la ingeniería industrial. Artículos que se verán complementados con una exposición oral realizada por sus respectivos autores durante la celebración de las jornadas así como con una sesión de posters.

Esperemos que año tras año estas jornadas vayan ganando protagonismo y se conviertan en una cita obligada y asentada en nuestra universidad. De nuevo, gracias a todos los que habéis hecho posible la realización de estas jornadas.

Gaspar Pedreño López
Director de la Revista

Saluda ETSIA

Estimados compañeros y alumnos de la UPCT:

Como Profesor de nuestra Universidad y Director de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (ETSIA) me es especialmente grato daros la bienvenida a estas I Jornadas de Introducción a la Investigación de la UPCT.

La ETSIA es el centro de la UPCT con mayor actividad investigadora, con grupos de I+D consolidados con gran prestigio nacional e internacional. La ETSIA, un centro pequeño, ha generado el 37,3% de la producción científica de la UPCT en el período 1999-2005, siendo el centro con mayor actividad científica (Fundación Séneca, 2007). Además, si se considerara este valor en términos relativos por profesor estamos en rangos muy altos. Considerando sólo los Proyectos de I+D del Plan Nacional, la ETSIA ha conseguido el 47% de la financiación en proyectos de investigación de toda la UPCT (MEC, 2008).

Como se deduce de estos datos, la ETSIA además de ser un centro con una gran dedicación docente, como se desprende de la alta valoración que dan los alumnos en las encuestas de calidad docente, es un centro con una gran vocación investigadora. De hecho entiendo que la Universidad debe impartir conocimiento que es capaz de producir, por su doble función indisoluble de transmisora y generadora de conocimiento. Por tanto la calidad docente es consecuencia de la calidad científica.

No es casualidad que el embrión de las Jornadas que aquí se presentan haya sido unas I Jornadas de Introducción a la Investigación de la ETSIA, que se celebraron el año pasado en nuestra Escuela. La valiosísima iniciativa de un grupo de becarios y contratados de investigación de crear la Asociación de Jóvenes Investigadores de Cartagena (AJICT) ha sido apoyada con entusiasmo desde un principio por la Dirección de la ETSIA. Por ello, consideramos un gran acierto ceder la organización de estas Jornadas, que probablemente harán mucho mejor, además de extenderse a todo el ámbito de investigación de la UPCT.

Estas Jornadas suponen una notable oportunidad para que los alumnos (y también los profesores) conozcan las actividades de investigación que desarrollan los Grupos de I+D de nuestra Universidad. Además es un buen foro para conocer en qué consiste la investigación y poder descubrir la vocación científica. Es una labor no exenta de esfuerzo y mucho trabajo, pero enormemente gratificadora, siendo como es la vía de descubrir y conocer mejor este universo maravilloso que nos ha dado Dios, para el bien y el progreso de toda la humanidad.

Por último mi sincero reconocimiento a los integrantes de la AJICT por su esmerada labor de organización de estas I Jornadas de Introducción a la Investigación de la UPCT. Mi enhorabuena.

Recibid todos los participantes un afectuoso saludo.



Pablo Bielza Lino
Director de la ETSIA

Saluda ETSIT



José Luis Gómez Tornero
Subdirector de Alumnos
y Ordenación Académica
de la ETSIT

El 30 de mayo del 2008 se celebran por primera vez en nuestra Universidad las Jornadas de Introducción a la Investigación de la UPCT, a las cuales acudieron diferentes Grupos de Investigación de nuestra Universidad, así como representantes de fundaciones, federaciones, centros de investigación y parques tecnológicos de nuestra Región.

El objetivo fundamental de estas jornadas es doble. Por un lado se ha intentado dar a conocer a la comunidad universitaria las iniciativas y los trabajos de investigación que se están desarrollando en nuestra universidad. Este primer objetivo responde a la necesidad real e imperiosa de vencer la falta de información que a veces existe entre los grupos de investigación y entre nuestros alumnos y profesores. Es paradójico (más aún en el seno de una Escuela de Tele-Comunicaciones) que en muchas ocasiones los investigadores de un grupo de investigación no conozcamos qué están haciendo otros grupos de investigación de nuestra Universidad, por no hablar del desconocimiento que suele existir entre los alumnos. Por otro lado es comprensible, ya que los investigadores solemos estar inmersos en una pila interminable de tareas, reuniones, artículos y experimentos, que rara vez dejan que nos alejemos un poco de estas tareas y así poder tener la perspectiva necesaria para ver qué hacen nuestros compañeros del laboratorio de al lado. Por otra parte, los alumnos suelen estar centrados (como debe ser) en las clases, las prácticas y los exámenes, y es normal que pierdan la gran oportunidad de descubrir qué hacen los profesores que les imparten clase en su otra faceta, que es la de investigador. Y es una gran pena, porque la mayoría de los docentes de la UPCT son también investigadores, y además muy competentes, lo que les distingue de otras Universidades, como algunas privadas, cuya labor es eminentemente académica. Es necesario por tanto, que nuestros alumnos, profesores e investigadores se comuniquen mejor, y en este sentido estas jornadas suponen un vehículo excepcional.

El segundo objetivo de estas jornadas es si cabe aún más necesario y profundo, y por ello también más complicado y ambicioso. Se trata de fomentar el interés por la investigación entre los más jóvenes, entre nuestros alumnos. Inherentemente, este objetivo-deseo va unido a otro: que los jóvenes que acaban de comenzar su carrera investigadora sean conscientes de la importancia del trabajo que realizan, del potencial y las habilidades que pueden desarrollar, y por qué no decirlo, de la inmensa suerte de contar con unas instalaciones y un entorno como en el que nos encontramos en estos momentos. Estos dos puntos son más humanos y menos técnicos que el primer objetivo, que era una descripción de las líneas de investigación que se realizan en la UPCT. Y aunque estamos en una Universidad Poli-Técnica, debemos ser conscientes que el avance y el desarrollo de la tecnología y la técnica, cuya herramienta es la investigación, no pueden existir sin un motor profundo y de valor incalculable: la ilusión, el esfuerzo y la creatividad. Fomentar la ilusión por investigar es un punto clave para que la investigación siga existiendo. Sin embargo, diferentes organismos e instituciones estatales y europeas están detectando entre los más jóvenes una pérdida de interés por la Ciencia y la Investigación, que se refleja por ejemplo, en el descenso de la matrícula en las carreras científicas y de Ingeniería. No se acierta a comprender el motivo de esta pérdida de interés por algo tan fascinante como conocer, descubrir y tratar de explicar el mundo que nos rodea, más aún entre gente llena de energía y vida como los jóvenes, que son los que determinarán el futuro de las próximas generaciones. Quizás haya que buscar la razón de esa falta de interés en el periodo de bonanza económica que hemos vivido en los últimos años, y que se ha basado en cierta medida en el mundo de la especulación y el oportunismo, tan alejados del camino de esfuerzo y creatividad de la investigación. Desde este punto de vista igual resulta algo positivo de las crisis económicas, y que quizás nos recuerden que no se debe vender humo, y que las grandes ideas surgen de las ne-

cesidades reales y del esfuerzo diario, y no del éxito momentáneo (aunque de todo ha habido en la Historia de la Ciencia). Sea como fuere, es deber de los que vivimos de, para y por la docencia y la investigación, intentar transmitirnos qué nos hizo a nosotros dejarnos llevar por este mundo, las ventajas y los alicientes de la investigación, así como los problemas reales que existen en la vida del investigador y los muchos retos que quedan aún por resolver para hacer de esta carrera una profesión más digna.

Es ésta quizás la gran aportación de estas jornadas; el transmitir a los más jóvenes cómo es el mundo de la Investigación en la UPCT, a qué se dedican los investigadores, cuál es su estilo de vida (porque ser un investigador es más un estilo de vida que un trabajo), qué proceso o camino ha seguido cada uno para ser investigador, y cuáles son las expectativas y las salidas profesionales de nuestros investigadores. Todas estas cuestiones responden a una inquietud legítima, sobre todo entre los alumnos que están acabando su carrera y deben decidir hacia dónde seguir, siendo una opción la de comenzar una carrera investigadora. Creemos que en este sentido la iniciativa tomada por la AJICT (Asociación de Jóvenes Investigadores de Cartagena) es acertada y necesaria, y desde la Dirección de la ETSIT les felicitamos y les agradecemos el esfuerzo y la dedicación que han puesto para preparar este evento. En concreto, agradecemos el empeño mostrado por el comité organizador de estas jornadas y miembros directivos de la AJICT; seguro que en un tiempo corto todos observaremos la importancia y la trascendencia de estas jornadas que tan brillantemente han organizado.

Dentro de esta labor de dar a conocer la investigación de la UPCT, también queremos expresar nuestro agradecimiento a la OTRI (Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación), de la UPCT, que ha apoyado en todo momento estas jornadas. Sin duda alguna, la OTRI es un elemento vital para disminuir las distancias que aún separan Universidad, Sociedad y Empresa, como así lo está demostrando en sus pocos pero intensos años de existencia en nuestra UPCT.

Para finalizar queremos recordar a todos los jóvenes investigadores, que jamás deben perder la visión de divulgación como parte esencial de la investigación. En la divulgación se funden investigación, docencia y Sociedad, dando a conocer al público general, y usando un lenguaje llano y accesible (sin perder el rigor científico), cuáles son los objetivos, los resultados y las líneas futuras de nuestras investigaciones. No caigáis en encerraros en vuestros laboratorios ni perdáis el fin último de la ciencia, que es el conocimiento Universal en sus dos vertientes: por un lado conocer todo el Universo que nos rodea, y por otro dar este conocimiento a todo el Universo y personas que también nos rodea. La humildad, la cercanía, y el compartir conocimientos y resultados con todas las personas (desde el compañero de laboratorio hasta el abuelo que hace preguntas y no ha perdido la curiosidad por los avances científicos y tecnológicos), son valores seguros que os harán mejores investigadores y mejores personas.

Deseando que estas jornadas sean el inicio de una tradición en nuestra joven pero emprendedora Universidad, os damos la enhorabuena por el éxito conseguido (a día de la escritura de esta editorial el número de asistentes que se han apuntado supera los doscientos) y os mandamos un cariñoso saludo a todos los lectores de esta publicación.

José Luis y Joan



Joan García Haro
Director de la ETSIT

sistemática y reiterada los modelos a lo largo de todo el ciclo de vida de desarrollo del software. El uso de modelos permite aumentar el nivel de abstracción con que se realizan los diseños así como el nivel de reutilización de los mismos. Además, la utilización del enfoque MDE facilita la comunicación de ideas ya que éstas se pueden expresar de manera explícita (por lo general utilizando una notación gráfica asociada a los conceptos que se modelan) y no diluidas entre interminables líneas de código.

Dado que MDD solamente aporta un enfoque se hace necesario el uso de una arquitectura que implemente dicho enfoque. La *Arquitectura Dirigida por Modelos* (MDA) [44] es una de las propuestas de mayor interés en el desarrollo de software dirigido por modelos. MDA es la propuesta promovida por el consorcio Object Management Group (OMG). MDA propone que los sistemas software sean generados directamente a partir de modelos, la idea clave que subyace a MDA es que si el desarrollo está guiado por los modelos del software, se obtendrán beneficios importantes en aspectos fundamentales como son la productividad, la portabilidad, la interoperabilidad y el mantenimiento.

Para este fin, el marco de trabajo MDA especifica tres niveles de abstracción que proporciona tres puntos de vista diferentes, estos niveles son:

- Nivel **CIM**, nivel de modelos independientes de computación. Es el nivel de mayor abstracción y se centra en el dominio del sistema así como en sus requisitos específicos.
- Nivel **PIM**, nivel de modelos independientes de la plataforma. Este nivel de abstracción intermedio proporciona una descripción de la funcionalidad del sistema de forma independiente de la plataforma de implementación.
- Nivel **PSM**, nivel de modelos específicos de la plataforma. Es el nivel de menor abstracción, en el se define el sistema en términos de una plataforma específica.

De esta manera la división en distintos niveles de abstracción permite abordar el desarrollo de software desde distintos puntos de vista independientes, minimizando la complejidad del problema inicial.

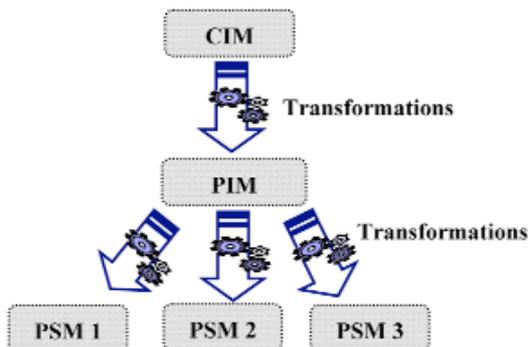


Figura 1: Niveles de abstracción MDA.

Existe una estrecha relación entre los diferentes modelos construidos en MDA. Los modelos más abstractos son la base para la construcción de los modelos específicos así como los modelos específicos son los que soportan los modelos de un nivel de abstracción menor (ver Figura1). Esta relación es representada en esta arquitectura por las transformaciones entre modelos, las cuales constituyen una de las características fundamentales de este enfoque.

Las **transformaciones** de modelos permiten pasar de un modelo origen a otro destino, de forma horizontal si pertenecen a un mismo nivel de abstracción o de forma vertical si son de distintos niveles (ver Figura1) de modo que se puede obtener un modelo PIM a partir de un modelo CIM, por ejemplo. Por último MDA permite obtener de forma automática o casi automática el código de la implementación del sistema con el uso de transformaciones modelo a texto.

Gracias a este enfoque de modelado dividido en niveles de abstracción se consigue dividir la complejidad, de modo que el usuario final puede trabajar a un alto nivel de abstracción de forma independiente al resto del desarrollo.

La metodología propuesta satisface tanto requisitos propios del enfoque MDE-MDA como las necesidades propias del dominio domótico, de modo que cumple los siguientes requisitos:

- Permitir especificar un sistema domótico utilizando **primitivas conceptuales adecuadas** que permitan capturar los requisitos a un nivel de gran abstracción, disminuyendo la complejidad del sistema.
- **Posibilidad de diseñar nuevos dispositivos**, de forma que no sea necesario seleccionar la infraestructura en las primeras etapas de desarrollo.
- Permitir **reutilizar** los elementos proporcionados en un **catálogo** de elementos preexistentes.
- Soporte completo al ciclo de vida de desarrollo, desde la captura de requisitos hasta la obtención de la implementación del sistema.
- Aumentar la calidad del software y la productividad.

Con este planteamiento se ha adoptado la metodología que viene representada en la Figura 2.

Esta metodología comienza con la captura de requisitos a un alto nivel de abstracción (parte superior figura 2). Para ello el nivel de origen es el **CIM** (Modelo Independiente de Computación) con el que se modelan los requisitos del sistema, describiendo la situación en que será usado el sistema, sirviendo tanto como ayuda para entender el problema como una base de vocabulario para usar en los demás modelos.

La captura de los requisitos iniciales del sistema se produce a través de la especificación de **lenguajes de modelado** cuya sintaxis abstracta es definida por **metamodelos**. En esta metodología resulta más interesante utilizar *Lenguajes Específicos de Dominio* (DSL) particularizados para el dominio domótico que permita formalizar modelos con mayor grado de expresividad proporcionando unas primitivas más próximas al dominio del problema. Este DSL (parte superior izquierda de la figura 2), permite integrar en el modelado tanto elementos pre-existentes en el mercado (recogidos en un catálogo de elementos domóticos) como nuevos elementos.

En un nivel de abstracción intermedio (**PIM: Modelo Independiente de la Plataforma**) se define la funcionalidad del sistema manteniendo los requisitos de forma independiente de la plataforma. Para llevar a cabo esta tarea se utilizará V3Studio [5], una herramienta para el diseño de sistemas basados en componentes siguiendo un enfoque dirigido por modelos que permite especificar la funcionalidad del sistema mediante el modelado de componentes, máquinas de estado y diagramas de actividad

Por último, en el nivel de menor abstracción, el nivel **PSM (Modelo específico de la Plataforma)** se seleccionará la plataforma/as de implementación y se obtendrá el código final ejecutable. De esta forma se obtendría por ejemplo para EIB/KNX [6] la implementación del sistema de forma automática o casi automática, pudiéndose retocar con la herramienta propia de EIB/KNX.

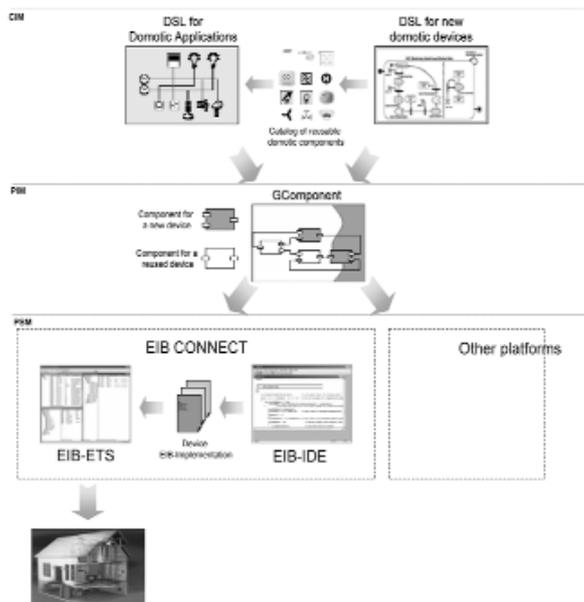


Figura 2: Metodología propuesta.

3. Conclusiones

En este artículo se ha presentado una metodología basada en el enfoque dirigido por modelos como alternativa para resolver los problemas encontrados en el desarrollo tradicional de software para sistemas domóticos.

Las implementaciones se adaptan a los cambios y facilitan su integración con otros sistemas. Además, se proporciona la abstracción necesaria para representar sistemas de una forma mucho más sencilla e intuitiva gracias al uso de lenguajes específicos del dominio domótico, por lo que el nivel de especialización requerido por el usuario no resulta tan elevado.

Por otro lado se favorece la validación en fases tempranas del desarrollo, ahorrando recursos tanto temporales como materiales y evitando errores en la implementación final.

Gracias a la incorporación de un catálogo de funcionalidades pre-existentes se aumenta la reutilización y la flexibilidad. La interoperabilidad deja de ser un problema gracias a la posibilidad de modelar nuevos dispositivos en un nivel de abstracción CIM de forma totalmente independiente a la tecnología de implantación final.

Como el proceso de desarrollo es independiente de las tecnologías utilizadas para la implementación del sistema final, se puede facilitar la validación en las primeras etapas del desarrollo.

En definitiva esta metodología contribuye a la evolución de los sistemas domóticos simplificando notablemente el proceso de desarrollo, proporcionando primitivas intuitivas, aumentando el nivel de abstracción, reduciendo la complejidad y aumenta la calidad y productividad del software obtenido.

4. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el gobierno español (CICYT, TIN2006-15175-C05-02) y el gobierno regional de Murcia (Programa Séneca).

Referencias

- [1] Ian Sommerville, "Ingeniería de Software.", 7ª Edición, Pearson, Addison Wesley, Madrid, 2005.
- [2] Carlos Fernández, Ignacio R. Matías, "El proyecto domótico. Metodología para la elaboración de proyectos y aplicaciones domóticas.". España, 2004.
- [1] Bran Selic, "The Pragmatics of Model-Driven Development". IEEE Software, 20(5):46-51, September/October 2003.
- [4] J. Miller, J. Mukerji, "MDA Guide Version 1.0.1.", OMG, 2003.
- [5] Diego Alonso, Cristina Vicente-Chicote, "V3Studio: Un entorno gráfico para el diseño de sistemas basados en componentes siguiendo un enfoque dirigido por modelos". JISBD 2007.
- [6] KNX standard disponible en <http://www.knx.org/knx-standard/introduction/>

Estudio comparativo de modelos de simulación para canal físico 802.16

Sergio Almagro-Carrión, Fernando Cerdan, Juan J. Alcaraz, Joan García-Haro
 Dpto. Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
 Universidad Politécnica de Cartagena
 Campus Muralla de Mar. Edificio C/Dr. Fleming s/n.
 30202 Cartagena
 Teléfono: 968325368 Fax: 968 32 5338
 E-mail: {sergio.almagro, fernando.cerdan, juan.alcaraz, joang.haro}@upct.es

Resumen. *Los modelos de simulación son herramientas clave dentro de la evaluación de prestaciones en los sistemas de comunicación actuales. Asimismo, para valorar las mejoras introducidas en el proceso de optimización, hay que tener en cuenta la información acerca de los efectos introducidos en el sistema. Para Wimax y otros estándares inalámbricos, la calidad de una simulación depende especialmente de las particularidades en el modelado a nivel de enlace. El presente documento resume las aproximaciones más destacadas en la bibliografía científica actual en referencia al modelado de la capa física 802.16e-2005, identificando las más adecuadas para simulaciones enfocadas a caracterización del sistema Wimax a nivel TCP/IP.*

1 Introducción

Las tecnologías inalámbricas de acceso móvil se esfuerzan en explotar el mercado de los servicios de banda ancha. La velocidad, la calidad de servicio y la reducción de costes son factores clave en el negocio de los servicios emergentes.

Las características que diferencian a la tecnología Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) de otras aplicables en su mismo ámbito se encuentran fundamentalmente en la capa física. A ese nivel, hay numerosos modelos predictivos aproximados para el comportamiento de los canales radio. En general, todos buscan reflejar el comportamiento del sistema ante un canal variante en el dominio frecuencial y temporal.

La dificultad estriba en la elección del modelo óptimo para cada caso de estudio, teniendo en cuenta cómo influyen las mejoras que aportan los mecanismos introducidos por esta tecnología. Se persigue un claro objetivo: caracterizar el sistema mediante el menor conjunto posible de parámetros y variables.

2 Características de nivel físico

La capa física de Wimax Mobile está basada en el estándar 802.16e-2005 [1], que hereda parte de sus características de otras tecnologías inalámbricas como Wi-Fi.

La capa física puede resumirse en una serie de bloques, que son: aleatorizador, correctores de errores (FEC), separador y el bloque de modulación y transmisión al canal (fig.1).

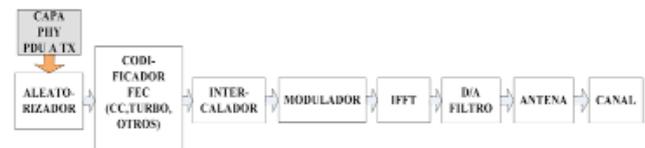


Fig. 1 Bloques de la capa física en transmisor.

Primero, el bloque aleatorizador cifra el flujo de datos a transmitir y los códigos correctores de errores introducen redundancia reduciendo la probabilidad de error. Tras ello, el intercalador entremezcla símbolos de diferentes PDU's con objeto de minimizar errores de ráfaga. Finalmente, la información alcanza al bloque modulador y se envía al canal. En el receptor se invierten los efectos de cada bloque anterior.

2.1 Efectos del canal

El canal introduce una serie de efectos no deseables que hay que tener en cuenta a la hora de modelarlo. Entre estos se incluyen las pérdidas de trayecto, multicamino, el fenómeno de ensombrecimiento, los desvanecimientos, la dispersión temporal, ruidos e interferencias provenientes de estaciones adyacentes. Además debido a la movilidad, aparecen desplazamientos de frecuencia y una alta variabilidad temporal del canal radio causadas por el desplazamiento del usuario.

No todos los efectos son mitigados por los mecanismos de la estación base (BS). En especial, los desvanecimientos rápidos y los derivados de la movilidad de la estación móvil (MS) tienen efectos perniciosos en la calidad de la señal. Por lo tanto, deben tenerse muy en cuenta en una simulación.

2.2 Medidas de compensación

La introducción de modulaciones, estimación de canal y ecualización avanzadas permite reducir el impacto de un buen número de efectos en el canal. Destacan como principales las siguientes:

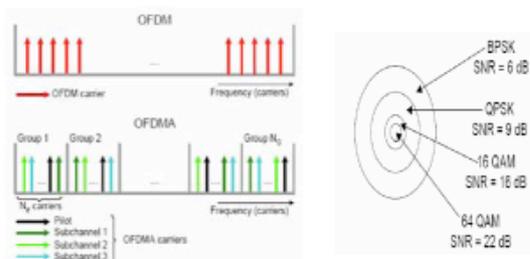


Fig. 2 Modulación adaptativa ortogonal OFDM.

OFDM adaptativa: Diseñada para evitar el comportamiento dispersivo del canal. Divide la señal de banda ancha en subportadoras de periodo suficiente como para evitar que haya interferencia intersimbólica (ISI) (fig2, izda.). Cada subportadora adapta la modulación según la SNR en el canal. Wimax utiliza 4 técnicas (BPSK, QPSK, QAM16, QAM64) que varían en robustez y eficiencia espectral (fig2, dcha.).

Códigos convolucionales adaptativos: Introducen bits redundantes en una secuencia digital para proporcionar una corrección de errores. Son obligatorios los Reed Solomon (RS) y opcionalmente los códigos turbo convolucionales (CTC).

Otras técnicas: Wimax además cuenta con técnicas de diversidad espaciales como MIMO, y la codificación espacio temporal STC permiten compensar efectos del desvanecimiento. Estas no son obligatorias en el estándar.

3 Modelos de simulación

Todo modelo de nivel físico, debe estar provisto de una interfaz entre éste y los mecanismos de capas superiores como p.ej H-ARQ. La mayoría de los autores resumen el comportamiento de este nivel mediante dos parámetros: la tasa de error a nivel de bit (BER), y la de bloque (BLER o PER). Ambos se expresan en función de SNR.

3.1 Estimación del canal: SNR

Numerosos estudios han analizado estos efectos con objeto de elaborar modelos predictivos para estimar la intensidad de la señal recibida. En ellos se tienen en cuenta efectos de la propagación tanto a gran escala como los desvanecimientos a pequeña escala. Los primeros predicen las atenuaciones que varían lentamente en el espacio y tiempo, mientras que los segundos predicen cambios en la intensidad de la señal en distancias de unas pocas longitudes de onda. La fig. 3 muestra cada uno de los efectos.

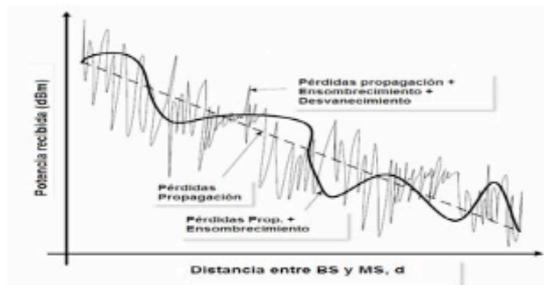


Fig. 3 Efectos del canal en la intensidad de la señal

El autor de [2] establece un criterio según el cual divide los modelos en dos clases: teóricos y empíricos.

Los modelos teóricos se clasifican en deterministas y estadísticos. Su ventaja es que son aplicables a un margen amplio de entornos, especialmente a efectos a gran escala. Su desventaja es la alta complejidad y coste computacional a la hora de relacionar los fenómenos con parámetros prácticos como p.ej. la altura de una antena.

La solución a dicho problema la tienen los modelos estadísticos. Estos son utilizados para estimaciones de desvanecimientos, p.ej. Ricean [3] para entornos LOS y Rayleigh [4] para entornos NLOS.

El modelo Rayleigh predice la intensidad de la envolvente que forman los múltiples rebotes de señal recibidas. Este modelo supone un alto número de rebotes de la señal transmitida sin correlación entre ellos. En este modelo, la intensidad de la señal sigue una f.d.p. de tipo Rayleigh (1):

$$f_{|r|}(x) = \frac{2x}{P_r} e^{-x^2/P_r}, \quad x \geq 0, \quad (1)$$

Donde x es la distancia y P_r es la potencia media recibida considerando los efectos de ensombrecimiento y pérdidas de propagación, abordados más adelante.

Otro efecto del canal a considerar por un modelo es el cálculo de las variaciones de potencia a consecuencia de desplazamientos de la frecuencia Doppler. Modelos como el de Jake [5] o el de Clarke [6] abordan un canal Rayleigh introduciendo el efecto de selectividad frecuencial considerando rebotes multicamino distribuidos uniformemente.

Por otro lado, encontramos los *modelos empíricos*. Su ventaja está en que reflejan la influencia de parámetros más prácticos en la señal recibida. Su desventaja es que no son generalizables. No obstante, tanto [7] como [8] corroboran que modelos como el de Walden [9] sirven como referencia a la predicción de la propagación en canales Wimax. Otro ejemplo de modelos empíricos es el modelo 3GPP [10].

Una alternativa muy utilizada son los *modelos semi-empíricos*, que aproximan de forma bastante precisa el comportamiento del canal con respecto a parámetros prácticos, y cuyo coste computacional es inferior a los estadísticos y deterministas.

Dentro de este grupo podemos encontrar los 3GPP2 [11] y los seis modelos SUI de la universidad de Standford [12].

3.2 Modelado del BER.

El cálculo de este parámetro depende, además de la anterior estimación de la SNR, del esquema de modulación elegido, de la técnica OFDM y de las ganancias obtenidas por elementos de diversidad espacial.

Diversos textos como [13] admiten una relajación en la consideración de canal variante, tomando un canal constante al menos durante la transmisión de una trama (block fading). Esto permite abordar el modelo con cadenas de Markov de j estados finitos definidos entre dos umbrales de SNR (A_j, A_{j+1}), donde la probabilidad de estar en una región SNR [13] viene dada por:

$$\pi_i = p(\gamma \in R_j) = p(A_j \leq \gamma < A_{j+1}). \quad (3)$$

y el BER medio se extrae de (4):

$$\bar{P} = \sum_{j=1}^n \pi_j \cdot P(\bar{\gamma}_j) \quad \text{con} \quad \bar{\gamma}_j = \frac{\int_{A_j}^{A_{j+1}} \gamma \cdot f(\gamma) d\gamma}{\pi_j} \quad (4)$$

Donde γ es la envolvente de la señal desvanecida, $f(\gamma)$ la probabilidad asociada a ese valor y $\bar{\gamma}_j$ el valor medio de la envolvente para la región j -ésima.

El resultado no es del todo extrapolable al caso de 802.16e, dado que los mecanismos de la capa física tienen un efecto claro en el BER y en el BLER conjuntamente [8], lo que exige una simulación para obtener las curvas SNR – BER.

3.3 Relación entre BLER y BER

Es común considerar una distribución i.i.d. de errores de bits, con lo que la relación entre el BLER y el BER resultaría de tipo binomial. Sin embargo, a la hora de obtener la probabilidad de descarte de la trama entra en juego un decisor (decodificador tipo Viterbi* en receptor) y la capacidad de corrección de los códigos convolucionales. Autores como [13] inciden en que dicho cálculo del BLER es inadecuado, y proponen un estimador distinto, que no supone uniforme la distribución de los errores y contempla errores internos de los decodificadores.

En [8] se asume la anterior suposición de que existe una correlación entre bits y se lleva a cabo la

estimación mediante curvas obtenidas a partir de simulaciones en Matlab.

4 Conclusiones

En este artículo se presentan los factores a considerar y modelos válidos de un simulación a nivel físico Wimax. Finalmente, se considera como la opción más razonable la de utilizar un modelo mixto de canal Rayleigh o semiempírico SUI, complementado con datos de simulaciones para aproximar el BLER en diferentes escenarios.

5 Agradecimientos

TIC-TEC 07/02-0002 (PLEDAX), Fundación Séneca y al "programa de becas asociadas a la realización de proyectos en I+D, innovación y transferencia de tecnología 2007", de la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la RM".

6. Referencias

- [1] IEEE. 802.16e ieee "Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands", 2005.
- [2] Andrews, Jeffrey; Ghosh, Arunabha; Muhamed, Rias. *Fundamentals of Wimax*. Prentice Hall. ISBN: 0132225522. 2007.
- [3] S. O. Rice. *Statistical properties of a sine wave plus random noise*. *Bell Systems Technical Journal*, 27:109–157, 1948.
- [4] Carruthers, Robert Ward. *Improved Markov chain modeling of the Rayleigh fading channel*. (2007).
- [5] Jake W C, "Microwave Communication", Jone Wiley, 1974.
- [6] "T.S. Rappaport, Wireless Communications", Prentice Hall, 2002
- [7] Rial, Alvaro Valcarce, et al. "Empirical propagation model for WiMAX at 3.5 GHz in an urban environment." *Microwave and optical technology letters*, 2008
- [8] Betancur, L., Hincapie, R.C., and Bustamante, R. "WiMAX Channel - PHY Model in NS2" ACM International Conference Proceeding Series. (2006).
- [9] M. Frank J. Rowsell. "Urban propagation measurements and statistical path loss model at 3.5 Ghz". IEEE AP-S International Symposium and USNC/URSI National Radio Science Meeting, 2005.
- [10] 3GPP TS 25.201, "Physical Layer-General Description".
- [11] 3GPP2 C.R1002-0, CDMA2000 Evaluation Methodology, 2004
- [12] IEEE 802.16.3c00/49r2. *Interim Channel Models for G2 MMDS Fixed Wireless Applications*. IEEE 802.16 Working Group.2000. 13p.
- [13] "A new analytic approach to evaluation of packet error rate in wireless networks" 14, R., and K.Salamatian. *Communication Networks and Services Research Conference*, 2005.

*También Reed Solomon o convolucional, pero al no haber estudios o análisis de su PER o BLER , requiere una estimación mediante simulación.

ESTUDIO DE LA CABEZA HUMANA COMO CAVIDAD RESONANTE

Miguel Ángel García Fernández⁽¹⁾, David Sánchez Hernández⁽¹⁾

magf@alu.upct.es, david.sanchez@upct.es

⁽¹⁾ Dpto. de Tecnologías de la Información y Comunicaciones. Universidad Politécnica de Cartagena. Plaza del Hospital, 1. E-30202 Cartagena (Murcia) España.

Abstract- The rationale for deriving basic restrictions to electromagnetic field exposure and their associated safety margins is not fully standardized and diverse values are employed depending upon the thermal effect being considered. With the recent capabilities of modern computers, hybrid Maxwell's and heat-transfer equations have been solved for the human exposure to electromagnetic field problem. In this contribution, a human head is exposed to 125 mW of power at 1800 MHz (corresponding to a GSM-Power Class 1, divided by 8 slots of time). Peak SAR values along a coronal plane containing the Ear Reference Point, and its effects on temperature increase, have been observed. A matching effect and the skull being a protection for thermal stress due to intense electromagnetic field exposure have been confirmed, validating previous studies suggesting that a combined electromagnetic-thermal basic restrictions would represent more accurate safety limits, reducing the uncertainties for deriving the reference levels.

I. INTRODUCCIÓN

Los límites de seguridad internacionales frente exposición a campo electromagnético (EM) proporcionan niveles de referencia expresados en términos de intensidad de campo EM, que se evalúan en ausencia de una persona. Se derivan usando condiciones de peor caso de acoplo electromagnético, pero también de exposición a onda plana y continua, que se limita a situaciones de campo lejano. El fundamento para derivar restricciones básicas y sus márgenes de seguridad asociados no está estandarizado completamente y se emplean diversos valores dependiendo del efecto térmico considerado para derivar la restricción básica [1]. En esta contribución se utiliza un dipolo de media onda como antena fuente a una frecuencia de 1800 MHz, al que se le entregan 125 mW de potencia, debido a que el límite de potencia para terminales móviles GSM-1800 es de 1W, y estos radian 1 de cada 8 slots. En el modelo de cabeza humana, extraído del Proyecto Humano Visible, el Punto de Referencia del Oído (PRO) fue alineado con el centro del dipolo radiante. Mediante una integración propia de las ecuaciones de Maxwell y de las ecuaciones de calor se evaluaron los efectos de la respuesta termorregulatoria humana a la exposición a campo EM. La posibilidad de poder derivar consecuencias térmicas de la exposición a campo EM ha aparecido recientemente con la combinación de las diversas ecuaciones necesarias y la capacidad de potentes ordenadores. Los resultados se expresan en términos Tasa de Absorción Específica (TAE) y aumento de temperatura máximo para cada tejido encontrado a lo largo de una línea perpendicular a la cabeza desde el PRO, para

diferentes escenarios de exposición. Otros autores también han encontrado la respuesta térmica a la exposición a campo EM como un método adecuado y complementario a los límites de seguridad existentes [2]. Debido a que un aumento de temperatura mayor que 1° C en cualquier parte del cerebro conllevaría agotamiento o golpe de calor, y un aumento de 0.2-0.3 °C en la región del hipotálamo alteraría el comportamiento termorregulatorio, el estudio directo de la respuesta térmica del cuerpo humano a la exposición a campo electromagnético se ha convertido en una línea reciente de la investigación. Con los resultados presentados en esta contribución podemos concluir que las restricciones básicas actuales se podrían complementar por límites derivados de la temperatura, para poder conseguir mejor comprensión y aplicabilidad de los factores de seguridad ya establecidos por principio de precaución en todas las recomendaciones y estándares de seguridad.

II. MÉTODOS Y MODELOS

El código propio fue preparado en combinación con las funciones para el cálculo de ecuaciones en derivadas parciales de MATLAB[®] (PDE). El código fue modificado para proporcionar, mediante condiciones de contorno, un dipolo de media onda como antena radiante. El ERP está situado a una distancia lateral de 15 mm del trago (entrada al canal auditivo) [3], según lo representado en Fig. 1.

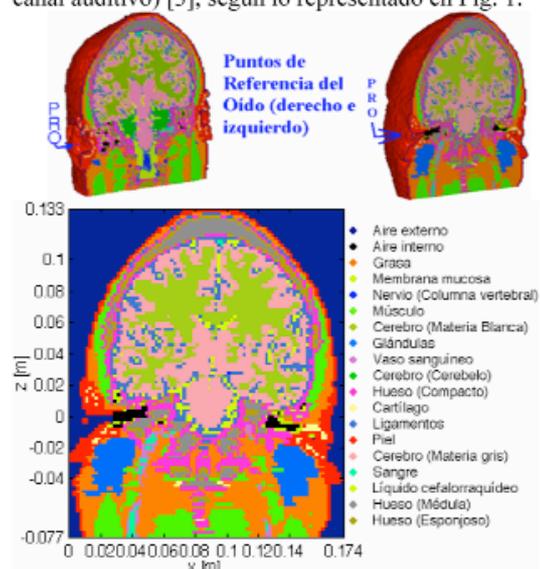


Fig. 1. Plano coronal del modelo de cabeza del Proyecto Humano Visible.

Tejido	ϵ_r	σ (S/m)	ρ Densidad (Kg/m ³)	c_p Calor específico (J/Kg \cdot °C)	k_T Conductividad térmica (W/m \cdot °C)	A_0 Producción de calor metabólico (W/m ³)	B Término asociado al flujo sanguíneo (W/m ³ \cdot °C)
Cerebro (Cerebelo)	46.11	1.709	1038	3687	0.57	10040	56490
Cerebro (Materia Blanca)	37.01	0.915	1038	3600	0.50	2820	15890
Cerebro (Materia Gris)	50.08	1.391	1038	3687	0.57	10040	56490
Hueso (Poroso)	19.34	0.588	1920	2150	0.30	2510	14120
Hueso (Compacto)	11.78	0.275	1990	1650	0.30	0	0
Hueso (Médula)	5.37	0.069	1040	2700	0.22	5020	28230
Sangre	59.37	2.044	1058	3840	0.49	0	0
Vaso sanguíneo	43.34	1.066	1040	3553	0.46	1600	9000

Tabla 1. Propiedades dieléctricas y térmicas de los tejidos del modelo de simulación.

El centro del dipolo fue establecido como origen de coordenadas, y el Punto de Referencia del Oído fue alineado con este origen de modo que la radiación del dipolo fuera centrada en ella. Se entrega a la antena una potencia de 125 mW, potencia media máxima a la que emiten los terminales comerciales de GSM-1800, debido a emitir durante 1/8 del tiempo con 1 W de potencia como máximo. Las características dieléctricas y térmicas de los materiales empleados se han extraído de la literatura y algunos se enumeran en la Tabla 1 [4]. Después de calcular la TAE, se evalúa el incremento de temperatura para todos los tejidos resolviendo la ecuación biocalor [5] modificada:

$$\rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k_T \nabla T) + \rho SAR + A_0 + B(T_b - T) \quad (1)$$

donde T_b es la temperatura de la sangre, tomada igual a 37 °C. El modelo térmico desarrollado incluye difusión térmica, producción de calor metabólico y perfusión sanguínea. Se puede conseguir control termorregulatorio en el modelo de cabeza en tiempo real, pudiendo mantener una temperatura constante en ausencia de exposición a radiofrecuencia (RF), ligeramente alterada por la pérdida de calor en la superficie del cuerpo debido al íntimo contacto con el aire. Las condiciones de contorno se establecieron mediante la ecuación:

$$\hat{n} \cdot k_T \cdot \nabla T = h_T \cdot (T_r - T) \quad (2)$$

teniendo una temperatura ambiente (T_r) de 23 °C y un coeficiente de transferencia de calor por convección (h_T) de 7 W/(m² · °C) para todas las interfaces piel-aire, y una temperatura $T_r = T_b = 37$ °C y un coeficiente de transferencia de calor por convección (h_T) de 70 W/(m² · °C) para la interfaz cuello-resto del cuerpo.

En esta contribución, las condiciones térmicas se mantienen bajo el ajuste vasomotor, es decir, bajo la temperatura crítica inferior (TCI) [6]. De esta forma, no se evalúa vaporización y una exposición electromagnética severa está fuera del alcance de esta contribución, es decir, se evita la transferencia de masa y sus mecanismos de transferencia de calor asociados.

III. RESULTADOS SIMULADOS

Al variar la distancia entre el dipolo y la cabeza se ponen de manifiesto los efectos de adaptación [7]. Para el plano seleccionado, la distancia de 0.29 λ proporcionó la mejor

adaptación de impedancias, con la mayor absorción de potencia en la cabeza humana. Se encontró un mínimo de potencia absorbida por la cabeza a una distancia de 0.22 λ . La Fig. 2 muestra la potencia total absorbida por la cabeza humana (en rojo) y por motivos de comparación, la potencia total radiada por un dipolo de media onda ante el mismo modelo de cabeza humana, utilizando un software comercial ampliamente validado (SEMCAD).

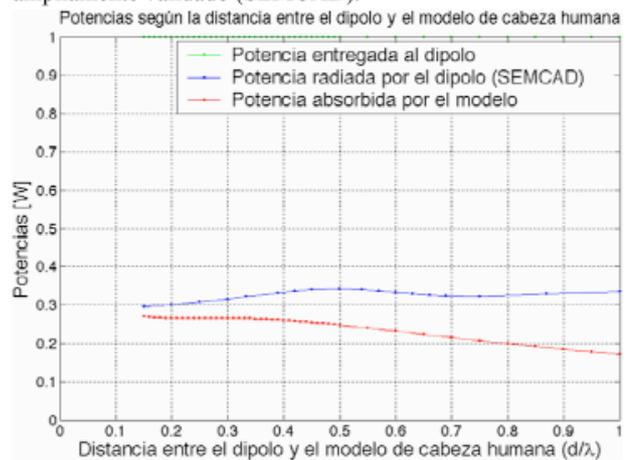
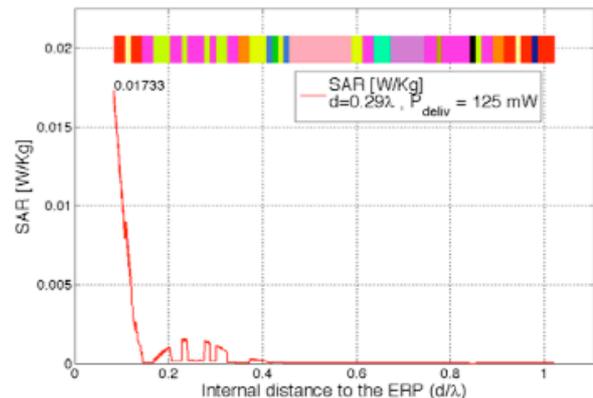


Fig. 2. Potencia absorbida en función de la distancia dipolo-cabeza.

Las Fig. 3, 4, 5 y 6 muestran la TAE y los incrementos de temperatura, para cuatro escenarios, radiando tanto a 0.29 λ como a 0.22 λ , como distancia entre el dipolo y la cabeza, distancias a las cuales se producen acoplamiento máximo y mínimo, respectivamente.


 Fig. 3. TAE para los tejidos encontrados desde el PRO (a 0.29 λ del dipolo).

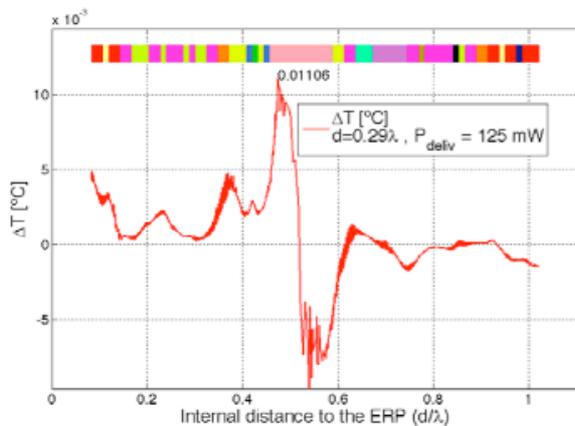


Fig. 4. Incremento de temperatura correspondiente tras 6 min. de exposición.

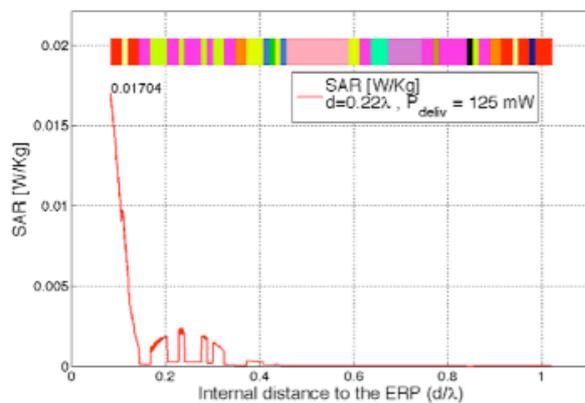


Fig. 5. TAE para los tejidos encontrados desde el PRO (a 0.22 λ del dipolo).

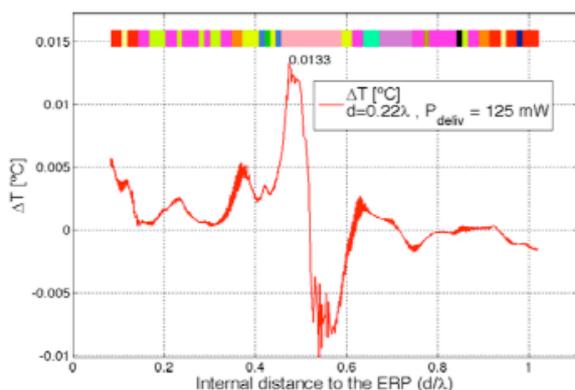


Fig. 6. Incremento de temperatura correspondiente tras 6 min. de exposición.

Los resultados se presentan para los tejidos encontrados a lo largo de una línea horizontal que va perpendicular al modelo de cabeza desde el PRO, como en [7], y se han obtenido tras 6 minutos de tiempo de exposición, con termorregulación.

Puede observarse claramente, analizando las figuras anteriores que, aún estando en el caso de mayor acoplamiento electromagnético (a 0.29 λ), y de tener una mayor TAE de pico máxima, el incremento de temperatura es menor que en el caso de menor acoplamiento (a 0.22 λ), siendo esta diferencia de alrededor de un 20%.

En las Fig. 3 y 5 se observa claramente cómo el cráneo protege al cerebro de la TAE, tal y como se esboza en [8], ya que la TAE de pico desciende abruptamente a partir del cráneo hacia el cerebro. (En la leyenda de la Fig. 1 puede apreciarse como la piel se representa en color rojo, el cráneo en magenta y el cerebro, materia gris, en rosa pálido). Este fenómeno refuerza la teoría de que el cráneo actúa como protector electromagnético del cerebro, ya que cuando la cabeza está adaptada a la fuente (caso de 0.29 λ de distancia dipolo-cabeza), el cráneo hace que la TAE y la temperatura decrezcan rápidamente en los tejidos más internos que él. Este papel de protección no es tan sólo debido a la baja conductividad térmica y alta densidad del cráneo, sino más bien al efecto de adaptación que se produce en los modelos de cabeza multicapa realistas a ciertas distancias fuente-cabeza.

Cabe destacar que los incrementos de temperatura se mantuvieron por debajo de los 0.2 °C, es decir, por debajo del umbral que provoca efectos nocivos, lo que refuerza la validez de las restricciones básicas actualmente vigentes.

IV. CONCLUSIONES

Aunque el modelo desarrollado es 2-D y por lo tanto las conclusiones derivadas aquí no se pueden ampliar directamente a modelos 3-D más complicados, la hibridación entre exposición a campo electromagnético y la respuesta termorregulatoria humana ha proporcionado resultados interesantes. La naturaleza protectora del cráneo se ha reafirmado, y la necesidad de restricciones básicas basadas en TAE y temperatura, con respecto a la protección humana bajo exposición a campo electromagnético, se ha confirmado. Hay muchos factores por considerar en el modelo termorregulador empleado, tal como pérdida de calor por sudoración, capilaridad, vasodilatación, metabolismo o flujo sanguíneo variables, ritmos circadianos o incluso alteraciones en la respuesta termorregulatoria misma debidas al aumento de la temperatura en el hipotálamo proporcionado por la energía de radiofrecuencia depositada, etc. Con los poderosos recursos computacionales disponibles hoy en día, sin embargo, no es arriesgado considerar la posibilidad de reducir las incertidumbres científicas actuales respecto a la exposición humana a campos electromagnéticos, reconocidas ya empleando los factores de protección y los escenarios de acoplamiento de peor caso al derivar límites de seguridad, usando la respuesta térmica humana. La adopción de una restricción básica que implique directamente el incremento de temperatura (con niveles de referencia distintos para las diversas partes del cuerpo de acuerdo con sus sensibilidades al calor), en combinación con los límites basados en la TAE ya existentes, podría ser más precisa para el escenario de exposición del ser humano a campo EM [9].

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada parcialmente por la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia, a través de una ayuda del Programa Séneca.

REFERENCES

- [1] Lin, J.C., "Safety standards for human exposure to radio frequency radiation and their biological rationale", *IEE Microwave Magazine*, pp. 22-26, Dec. 2003.
- [2] Bernardi, P. et al., "SAR distribution and temperature increase in an anatomical model of the human eye exposed to the field radiated by the user antenna in a wireless LAN", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 46, no. 12, pp. 2074-2081, 1998.
- [3] IEC 62209-1, "Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Human models, instrumentation, and procedures – Part 1: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for hand-held devices used in close proximity to the ear (frequency range of 300 MHz to 3 GHz)", 2005.
- [4] Gabriel, C., "Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies", Brooks Air Force, Brooks AFB, TX, Tech. Rep. AL/OE-TR-1996-0037, 1996.
- [5] Pennes, H.H., "Analysis of Tissue and Arterial Blood Temperature in the Resting Human Forearm", *J. of Applied Physiology*, Vol. 1, pp. 93-102, 1948.
- [6] Adair, E.R. et al., "Thermophysiological responses of human volunteers during controlled whole-body radio frequency exposure at 450 MHz", *Bioelectromagnetics*, vol. 19, pp. 232-245, 1998.
- [7] Christ, A. et al., "The dependence of electromagnetic far-field absorption on body tissue composition in the frequency range from 300 MHz to 6 GHz", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, no.5, pp. 2188-2195, 2006.
- [8] García-Fernández, M. A. et al., "Thermoregulatory Response to Electromagnetic Plane-Wave Exposure at 900 MHz", *Proceedings of The European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, p.657.1, Nov. 2006.
- [9] Samaras T.; Regli P.; Kuster N., "Electromagnetic and heat transfer computations for non-ionizing radiation dosimetry", *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 45, Nr. 8, 2000, pp. 2233-2246 (14).

Regresión Local por Mínimos Cuadrados para Estimación Eficiente de Datos Incompletos

Pedro José García Laencina, José Luis Sancho Gómez
 Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
 Universidad Politécnica de Cartagena. Plaza del Hospital 1, 30202 Cartagena
 Teléfono: (+34) 968326542. Fax: (+34) 968325973
 E-mail: pedroj.garcia@upct.es

Resumen. La presencia de valores perdidos o datos incompletos es un problema a solventar en muchas aplicaciones reales de reconocimiento de patrones. Un procedimiento extendido, y a la vez adecuado, es la imputación (i.e., estimación de valores perdidos a partir de la información conocida). Este artículo presenta un robusto algoritmo de imputación basado en la regresión local por mínimos cuadrados. Para cada patrón incompleto, se calculan sus K vecinos más cercanos, y a partir de esta información, la estimación de datos incompletos se obtiene mediante la resolución del problema de ajuste de mínimos cuadrados regularizado incluyendo el término de regularización de Tikhonov. Los resultados en un problema de diagnóstico médica muestran las ventajas del método propuesto.

1. Introducción

Un patrón¹ es una entidad que está representada por un conjunto de propiedades, conocido como vector de características [1]. Por ejemplo, en diagnóstico médica, el vector de características está formado por los resultados de las distintas pruebas médicas realizadas en el paciente objeto de estudio. El objetivo en aprendizaje supervisado es entrenar modelos (máquinas de aprendizaje) [1] que predigan con exactitud nuevos valores de una tarea para futuras entradas. El término tarea se refiere a una función objetivo que es aprendida a partir de un conjunto de patrones (conocido como el conjunto de entrenamiento) [1]. Para implementar un sistema de ayuda a la diagnóstico médica, podemos entrenar una máquina, a partir de una cierta cantidad de patrones representativos del problema a resolver, para que sea capaz de diagnosticar una determinada enfermedad en un nuevo paciente cuyos datos médicos no han sido utilizados durante el entrenamiento de la máquina.

La mayoría de bases de datos que caracterizan problemas reales tienen datos incompletos [2]. La ausencia de estos valores puede estar provocada por distintas causas, como de origen tecnológico (corte del suministro eléctrico) o porque simplemente son imposibles de medirse (un paciente no se puede someter a una prueba determinada). Una de las soluciones más empleadas es la imputación de datos [2], i.e., el proceso de estimar y rellenar datos incompletos a partir de toda la información disponible. En este trabajo, nos centramos en métodos de imputación basados en aproximaciones

locales, donde destaca el algoritmo KNN (*K Nearest Neighbours*) como uno de los más extendidos. Este artículo propone una robusta implementación del método LLS (*Local Least Squares*) basada en la regularización de Tikhonov. El resto del artículo se estructura de la siguiente forma: la Sección 2 presenta la notación empleada y el algoritmo estándar KNN; la Sección 3 describe el método propuesto; la Sección 4 muestra los resultados obtenidos en un problema de diagnóstico médica; finalmente, la Sección 5 expone las conclusiones principales.

2. Métodos Locales de Imputación

Considerar un problema de aprendizaje supervisado caracterizado por una base de datos

$$\mathcal{D} = \{\mathbf{X}, \mathbf{M}, \mathbf{T}\} = \{\mathbf{x}_i, \mathbf{m}_i, t_i\}_{i=1}^N, \quad (1)$$

donde \mathbf{x}_i es el i -ésimo patrón compuesto por n características reales ($\mathbf{x}_i = \{x_{ij}\}_{j=1}^n$), \mathbf{m}_i es un vector de variables binarias tal que m_{ij} es igual a 0 si x_{ij} está incompleto o 1 en caso contrario; y t_i es la salida deseada asociada a \mathbf{x}_i .

En lugar de usar el conjunto total de patrones, los métodos analizados en este trabajo están basados en aproximaciones locales, es decir, dado un patrón incompleto se obtiene un conjunto de los K vectores de entrada más similares (según una métrica de distancia) a dicho patrón, y se realiza una estimación de los valores perdidos usando la información disponible en ese conjunto de K casos similares. En concreto, la métrica escogida es la distancia euclídea. La distancia entre dos patrones \mathbf{x}_a y \mathbf{x}_b viene dada por la siguiente expresión,

$$d(\mathbf{x}_a, \mathbf{x}_b) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{aj} - x_{bj})^2 m_{aj} m_{bj}}. \quad (2)$$

*Este trabajo está financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia a través del proyecto TEC2006-13338/TCM.

¹Los términos patrón, vector de entrada, y caso son usados como sinónimos.

En el caso de que alguna(s) característica(s) en \mathbf{x}_a y \mathbf{x}_b sean desconocidas, dichas variables no son incluidas en $d(\mathbf{x}_a, \mathbf{x}_b)$.

Inicialmente, y para facilitar la descripción de los algoritmos, se asume que los patrones de entrada únicamente presentan un valor perdido en la primera característica, x_1 . Además, \mathbf{X} se divide en dos conjuntos: \mathbf{X}^C (casos completos) y \mathbf{X}^I (casos incompletos). Dado un patrón incompleto \mathbf{x} con un valor perdido en x_1 (i.e., $x_1 = ?$ and $m_1 = 0$), sus K vecinos más cercanos (procedentes de \mathbf{X}^C) son $\mathcal{V} = \{\mathbf{v}_k\}_{k=1}^K$, estando ordenados en orden creciente según $d(\mathbf{x}, \mathbf{v}_k)$. A partir de \mathcal{V} , se generan la *matriz de diseño* \mathbf{A} y el vector \mathbf{b} . Así, $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{K \times (n-1)}$, donde sus K filas son los K vecinos más cercanos sin considerar sus valores en la primera característica (i.e., atributo incompleto a ser imputado). Además, $\mathbf{b} \in \mathbb{R}^{K \times 1}$ está compuesto por los valores de la primera característica de \mathcal{V} . Por último, $\mathbf{y} \in \mathbb{R}^{1 \times (n-1)}$, cuyos elementos son los $(n-1)$ valores de los restantes atributos completos de \mathbf{x} . A continuación se muestra como \mathbf{A} , \mathbf{b} e \mathbf{y} son generados,

$$\begin{pmatrix} ? & \mathbf{y} \\ \mathbf{b} & \mathbf{A} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ? & y_1 & \cdots & y_{n-1} \\ b_1 & a_{11} & \cdots & a_{1n-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_k & a_{k1} & \cdots & a_{kn-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_K & a_{K1} & \cdots & a_{Kn-1} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$= \begin{pmatrix} ? & x_2 & \cdots & x_n \\ v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ v_{k1} & v_{k2} & \cdots & v_{kn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ v_{K1} & v_{K2} & \cdots & v_{Kn} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

2.1. Imputación KNN

La imputación obtenida mediante KNN viene dada por el promedio de los valores en la característica incompleta de los K vecinos más cercanos. Este método únicamente emplea la información relativa a la característica a imputar. Si \mathbf{x} presenta un dato incompleto en x_1 , el valor imputado por el procedimiento KNN es

$$\tilde{x}_1 = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K v_{k1} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_k. \quad (5)$$

Una mejora directa se obtiene mediante una media ponderada,

$$\tilde{x}_1 = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \alpha_k v_{k1} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \alpha_k b_k, \quad (6)$$

siendo $\alpha_k = \frac{\beta_k}{\sum_{k'=1}^K \beta_{k'}}$, donde $\beta_k = \frac{1}{d(\mathbf{x}, \mathbf{v}_k)^2}$.

3. Método Propuesto

3.1. Imputación LLS

El algoritmo LLS utiliza toda la información local en \mathcal{V} . Para ello se plantea el siguiente problema de regresión por mínimos cuadrados [3]

$$\min_{\mathbf{z}} \|\mathbf{b} - \mathbf{A}\mathbf{z}\|^2, \quad (7)$$

siendo la solución exacta a dicho problema el vector columna

$$\hat{\mathbf{z}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b}. \quad (8)$$

Así, el dato incompleto puede ser obtenido mediante la combinación lineal

$$\tilde{x}_1 = \mathbf{y}\hat{\mathbf{z}}. \quad (9)$$

Este método puede directamente extenderse al problema general con más de un dato incompleto, i.e., \mathbf{x} presenta Q valores perdidos, con $Q > 1$. Para ello se genera $\mathbf{B} \in \mathbb{R}^{K \times Q}$, donde cada vector columna está formado por los valores de las q -ésimas características incompletas ($1 \leq q \leq Q$) de los K vecinos más cercanos, y por tanto ahora $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{K \times (n-Q)}$. Además, \mathbf{y} está compuesto por los $n-Q$ valores observados (características completas) en \mathbf{x} . Tras generar \mathbf{A} , \mathbf{B} e \mathbf{y} , se obtiene la solución $\hat{\mathbf{z}}$ de $\min_{\mathbf{z}} \|\mathbf{B} - \mathbf{A}\mathbf{z}\|^2$, y los Q valores perdidos en \mathbf{x} son estimados por $\mathbf{y}\hat{\mathbf{z}}$.

3.2. Término de Regularización

La solución exacta al problema de mínimos cuadrados puede producir una deficiente estimación de valores perdidos cuando \mathbf{A} no es de rango completo o \mathbf{A} está mal condicionada [3]. Para obtener una solución estable, este artículo emplea el método de regularización de Tikhonov [4]. De esta forma, el problema regularizado viene dado por

$$\min_{\mathbf{z}} \|\mathbf{b} - \mathbf{A}\mathbf{z}\|^2 + \lambda \|\mathbf{z}\|^2. \quad (10)$$

El primer término representa el error de predicción, mientras que el segundo término añade información a priori de la solución, penalizando un valor elevado de la norma del vector solución \mathbf{z} . Para un determinado valor del parámetro de regularización λ , la solución regularizada es

$$\hat{\mathbf{z}}_\lambda = (\mathbf{A}^T \mathbf{A} + \lambda \mathbf{I})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b}. \quad (11)$$

donde \mathbf{I} es la matriz identidad. El método lo denominamos rLLS (regularized LLS). Para $\lambda = 0$, la solución $\hat{\mathbf{z}}_\lambda$ se reduce al problema original. Si $\lambda \rightarrow \infty$, $\hat{\mathbf{z}}_\lambda$ tiende a cero para minimizar la norma de la solución. El valor adecuado de λ combinará del mejor modo ambas soluciones. Además para cualquier valor de λ es posible obtener $(\mathbf{A}^T \mathbf{A} + \lambda \mathbf{I})^{-1}$, incluso si $(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1}$ no existe. El valor óptimo de λ se escoge mediante el método de validación cruzada generalizada [5], que es un conocido y eficiente procedimiento para obtener λ .

4. Resultados Experimentales

Con el objetivo de comparar el método propuesto con la imputación KNN ponderada, se ha empleado un problema de diagnóstico de cáncer de mama, *Wisconsin Diagnostic Breast Cancer* (WDBC) [6]. El conjunto de datos consta de 569 casos, compuestos por 30 variables de entrada. Tras normalizar los datos de entrada con media cero y varianza unidad, se eliminan aleatoriamente distintos porcentajes de datos (5 %, 10 %, 20 %, 40 %, 60 %) en la característica x_{24} (relevante para la diagnosis) para evaluar los métodos KNN y rLLS (con $K = [5, 10, 15, 20]$).

A continuación se presentan los resultados de imputación para un 60 % de datos incompletos en x_{24} y para 15 vecinos más cercanos. La Figura 1 muestra las funciones de distribución empíricas en x_{24} , considerando los datos originales y los datos imputados con KNN y rLLS.

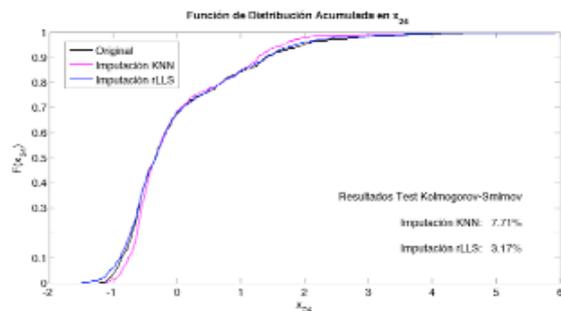


Fig. 1. Funciones de distribución empíricas original y tras imputación mediante KNN y rLLS, con un 60 % de datos incompletos en x_{24} y $K = 15$.

Como se puede ver en dicha figura, el método propuesto proporciona una mejor solución que KNN, manteniendo la función de distribución original. Para evaluar las prestaciones en términos de la distribución (*Distributional Accuracy*, DAC) hemos usado el test de Kolmogorov-Smirnov, que calcula la mayor diferencia entre la distribución original y la distribución de los datos imputados.

La Figura 2 muestra los diagramas de dispersión (*scatter diagram*) para la característica x_{24} , representando los datos originales en el eje de abscisas y los datos imputados mediante KNN y rLLS en el eje de ordenadas.

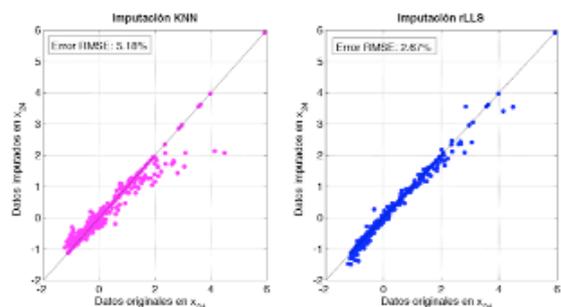


Fig. 2. Datos originales vs. Datos imputados mediante KNN y rLLS, con un 60 % de datos incompletos en x_{24} y $K = 15$.

Además muestra la función identidad, ya que dicha relación lineal existe cuando las imputaciones coinciden con los valores originales. Podemos comprobar como las estimaciones obtenidas por el método rLLS se aproximan con mayor precisión a los valores reales que en el caso del método KNN. Para evaluar las prestaciones en términos de la predicción (*Predictive Accuracy*, PAC) se emplea la raíz del error cuadrático medio (*Root Mean Square Error*, RMSE).

Por último, las Tablas I y II muestran los resultados obtenidos (DAC y PAC, respectivamente) con los métodos de imputación KNN y rLLS para distintos porcentajes de datos incompletos y valores de K . El método rLLS proporciona mejores prestaciones que el algoritmo KNN en todos los experimentos realizados. Cabe destacar que en este problema los resultados de la imputación KNN degradan conforme aumenta K , al contrario que en el método propuesto.

DAC (%)		% de valores perdidos en x_{24}				
		5	10	20	40	60
$K = 5$	KNN	0.80	1.30	2.12	3.73	5.97
	rLLS	0.68	0.89	1.35	2.39	2.81
$K = 10$	KNN	0.86	1.54	2.38	4.43	7.14
	rLLS	0.65	0.88	1.42	2.32	3.43
$K = 15$	KNN	0.88	1.66	2.58	4.76	7.71
	rLLS	0.64	0.86	1.40	2.24	3.17
$K = 20$	KNN	0.89	1.68	2.73	4.99	8.26
	rLLS	0.52	0.84	1.24	2.14	2.59

TABLA I
DAC (%) OBTENIDA MEDIANTE KNN Y RLLS.

PAC (%)		% de valores perdidos en x_{24}				
		5	10	20	40	60
$K = 5$	KNN	3.98	4.31	4.24	4.15	4.71
	rLLS	2.85	2.98	3.32	3.25	3.64
$K = 10$	KNN	3.99	4.46	4.52	4.49	4.89
	rLLS	2.13	2.38	2.77	2.78	2.98
$K = 15$	KNN	4.07	4.75	4.84	4.77	5.18
	rLLS	1.87	2.19	2.57	2.48	2.67
$K = 20$	KNN	4.30	5.02	5.10	5.02	5.45
	rLLS	1.63	1.84	2.20	2.23	2.23

TABLA II
PAC (%) OBTENIDA MEDIANTE KNN Y RLLS.

5. Conclusiones

Este artículo presenta una versión eficiente y robusta del algoritmo LLS para estimación de datos incompletos. El método propuesto está basado en el uso del término de regularización de Tikhonov. Los resultados obtenidos muestran las ventajas del método propuesto sobre el algoritmo KNN.

Referencias

- [1] C. M. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer, New York, USA, 2006.
- [2] R. J. A. Little, D. B. Rubin, *Statistical Analysis with Missing Data*. Wiley, New Jersey, USA, 2nd edition, 2002.
- [3] Å. Björck, *Numerical Methods for Least Squares Problems*. SIAM, Philadelphia, 1996.
- [4] A. N. Tikhonov, Solution of incorrectly formulated problems and the regularization method. *Sov Math Dokl*, pp. 1035-1038, vol. 4, 1963.
- [5] G. H. Golub, U. Matt, "Generalized cross-validation for large-scale problems". *J Comput Graph Stat*, pp. 1-34, vol. 6, no. 1, 1997.
- [6] <http://www.ics.uci.edu/~mllearn/MLRepository.html>

Nuevo Algoritmo de Control de Flujo para el interfaz Iub en HSDPA

Gaspar Pedreño López, Juan José Alcaraz Espín, Fernando Cerdán Cartagena
 Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Cartagena
 Campus Muralla de Mar. Edificio Antiguo Hospital de Marina
 30202 Cartagena
 Teléfono: 968325310 Fax: 968 32 5338
 E-mail: {gaspar.pedreno, juan.alcaraz, fernando.cerdan}@upct.es

Resumen. En los próximos años, se espera que los servicios de datos se conviertan en la principal fuente de tráfico en redes móviles celulares 3G. Esta evolución del mercado de las comunicaciones móviles supondrá la demanda de sistemas de mayor capacidad y de mayores tasas de transferencia. Dentro de este contexto, el 3GPP ha introducido una nueva funcionalidad que se conoce como High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) cuyo objetivo es satisfacer esta nueva demanda. Dicho objetivo está fuertemente condicionado por la elección e interacción de dos mecanismos clave dentro del funcionamiento de HSDPA: el scheduling realizado en el Nodo B y el control de flujo entre Nodo B y RNC (Radio Network Controller). Este artículo presenta un nuevo algoritmo para realizar este control de flujo que consigue mejorar las prestaciones de su antecesor. Dicho algoritmo está basado en teoría de control y, aunque no se presenta en este artículo, se ha realizado un completo análisis de su estabilidad.

1 Introducción

La tecnología HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) representa la evolución de la tecnología espectral UMTS/WCDMA y consiste en un nuevo canal compartido en el enlace descendente (*downlink*) que mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información hasta alcanzar tasas de 14 Mbps (con tasas promedio cerca de 1 Mbps). HSDPA fue introducido por el 3GPP (3rd Generation Partnership Project) en las especificaciones de release 5 [1] con el objetivo de incrementar la tasa de transferencia, mejorar la calidad de servicio percibida por el usuario y conseguir reducir el coste por bit de datos entregado.

aparece una nueva capa conocida como MAC-hs (Medium Access Control-high speed). En la figura 1 se puede observar la estructura de protocolos para la interfaz radio de UMTS con funcionalidad HSDPA.

Dicha capa MAC-hs se encarga de almacenar los datos de los usuarios que esperan ser transmitidos a través del interfaz radio. El hecho de que las colas de datos estén ahora en el Nodo B en lugar de en la RNC (como ocurre en UMTS) implica la necesidad de un control de flujo para gestionar el transporte de datos entre RNC y Nodo B (HS-DSCH Frame Protocol). El diseño de este control de flujo no es una tarea trivial pues, de su funcionalidad dependen, en gran parte, las prestaciones del sistema.

En este artículo se propone un nuevo algoritmo de control de flujo entre RNC y Nodo B basado en teoría de control. Dicho algoritmo se caracteriza por su sencilla implementación y sus buenas prestaciones comparado con otros algoritmos existentes.

2 Control de Flujo de HSDPA en el interfaz Iub

Como ya se ha comentado, el control de flujo en el interfaz *Iub* (RNC - Nodo B) tiene una importancia crítica sobre el servicio HSDPA. Su funcionamiento en cooperación con el scheduler (planificador de paquetes) determina la QoS percibida por los usuarios. El mecanismo de control de flujo descrito en las especificaciones del 3GPP [2] para HSDPA es el mismo que el propuesto para canales dedicados (DSCH) en la Release '99, basado en un sistema de créditos. El 3GPP presenta dicho control de flujo como un intercambio de tramas de control *HS-DSCH Capacity Request* y *HS-DSCH Capacity Allocation* entre Nodo B y RNC (ver Figura 2). Por su parte, los datos se transfieren a través del envío de tramas *HS-DSCH Data Frames* [2]. Sin embargo, esta es la

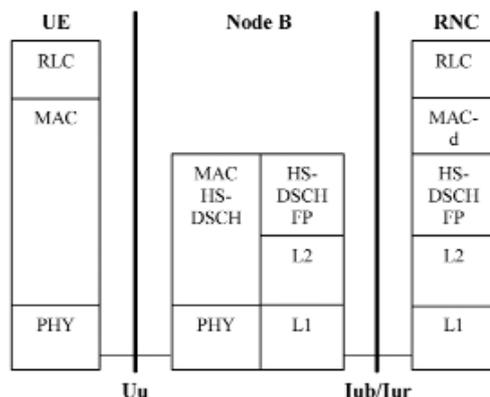


Figura 1. Estructura de protocolos del interfaz radio de UMTS con HSDPA.

El concepto HSDPA supone la introducción de un nuevo tipo de canal de transporte, conocido como High Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH) [1], y el desplazamiento de cierta funcionalidad de la capa MAC (Medium Access Control) desde la RNC (Radio Network Controller) hasta el Nodo B, donde

única información contenida en las especificaciones, dejándose abierta a operadores y fabricantes la implementación final del mecanismo de control de flujo.



Figura 2. Control de Flujo basado en créditos.

Para el desarrollo de nuestro algoritmo, hemos partido del mecanismo propuesto en [3] donde se presenta un esquema de control de flujo entre Nodo B y RNC por flujo MAC-d, es decir, cada conexión MAC-d es controlada independientemente por un proceso de control de flujo. Este tipo de mecanismo es el más habitual [4,5]. Dicho control de flujo trata de seguir las variaciones del canal radio, controlando la tasa de transferencia de tramas desde la RNC hasta el Nodo B. Su objetivo es mantener los buffers del Nodo B para cada flujo MAC-d a un nivel objetivo B_w , de forma que el tiempo de espera de los datos en el Nodo B no supere un valor predefinido T_w . Dicho nivel B_w viene dado por:

$$B_w = R_0 T_w$$

dónde R_0 es la tasa efectiva sobre el canal radio de la conexión considerada. Dicha tasa R_0 es medida y promediada durante un tiempo configurable T_m (Figura 3).

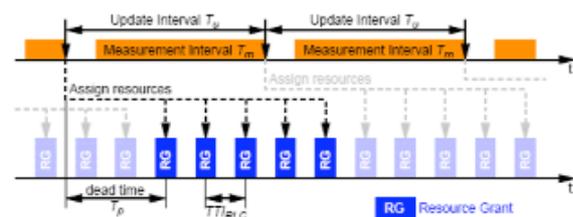


Figura 3. Instantes temporales utilizados en el control de flujo.

Dado el nivel del buffer deseado B_w , el control de flujo trata de compensar la diferencia entre dicho nivel y el nivel real del buffer en un tiempo predeterminado T_u (Figura 3). Teniendo en cuenta esta diferencia entre los niveles ideal y real, una nueva tasa de transferencia es calculada para la capa RLC (Radio Link Control) de la RNC, R_i , la cual estará en uso durante el siguiente periodo T_u :

$$R_i = \max\left(0, R_0 + \alpha \frac{B_w - B}{T_u}\right)$$

Consecuentemente, durante el siguiente periodo de actualización T_u la RNC podrá transferir un número

máximo de créditos D_i (tramas HS-DSCH DATA FRAMES):

$$D_i = R_i T_u$$

3 Algoritmo Propuesto

El principal objetivo del mecanismo de control de flujo del interfaz Iub es mantener estable el nivel del buffer del Nodo B. En el algoritmo anterior dicho nivel del buffer se utiliza directamente en el cálculo de la tasa de envío de la RNC. Sin embargo, en nuestra propuesta el nivel del buffer se controla de forma indirecta tratando de aproximar la tasa de envío de la RNC (R_i) a la tasa de envío del Nodo B (R_o) de forma que siempre haya datos suficientes en el Nodo B pero, sin llegar a desbordar el buffer. La ecuación que define el algoritmo es la siguiente:

$$R_i(n+1) = R_i(n) + \delta(R_o(n) - R_i(n))$$

La anterior ecuación representa un sistema de control conocido genéricamente como *proportional tracking* cuya estabilidad depende de la configuración del parámetro δ . De los estudios de estabilidad realizados se desprende que ese valor teóricamente no puede ser nunca superior a 1.

4 Evaluación de Prestaciones

4.1 Escenario de Simulación

Con el objetivo de comparar ambos algoritmos de la forma más objetiva posible se ha elegido un escenario de simulación sencillo con un único terminal descargando video en tiempo real. Para generar dicho tráfico se ha implementado una fuente de video streaming similar a la descrita en [6]. En las simulaciones denominaremos como algoritmo 1 al algoritmo presentado en [5] y como algoritmo 2, al propuesto por nosotros. El algoritmo 1 será configurado con los valores considerados óptimos en [5]: $\alpha = 1$, $T_w = 100ms$, $T_m = 50ms$ y $T_u = 100ms$. El valor elegido para el parámetro δ de nuestro algoritmo es de 0.8.

El principal objetivo a analizar es el nivel del buffer en el nodo B pero también se mostrarán los valores de throughput (cantidad de datos transmitidos por segundo) y goodput (cantidad de datos recibidos correctamente en el terminal móvil por segundo) del Nodo B así como el nivel del buffer de la RNC.

4.2 Respuesta ante un Cambio Brusco en las Condiciones del Canal Radio

Con este escenario pretendemos mostrar el comportamiento de ambos algoritmos en una situación extrema como sería un fuerte empeoramiento repentino del canal radio. En la figura 4 podemos observar las consecuencias de esta situación.

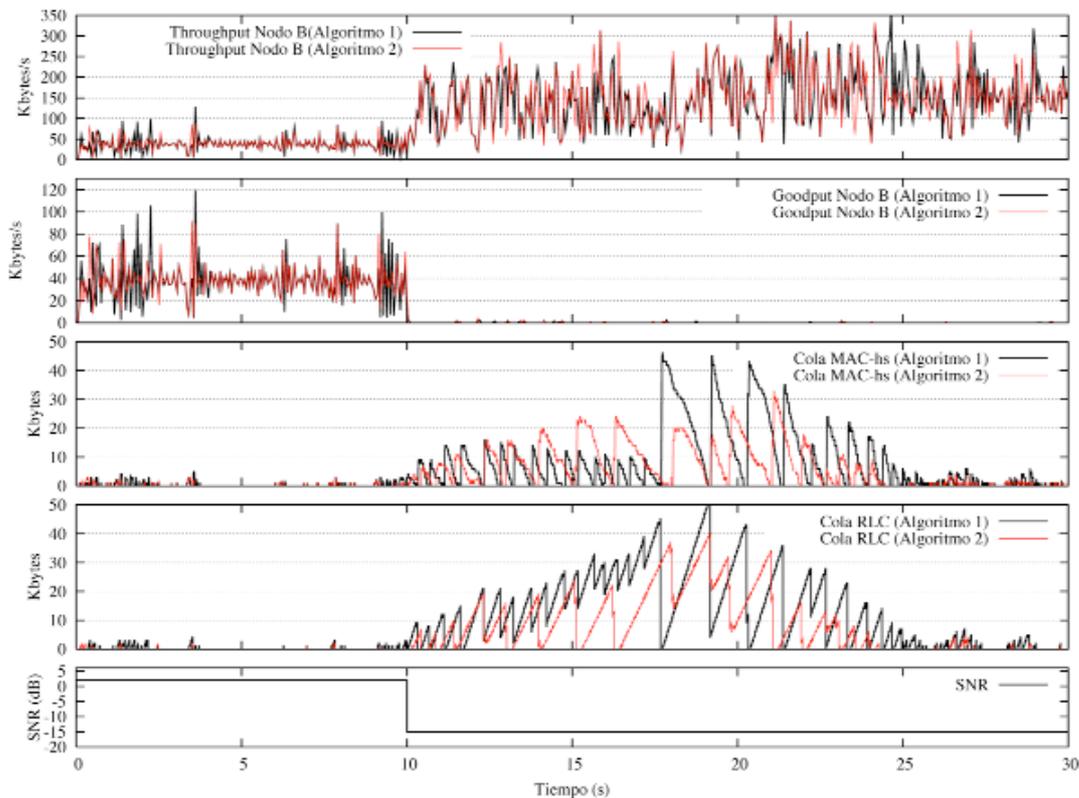


Figura 4. Niveles de las colas del Nodo B y de RLC ante un cambio brusco en las condiciones del canal radio. También se muestran los valores de throughput y goodput instantáneos del Nodo B.

Vemos como en $T = 10$ s la SNR (Signal to Noise Ratio) del canal desciende bruscamente desde 2dB hasta -15dB. Hasta ese momento tanto la cola de la RNC como la del Nodo B permanecían estables pero el empeoramiento del canal produce un cuello de botella que hace que la ocupación de ambas colas se dispare. El deterioro de la calidad del canal radio provoca que HSDPA adapte su tasa de transmisión utilizando formatos de trama más pequeños y robustos frente a errores lo cual hace que la cola del Nodo B comience a llenarse. Esto activa el control de flujo frenando la tasa de transmisión de la RNC y, en consecuencia, llenando también su buffer. Podemos observar como, bajo esta situación, el algoritmo 2 mantiene ambas colas a niveles más bajos que el algoritmo 1 consiguiendo similares prestaciones en throughput y goodput. A pesar de que se utilizan tramas de menor tamaño el throughput de HSDPA aumenta debido al gran volumen de datos existentes en la cola del Nodo B. Sin embargo, la mayoría de estos datos son recibidos erróneamente en el terminal móvil tal y como muestra la gráfica del goodput.

Con el fin de corroborar los datos mostrados en la figura 4, se realizaron diez réplicas de ese mismo experimento para los dos algoritmos de control de flujo. De dichas réplicas se obtuvieron los valores medios y máximos de los buffers del Nodo B y RLC así como el Throughput y Goodput medios del Nodo B. Todos estos resultados se muestran en la tabla 1 junto con sus respectivos intervalos de confianza al 95%, de acuerdo a una distribución t-student. Dichos

datos no hacen más que confirmar los resultados mostrados en la Figura 4.

5 Conclusiones

Partiendo del mecanismo de control de flujo presentado en [3], en este artículo se ha propuesto una versión alternativa la cual mejora las prestaciones de la anterior. Además, hay que tener en cuenta que su funcionamiento e implementación es más sencilla que la del algoritmo 1.

Tabla 1. Resultados obtenidos tras diez réplicas del experimento descrito en el apartado 4.2.

	Algoritmo 1	Algoritmo 2
Nivel Medio Buffer Nodo B	5,93±0,23 Kbytes	4,21±0,18 Kbytes
Nivel Máximo Buffer Nodo B	42,5±2,66 Kbytes	29,2±1,53 Kbytes
Nivel Medio Buffer RLC	6,69±0,49 Kbytes	5,46±0,47 Kbytes
Nivel Máximo Buffer RLC	46,9±1,89 Kbytes	39,7±1,83 Kbytes
Throughput Medio Nodo B	112,8±0,01 Kbytes/s	112,5±0,01 Kbytes/s
Goodput Medio Nodo B	12,62±0,01 Kbytes/s	12,73±0,01 Kbytes/s

Dentro del proceso de investigación llevado a cabo, el siguiente paso consistirá en el estudio y análisis de las interacciones entre el control de flujo y el scheduler, los dos mecanismos que más influencia tienen sobre las prestaciones globales de HSDPA.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto TEC2007-67966-01/TCM (CON-PARTE-1) y desarrollado dentro del marco del "Programa de Ayudas a Grupos de Excelencia de la Región de Murcia, de la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la RM (Plan Regional de Ciencia y Tecnología 2007/2010)". Gaspar Pedreño agradece el apoyo del Ministerio de Educación y Ciencia a través de la beca FPU AP2006-01568.

Referencias

- [1] 3GPP TS25.308, "UTRA High Speed Downlink Packet Access (HSDPA); Overall description; Stage 2", version 7.5.0. (2008-01).
- [2] 3GPP TS25.877. "High Speed Downlink Packet Access: Iub/Iur protocol aspects". Version 5.1.0, June 2002
- [3] Necker, M. C., Weber, A. 2005. "Impact of Iub flow control on HSDPA system performance". PIMRC 2005.
- [4] Whillans, N. "End-to-End Network Model for Enhanced UMTS". 1ST SEACORN Project Deliverable D3.2v2, October 2003.
- [5] Bajzik, L et Al. "CrossLayer Backpressure to Improve HSDPA Performance". PIMRC 2006.
- [6] Necker, M. C. and Weber, A. 2006. "Protocol Interference Between UP and Downlink Channels in HSDPA". PIMRC 2006.

Sistemas P2P de *Streaming* de Vídeo

Juan Pedro Muñoz Gea, Josemaría Malgosa Sanahuja, Pilar Manzanares López, Juan Carlos Sánchez Aarnoutse
 Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Universidad Politécnica de Cartagena
 Campus Muralla de Mar. Edificio Antiguo Cuartel de Antigones, 30202 Cartagena
 Teléfono: 968 33 8871 Fax: 968 32 5973
 E-mail: juanp.gea@upct.es

Resumen. Las aplicaciones de distribución de vídeo sobre IP han atraído a un gran número de usuarios en Internet. Sin embargo, las soluciones tradicionales basadas en el modelo cliente-servidor requieren de un gran ancho de banda en el servidor. Las redes Peer-to-Peer (P2P) son un nuevo paradigma para la construcción de aplicaciones de red distribuidas. Recientemente se han desarrollado varios sistemas P2P para proporcionar servicios de *streaming* de vídeo en directo y bajo demanda a un bajo coste. En este artículo, proporcionamos un *survey* sobre las soluciones P2P existentes para *streaming* de vídeo.

1 Introducción

Las aplicaciones de vídeo sobre IP han atraído a un gran número de usuarios en Internet. Con el rápido desarrollo de las redes de acceso de alta velocidad, como FTTH (Fiber-To-The-Home), se espera que en un futuro no muy lejano el tráfico de vídeo sea dominante en Internet.

La solución básica para la distribución de vídeo en Internet es el modelo cliente-servidor. El cliente establece una conexión con el servidor de vídeo y el contenido se transmite al cliente directamente desde el servidor. Una variación del modelo cliente-servidor es la distribución de vídeo basada en CDN (*Content Delivery Networks*). En esta solución el servidor transmite el contenido a un conjunto de servidores de reparto situados estratégicamente en la red. El cliente, en lugar conectarse al servidor de vídeo, se dirige a un servidor de reparto cercano para descargar el contenido. Las CDN reducen el retardo inicial, reducen el tráfico que circula por la red y sirven a un mayor número de usuarios. Youtube, por ejemplo, emplea CDN para distribuir vídeo a los usuarios finales. Sin embargo, el mayor reto para las soluciones de *streaming* de vídeo basadas en servidor es su escalabilidad. Una sesión de vídeo de alta calidad requiere de un elevado ancho de banda, y éste debe crecer proporcionalmente con el número de clientes. Esto provoca que la solución de *streaming* de vídeo basada en el modelo cliente-servidor sea muy cara.

Las redes P2P han aparecido recientemente como un nuevo paradigma para la construcción de aplicaciones de red distribuidas. La filosofía básica de diseño de P2P es fomentar la actuación de los usuarios como clientes y servidores. Las aplicaciones P2P de compartición de ficheros se han utilizado ampliamente para la transmisión rápida de ficheros de datos en Internet. Más recientemente, la tecnología P2P también se utilizado para proporcionar servicios de *streaming*. Se han desarrollado varios sistemas de

streaming P2P para proporcionar servicios de *streaming* de vídeo en directo y bajo demanda en Internet.

Los sistemas de *streaming* P2P se pueden clasificar de forma general en dos categorías en función de la estructura de la red *overlay*: basados en árbol y basados en malla. Los sistemas basados en árbol tienen una estructura bien organizada y distribuyen el vídeo transmitiendo los datos desde un nodo hacia sus hijos, de forma recursiva. Un inconveniente de estos sistemas es su alta vulnerabilidad a la entrada y salida de nodos. Por su parte, en los sistemas de *streaming* P2P basados en malla los nodos no están confinados en una topología estática. Por el contrario, las relaciones entre nodos son establecidas en función de la disponibilidad de contenidos y del ancho de banda en los nodos.

En el resto del artículo se presenta un resumen de los sistemas de *streaming* de vídeo P2P existentes. En primer lugar en la sección 2 se describen los sistemas de *streaming* de vídeo en vivo, seguidos de los sistemas de vídeo bajo demanda, en la sección 3. Finalmente, el artículo concluye con algunos temas abiertos de investigación relacionados con el *streaming* de vídeo P2P, en la sección 4.

2 *Streaming* P2P de Vídeo en Directo

El *streaming* de vídeo se puede clasificar en dos categorías: en vivo y bajo demanda. En una sesión de *streaming* de vídeo en directo el contenido se disemina a todos los usuarios en tiempo real. La reproducción de vídeo se sincroniza en todos los usuarios. Por el contrario, los usuarios de vídeo bajo demanda poseen la flexibilidad de ver los clips de vídeo que quieran cuando ellos quieran. La reproducción de los clips de vídeo en los diferentes usuarios no está sincronizada. En esta sección se introducen varios sistemas P2P de *streaming* de vídeo en directo que utilizan distintas estructuras *overlay*.

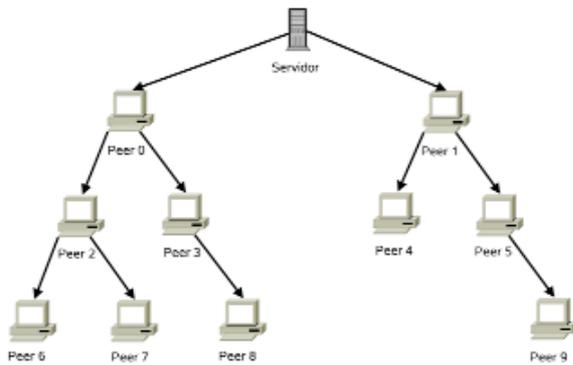


Fig. 1 Árbol para streaming P2P de vídeo.

2.1 Sistemas basados en árbol

De forma similar a un árbol IP multicast formado por *routers* en el nivel de red, los usuarios que participan en una sesión de *streaming* de vídeo pueden formar un árbol en el nivel de aplicación. Este árbol tiene como raíz el servidor fuente del vídeo (ver Fig. 1). Cada usuario se une al árbol en un determinado nivel, recibe el vídeo de su nodo padre en el nivel superior y re-encamina el vídeo recibido a sus nodos hijos en el nivel inferior. Algunos ejemplos son Overcast [1] y ESM [2].

Dado un conjunto de nodos, hay varias formas posibles de construir un árbol que los conecte. Las principales consideraciones a tener en cuenta incluyen la profundidad del árbol y la proporción de nodos internos. Los nodos en los niveles inferiores del árbol reciben el vídeo después de que lo hagan los nodos en los niveles superiores. Para reducir el retardo de los nodos de los niveles inferiores se preferiría un árbol con el menor número posible de niveles, por lo tanto aumentando el número de nodos hijos por cada nodo padre. Sin embargo, un nodo tiene un ancho de banda de subida limitado, lo que a su vez limita el número posible de hijos.

Otra característica importante es el mantenimiento del árbol. Un nodo puede dejar su sesión en cualquier momento, bien de forma inesperada o notificándolo previamente. Después de que un nodo deje el árbol, todos sus hijos en el árbol de *streaming* se desconectan de la fuente de vídeo y no pueden recibir más vídeo. Por lo tanto, el árbol debe recuperarse tan pronto como sea posible. Otro inconveniente fundamental de este tipo de aplicaciones es que los nodos hoja no contribuyen su ancho de banda de subida. Este hecho degrada enormemente la eficiencia de la utilización del ancho de banda, ya que estos nodos suponen una gran proporción de nodos en el sistema.

2.2 Sistemas basados en malla

En un sistema de *streaming* basado en malla no hay una topología estática. Los nodos establecen y terminan las relaciones con otros nodos dinámicamente. En un instante de tiempo

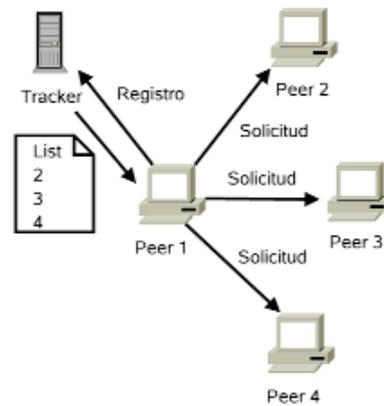


Fig. 2 Recuperación de la lista de nodos desde el tracker.

determinado un nodo mantiene relaciones con múltiples nodos vecinos, y puede descargar y subir vídeo con múltiples vecinos simultáneamente. Si un vecino del nodo deja el sistema, el nodo todavía puede descargar el vídeo del resto de vecinos. Además, el alto grado de conectividad en este tipo de sistemas los hace extremadamente robustos frente a la entrada y salida de nodos.

De forma similar a los sistemas P2P de distribución de ficheros como BitTorrent, un sistema de *streaming* basado en malla dispone de un *tracker* que establece una lista de los nodos activos en una sesión de vídeo. Cuando un nodo se une a la sesión de *streaming* contactará con el *tracker* y le informará de su dirección IP. Entonces el *tracker* devolverá una lista de nodos activos en la sesión. A continuación el nodo intentará conectarse a algunos nodos remotos de la lista. Si una solicitud de conexión es aceptada el nodo local añadirá al nodo remoto en su lista de vecinos. Después de obtener un número suficiente de vecinos, el nodo local comenzará a intercambiar contenido de vídeo con sus vecinos. La Fig. 2 muestra este proceso inicial. Para tratar con las frecuentes entradas y salidas de nodos, cada nodo actualizará constantemente su lista de nodos durante la sesión. Además, puede contactar con el *tracker* para solicitar una lista actualizada de nodos activos.

La unidad básica de datos en estos sistemas es el *chunk*. El servidor divide el vídeo en pequeños *chunks*, cada uno de los cuales contiene información multimedia para un pequeño intervalo de tiempo. Cada *chunk* tiene un número de secuencia. Para conseguir una reproducción continua, los nodos almacenan los *chunks* recibidos en memoria y los ordenan antes de pasárselos al reproductor de vídeo. Hay dos formas de intercambiar datos entre vecinos: *push* y *pull*. Con *push*, los nodos transmiten los *chunks* recibidos a sus vecinos que no han recibido el *chunk* todavía. Para llevar a cabo este mecanismo, es necesario planificar adecuadamente las tareas de transmisión entre los vecinos. Además, esta planificación debe de ser reconstruida tras la llegada y salida de nodos. En los sistemas basados en *pull*,

los nodos intercambian los números de secuencia de los *chunks* de que disponen en sus *buffers* periódicamente. Después de obtener estos números de secuencia de sus vecinos, un nodo puede planificar desde qué vecinos se pueden descargar qué *chunks*. Entonces se mandan solicitudes a los vecinos para solicitar los *chunks* requeridos.

3 Streaming P2P de Vídeo bajo Demanda

El servicio de vídeo bajo demanda (en inglés Video-on-Demand, VoD) permite a los usuarios ver cualquier punto de un vídeo en cualquier momento. Comparado con el *streaming* en directo, el vídeo bajo demanda ofrece más flexibilidad a los usuarios. El VoD se ha identificado como una característica clave para atraer a los consumidores al servicio de IPTV (Televisión IP).

3.1 Sistemas basados en árbol

En el servicio VoD, aunque un gran número de usuarios pueden estar viendo el mismo vídeo, son asíncronos con el resto, ya que diferentes usuarios ven diferentes porciones del mismo vídeo en cualquier momento. Por lo tanto, la utilización de sistemas en árbol en este entorno es un reto. Los autores de [3] diseñaron un esquema para la distribución de VoD en un sistema P2P basado en árbol. En este trabajo el requerimiento de asincronía se soluciona utilizando técnicas de *patching*. El servidor transmite el vídeo entero en el árbol. Cuando un nuevo cliente se une a la sesión, se une al árbol y obtiene el *streaming* de vídeo. Mientras tanto, el nuevo cliente debe obtener un *patch* – la porción inicial del vídeo que se ha perdido (desde el inicio de la sesión hasta el momento en que se unió al árbol). Este *patch* se encuentra disponible en el servidor y en otros usuarios que han almacenado el contenido. .

3.2 Sistemas basados en malla

Los retos de ofrecer VoD utilizando redes P2P basadas en malla es doble. Por una parte, en el nivel de nodo, los bloques de contenido tienen que ser recibidos antes de su tiempo de reproducción. En el nivel de sistema, el *throughput* del sistema completo debe ser lo suficientemente alto incluso ante las restricciones individuales de los nodos.

BiToS [4] es el primer intento de diseñar un servicio de VoD P2P basado en malla. Un nodo en BiToS tiene tres componentes: el *buffer* de recepción, que almacena todos los bloques recibidos; el conjunto de alta prioridad, que contiene los números de secuencia de los bloques más cercanos al tiempo de reproducción que todavía no se han descargado; el conjunto del resto de bloques, que contiene los bloques que no han sido descargados todavía. Por otra parte, el sistema utiliza un proceso de selección para decidir qué bloque descargar. Un bloque del conjunto de alta prioridad es descargado con

probabilidad p , mientras que un bloque del conjunto del resto de bloques es descargado con probabilidad $1-p$.

4 Conclusiones

En este artículo se ha llevado a cabo un resumen sobre la tecnología actual de *streaming* de vídeo P2P. Estos sistemas presentan varias limitaciones fundamentales. En primer lugar, la calidad de los sistemas *streaming* P2P actuales no es comparable con los servicios de TV tradicionales proporcionados por las compañías de distribución *broadcast* de televisión. En segundo lugar, la creciente popularidad de esta tecnología se ha convertido en una preocupación seria para los ISPs. Por último, algunos ISPs han comenzado a ofrecer servicios IPTV desarrollando IP multicast y servidores de vídeo *proxy* en sus redes privadas. Sería beneficioso para los ISPs introducir la tecnología P2P en sus sistemas IPTV para reducir los costes de servidor y de infraestructura de red.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido apoyada por la subvención de proyecto TEC2007-67966-C03-01/TCM (CONPARTE-1) y también se ha desarrollado en el marco del “Programa de Ayudas a Grupos de Excelencia de la Región de Murcia, de la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la RM (Plan Regional de Ciencia y Tecnología 2007/2010)”. Juan Pedro Muñoz Gea también agradece al MEC la concesión de una beca FPU (referencia AP2006-01567).

Referencias

- [1] J. Jannotti, D. K. Gifford, K. L. Jonson, M. F. Kaashoek, J. W. O’Toole. “Overcast: reliable multicasting with an overlay network”. Proceedings of operating systems design and implementation. 2000, pp 197-212.
- [2] Y.-H. Chu, B. Li, K. Nahrstedt. “A case for end system multicast”. Proceedings of ACM SIGMETRICS, 2000.
- [3] Y. Guo, S. Mathur, K. Ramaswamy, S. Yu, B. Patel. “Ponder: providing commercial-quality-on-demand service using peer-to-peer network”. Technical report, corporate research, Thomson Inc. July 2006.
- [4] A. Vlavianos, M. Iliofotou, M. Faloutsos. “Bitos: enhancing bittorrent for supporting streaming applications”. In 9th IEEE global internet symposium 2006, April 2006.

Evaluación de las pérdidas por evaporación en embalses de riego de la cuenca del Segura

Gallego Elvira B.; Maestre Valero J.F.; Martínez Álvarez, V.
 Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
 Dpto. de Ing. de los Alimentos y del Equip. Agrícola, Área Agroforestal
 Paseo Alfonso XIII, 48, 30203 Cartagena (Murcia)
 Teléfono: 968 32 7052, Fax: 968 32 7031
 E-mail: belen.gallego@upct.es

Resumen. *Las pérdidas por evaporación en embalses de riego agrícolas, pueden suponer un importante porcentaje del total de agua almacenada en regiones áridas o semiáridas. En este estudio se caracterizaron (ubicación y geometría) los embalses de la cuenca del Segura y se estimó su tasa media de evaporación. Para el cálculo de la evaporación, se determinaron los valores anuales del coeficiente de tanque, K_p , considerando la geometría de los embalses y las condiciones meteorológicas locales. La superficie y distribución de los embalses fueron obtenidas mediante técnicas de fotointerpretación y los datos meteorológicos fueron facilitados por 74 estaciones automáticas ubicadas en la cuenca. Las pérdidas regionales de evaporación se estimaron aplicando técnicas de agregación con un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se identificaron 14.145 embalses (4.901 ha) en la cuenca, que representan el 1,81% del total de la superficie regable y cuyas pérdidas de agua anuales alcanzan los 58,5 hm³ (8,3% del consumo de agua de riego total en la cuenca).*

1 Introducción

En las últimas décadas, el continuo crecimiento de la superficie destinada a cultivos en regadío en zonas semiáridas y el consiguiente aumento de la demanda de agua para agricultura, que supone el 80% de la demanda hídrica total, ha provocado una situación de déficit hídrico, estimado en 460 hm³, que afecta a las mas de 3.5·10⁵ ha de cultivo de la cuenca del Segura.

El riego por turnos, sistema característico del sureste español, hace necesario el almacenamiento del agua de riego en pequeños embalses agrícolas para la compensación temporal de la oferta con la demanda. Los embalses de la cuenca del Segura, presentan un área superficial media entre 10³ y 3·10⁴ m² y una profundidad media de 5-10 m y presentan impermeabilización para evitar las pérdidas por infiltración. Debido a la fuerte demanda climática y la alta relación área-profundidad, la eficiencia del uso de agua almacenada se ve reducida por las grandes pérdidas por evaporación, E, que representan un importante porcentaje del agua embalsada.

Una metodología sencilla para la estima de E, es la determinación de E a partir de datos de evaporación en tanque clase A, E_p (Linacre, 1994). Para ello es necesario conocer el coeficiente de tanque, K_p , con un valor medio anual de 0,7 (Linacre, 2004) y que varía en función de la geometría del cuerpo del embalse y las condiciones climáticas locales (Martínez et al., 2007).

Los objetivos del estudio fueron (i) analizar las características de los embalses de riego de la cuenca del Segura y (ii) evaluar la magnitud de las pérdidas por evaporación.

2 Material y métodos

2.1 Caracterización de embalses de riego de la cuenca del Segura

La ortofoto SIGPAC del año 2003 correspondiente a la cuenca del Segura fue meticulosamente fotointerpretada mediante el software ArcGIS 9.2 (SIG). A partir de esta información se obtuvo el área y distribución de los embalses en la cuenca.

2.2 Datos meteorológicos y evaporación en tanque clase A

La información meteorológica fue facilitada por 74 estaciones automáticas pertenecientes a las redes agrometeorológicas SIAM (Servicio de Información Agraria de Murcia) y SIAR (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío).

Los siguientes datos diarios, medidos a 2m de altura sobre la superficie, fueron descargados de las estaciones meteorológicas, para el periodo 2002-2006: temperatura y humedad relativa del aire (Vaisala HMP45C), precipitación (ARG100), velocidad y dirección de viento (RM YOUNG 05103) y radiación solar (SKYE SP1110 o Kipp & Zonen CMP6).

Los valores de E_p , se determinaron a partir de los datos meteorológicos aplicando el modelo balance de energía para tanque clase A propuesto por Molina et al. (2006).

2.3 Metodología de cálculo de la evaporación

Se determinó E a partir de datos de E_p , aplicando valores de K_p determinados mediante la metodología propuesta por Martínez et al. (2007) para las condiciones climáticas características de la cuenca del Segura:

$$K_p = f_1(S)f_2(VPD) = \frac{a_1 + \log_{10} S}{a_2 + (\log_{10} S)^{a_3}} (1 - a_4 VPD) \quad (1)$$

donde S es la superficie de agua (m^2), VPD es déficit de presión de vapor (kPa) y a_1 , a_2 , a_3 y a_4 son los parámetros de las funciones de viento.

La evaporación anual de cada embalse es por tanto:

$$E = K_p E_p S \quad (2)$$

El volumen total de agua evaporada en la cuenca se determina con las herramientas de agregación de ArcGIS 9.2, una vez se ha determinado E para cada uno de los embalses.

3 Resultados

Se identificaron un total de 14.145 embalses, con una superficie conjunta de 4.901 ha, que representan el 0,26 y 1,81% de la superficie total de la cuenca y del total de la superficie regable, respectivamente. La distribución espacial de la media anual de E_p y DPV se obtuvo mediante interpolación por el inverso de la distancia de los valores puntuales y se presenta en la Fig. 1 junto a la distribución espacial de los embalses de riego.

A partir de la Ec. 2 se determinaron los valores de E para cada embalse. Estos datos se agregaron para obtener el para pérdida total por evaporación en embalses de toda la cuenca, cuya magnitud calculada fue $58,5 \text{ hm}^3$, correspondiente a una evaporación media anual de 1404 mm de la superficie de agua.

Las pérdidas de agua estimadas son casi el doble del consumo industrial (23 hm^3), similares a la demanda hídrica medioambiental (60 hm^3) y equivalentes al 27% del consumo urbano total de la cuenca. En relación al consumo anual del sector agrícola (700 hm^3), estas pérdidas representan el 8.3% del agua para riego.

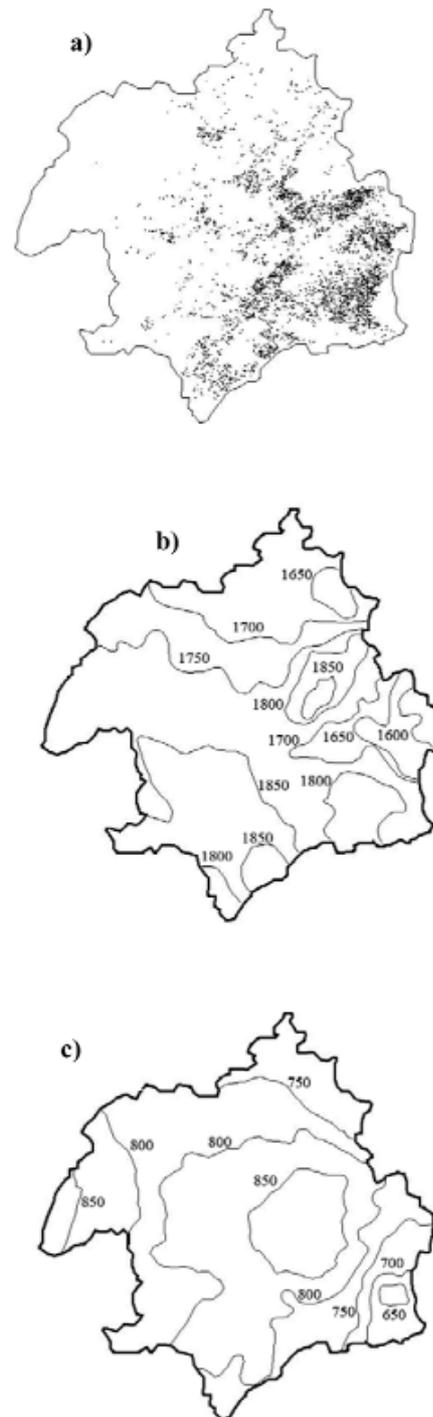


Figura 1. Distribución espacial de los embalses de riego (a), E_p anual (b) y DPV anual (c) de la cuenca del Segura

4 Conclusiones

Las pérdidas totales por evaporación de los numerosos embalses de riego en la cuenca del Segura, disminuyen considerablemente la eficiencia del uso del agua en la agricultura.

Sería recomendable emplear técnicas de reducción de la evaporación como las mallas de sombreo (Martínez et al. 2006), cortavientos o coberturas flotantes.

La metodología de cálculo de evaporación regional, podría utilizarse en otras regiones y climas, siempre que se disponga de funciones (f_1 , f_2) calibradas localmente para determinar K_p con la ecuación 1.

Referencias

1. Linacre, E.T., 1994. Estimating U.S. Class-A pan evaporation from few climatic data. *Water Int.* 19, 5-14.
2. Linacre, E.T., 2004. *Hydrology, an introduction*. Cambridge University Press, New York, 605pp.
3. Martínez Álvarez, V., Baille A., Molina Martínez J.M. and González-Real M.M., (2006). Efficiency of shading materials in reducing evaporation from free water surfaces. *Agr. Water Manage.* 84, 229-239.
4. Martínez Álvarez, V., González-Real, M.M., Baille, A., Molina Martínez, J.M., (2007). A novel approach for estimating the pan coefficient of irrigation water reservoirs. Application to South Eastern Spain. *Agr. Water Manage.* 92, 29-40.
5. Martínez Álvarez, V., González-Real, M.M., Baille, A., Maestre Valero, J.F., Gallego Elvira, B. (2008). Regional assessment of evaporation from agricultural irrigation reservoirs in semiarid climate. *Agr. Water Manage.* En prensa.
6. Molina Martínez, J.M., Martínez Álvarez, V., González-Real, M.M., Baille, A. (2006). A simulation model for predicting hourly pan evaporation from meteorological data. *J. Hydrol.* 318, 250-261.

Proliferaciones de algas tóxicas *Harmful Algal Blooms (HABs)*

Sil-lá Abad y Javier Gilabert
Grupo de Ecosistemas
Departamento de Ingeniería Química y Ambiental
Paseo Alfonso XIII, 48, 30203 Cartagena (Murcia)
Teléfono: 968 325669 Fax: 968 325435
E-mail: sil_la.abad@upct.es

Resumen: Las proliferaciones de algas tóxicas están consideradas en la actualidad como uno de los mayores riesgos a los que tienen que hacer frente las zonas costeras a nivel mundial. El estudio de estas proliferaciones se define por la densidad de las células y por el nivel tóxico en el agua. El objetivo de la investigación del Grupo de Ecosistemas es el estudio de la dinámica y proliferaciones del fitoplancton tóxico en las costas de la Región de Murcia.

1 Introducción

Las floraciones de algas nocivas son proliferaciones de células de fitoplancton (algas unicelulares y microscópicas) que produce mortandad masiva de peces, contaminación de los alimentos marinos con toxinas y alteración de la estructura del ecosistema implicando grandes pérdidas económicas y problemas de salud pública (Smayda, 1997 a).

Hay dos clases de organismos que causan estas proliferaciones: 1) los que producen toxinas - alrededor de 85 especies de fitoplancton, de las que aproximadamente el 75% son dinoflageladas (Sournia 1995, Smayda, 1997 b) -, que pueden contaminar alimentos marinos y provocar mortandad con densidades de células bajas y 2) los que no produciendo toxinas provocan mortandad por acción mecánica o química - obturación de agallas en peces y filtros en bivalvos o producción de anoxia en el ecosistema -.

Según el informe de 2003 del programa GEOHAB - *Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms* - en las dos últimas décadas se ha producido un alarmante incremento de la frecuencia y distribución geográfica de estas proliferaciones que ha merecido el calificativo de "epidemia". Las causas que los inducen no son bien conocidas y pueden ser múltiples (Smayda, 1997 b). Entre las naturales se contemplan las físicas - dispersión de especies por corrientes - y las biológicas - capacidad de ajustar el ciclo vital a las condiciones ambientales mediante la formación de cistes -. Entre las causas antrópicas se consideran: 1) el proceso generalizado de eutrofización - producido por vertidos de aguas residuales, deposición atmosférica o filtración de aguas del subsuelo ricas en nitratos que induce la selección de determinadas grupos taxonómicos; 2) la eutrofización causada por el incremento de materia orgánica en el agua por el aumento de las actividades de acuicultura (Glibert et al., 1999) y 3) el transporte por aguas de lastre en barcos de líneas comerciales (Hallegraeff 1998) especialmente de algunas dinoflageladas que pueden adoptar formas de resistencia manteniéndose vivas - aunque inactivas - en oscuridad. Las formas de resistencia se acumulan

en los sedimentos de zonas someras y su maduración se regula por las condiciones ambientales incluyendo la disponibilidad de nutrientes (Ghode et al. 2001). También podemos tener en cuenta otras causas como la artificialización de la línea de costa y, por tanto, la modificación de la línea costera. Se crean zonas de bajo hidrodinamismo para uso recreativo (puertos, playas protegidas, espigones) (Garcés, et al. 1999). La eutrofización además de un aumento de nutrientes provoca un cambio en la relación de nutrientes (aumento del nitrógeno y fósforo y no del silicato); lo que favorece el crecimiento de los dinoflagelados (no requieren Si) frente a las diatomeas (sí lo necesitan) aumentando el riesgo de HABs (Riegman 1995, Richardson and Jørgensen 1996, Smayda 1997).

Hipóticamente las zonas más susceptibles de HABs son ambientes eutrofizados, poco turbulentos (Margalef, 1978; Margalef et al., 1979) y someros donde los cistes pueden acumularse en el sedimento para luego dispersarse a zonas vecinas (Anderson y Keafer, 1987). Típicamente son lagunas costeras (Lassus et al., 1999, Pearce et al. 2000), zonas de cultivo con bajo hidrodinamismo (Sakamoto 1986, Wu et al. 1994, Romdhane et al. 1998) o puertos (Vila et al., 2001) y bahías cerradas.

El aumento de la frecuencia de las proliferaciones de algas tóxicas en nuestra latitud también podría explicarse como consecuencia del cambio climático global.

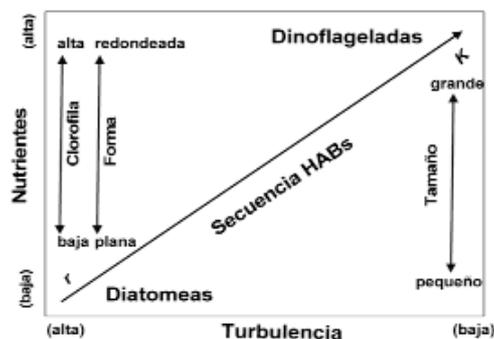


Fig 1. Características del fitoplancton en función de la concentración de nutrientes y turbulencia del medio (Modificado de Margalef, 1978 y Margalef et al. 1979).

A consecuencia de este cambio se incrementan las temperaturas máximas, y debido a que muchas de las especies que producen toxinas son de origen tropical pueden verse favorecidas por estos cambios térmicos a los que son extremadamente sensibles.

Muchas de las especies HAB desarrollan toxinas como metabolitos secundarios con actividad citolítica, hemolítica o neurotóxica. En nuestra latitud se distinguen toxinas que producen parálisis (PSP, *paralytic shellfish poisoning*), neurotoxinas (NSP, *Neurotoxic Shellfish Poisoning*), toxinas diarreicas (DSP, *Diarrhetic Shellfish Poisoning*) y amnésica (ASP, *Amnesic Shellfish Poisoning*).

Las proliferaciones de microalgas tóxicas no sólo se definen por la densidad de células alcanzada con respecto a la línea base del sistema, sino por su efecto tóxico y nivel de toxinas apreciable en el agua. El objetivo de este grupo de investigación es conocer la dinámica de estas proliferaciones.

2 Materiales y métodos

Se analizaron un total de 30. Las muestras se tomaron semanalmente en las playas de Calarreona, La Higuera y La Carolina de Águilas durante el verano de 2006. El plan de vigilancia se extendió a todas las playas de la Región en 2007 (Fig. 2) aunque aquí no se muestran los resultados.

El muestreo se realiza desde tierra. Se tomaron muestras de superficie (a 25 cm de la superficie del agua) y de fondo (a 25 cm del fondo sobre una profundidad de 1.5 m aproximadamente). Las muestras de fondo se tomaron para comprobar la presencia de microalgas epibentónicas. El recuento de especies potencialmente tóxicas y la densidad celular se realizó mediante el método Uthermöl. Para ello se sedimenta una alícuota de 100ml. durante 24h. La muestra se observa al microscopio invertido (Leica IML) para la identificación y recuento de las células de fitoplancton.

3 Resultados

En el plan de vigilancia realizado en 2006 las células potencialmente tóxicas encontradas a nivel de superficie fueron básicamente de tres tipos: del tipo *Karenia*, las pertenecientes a los géneros *Chattonella* y *Ostreopsis*. Al final del periodo de muestreo aparecieron también células del género *Prorocentrum*.

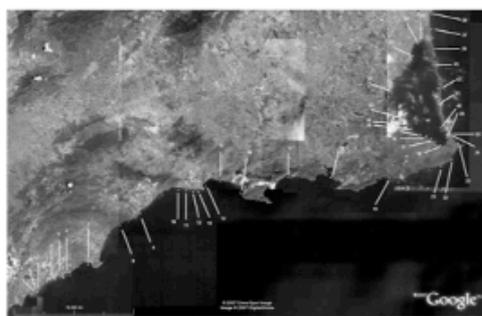


Fig.2: distribución de las playas estudiadas el verano de 2007.

Conviene recordar que la identificación a nivel de especie requiere de otras técnicas de observación como microscopía electrónica y analíticas como HPLC.

Dentro del tipo de células *Karenia* se incluyen actualmente varios géneros como pueden ser los del propio *Karenia* pero también *Kerlotinium* y *Katodinium*. Dentro del género *Chattonella* encontramos dos especies: *C. antiqua* y *C. marina*. Las células del género *Chattonella* y las del tipo *Karenia* sintetizan brevetoxinas. Algunas especies del género *Gymnodinium* como *Gymnodinium catenatum* (formadora de colonias) producen una toxina paralizante (*Paralytic Shellfish Poisoning*, PSP).

El género *Ostreopsis* pertenece a la microalgas dinoflageladas (Dinoficeas Gonyaulacales). Se trata de un dinoflagelado con armadura constituida por placas en las cuales se basa su identificación taxonómica. A falta de una comprobación definitiva se han apreciado dos especies de este género, probablemente *O. ovata* y *O. siamensis*.

Ostreopsis siamensis produce una toxina neurotóxica denominada ostreocina D que es una palitoxina (PTX). Es uno de los compuestos naturales más tóxicos conocidos con una dosis letal para humanos de menos de 5 microgramos (dosis letal 50 (LD₅₀) de 0.06 µg/Kg) para la que no se conoce antídoto. La figura 4 compara su toxicidad con otras moléculas letales.

Las palitoxinas actúan en las membranas para hacerlas permeables a los cationes - típicamente sodio, potasio y calcio-. Muchas funciones celulares dependen del control de los flujos de entrada y salida a las células de estos cationes de forma que la interrupción de este tráfico produce consecuencias graves. A nivel fisiológico el mayor peligro reside en el miocardio produciendo como primer efecto la vasoconstricción en el corazón y pulmones. Otro efecto es el hemolítico o de destrucción de los glóbulos rojos. La combinación de los tres efectos mencionados produce una ruptura en el suministro de oxígeno provocando la asfixia.

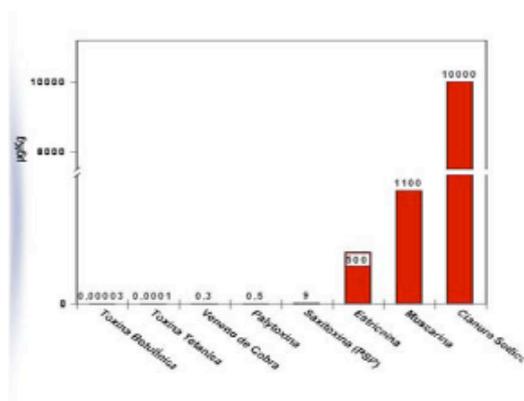


Fig. 4. Comparación de la toxicidad de palytoxinas con otras sustancias letales.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó por convenio con el Departamento de Sanidad Ambiental de la Consejería de Sanidad de la Comunidad Autónoma de Murcia. Los autores quieren agradecer a los miembros de la consejería de sanidad que han participado en la obtención de las muestras.

Referencias

- 1) Anderson, D. y Keafer, B.A. 1987. An endogenous annual clock in the toxic marine dinoflagellate *Gonyaulax tamarensis*. *Nature* 325:616-617.
- 2) Beman J. M., Arrigo K. R. y Matson P. A. 2005. Agricultural runoff fuels large phytoplankton blooms in vulnerable areas of the ocean. *Nature*. 434:211-214.
- 3) Garcés, E., Masó, M. y Camp, J. 1999. A recurrent and localized dinoflagellate bloom in a Mediterranean beach. *Journal of Plankton Research* Vol.21 no.12 pp.2373-2391.
- 4) Gilabert, J. Informe sobre el "Plan de Vigilancia de Microalgas tóxicas en algunas playas de Águilas en el verano de 2006". No publicado.
- 5) Glibert, P.M., Kana, T.M., Cornwell, J.C., Harrell, R.M., Ludlam, J.M. y Owens, M.S. 1999. Nutrients and water quality in brackish-water Striped Bass (*Morone* spp.) in aquaculture ponds: Short-term water column and sediment dynamics. No publicado.
- 6) Godhe, A., Norén, F., Kuylenstierna, M., Ekberg, C. and Karlson, B. 2001. Relationship between planktonic dinoflagellate abundance, cysts recovered in sediment traps and environmental factors in the Gullmar Fjord, Sweden. *J. Plankton Res.* 2: 923-938.
- 7) Hallegraeff, G.M. 1998. Transport of toxic dinoflagellates via ships' ballast water: bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast water management strategies. *Mar.Ecol.Prog.Ser.* 168:297-309.
- 8) *Journal of Plankton Research* Vol.21 no.12 pp.2373-2391.
- 9) Lassus, P., Abadie, E., Amzil, Z., Belin, C., Comps, M.A., Elziere-Papayanni, P., Le Bec, C., Marcaillou-Le Baut, C., Nezan, E. y Poggi, R. 1999. Contamination de l'Étang de Thau par *Alexandrium tamarense*. Episode de novembre à décembre 1998. Bilans et prospectives Ifremer, Ifremer Brest Publisher, 44 pp.
- 10) Margalef, R. 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanol. Acta.* 1:493-509.
- 11) Margalef, R., Estrada, M. y Blasco, D. 1979. Functional morphology of organisms involved in red tides, as adapted to decaying turbulence. In: Taylor, D.,L. and Seliger, H.H. (eds.) *Toxic dinoflagellates blooms*. Elsevier, North Holland, Amsterdam. pp.: 89-94.
- 12) Pearce I., Marshall, J. y Hallegraeff, G.M. 2000. Toxic temperate epiphytic dinoflagellates in coastal lagoons off the East Coast of Tasmania. In: Hallegraeff, G.M. et al. (eds.). *Harmful algal blooms 2000*. Proc. 9th. Int. Conf. Harmful Algal Blooms, IOC, Paris.
- 13) Richardson, K. y Jørgensen, B.B. 1996. Eutrophication: Definition, history and effects. In: B.B. Jørgensen and K. Richardson (eds.) *Eutrophication in Coastal Marine Ecosystems*. Coastal and Estuarine Studies, Volume 52. American Geophysical Union, Washington, District of Columbia, pp. 1-19.
- 14) Riegman, R. 1995. Nutrient-related selection mechanisms in marine phytoplankton communities and the impact of eutrophication on the planktonic food web. *Water Science and Technology* 32(4):63-75.
- 15) Romdhane, M.S., Eilertsen, H.C., Yahia, O.K.D. y Yahia, M.N.D. 1998. Toxic dinoflagellate blooms in Tunisian lagoons: Causes and consequences for aquaculture. In: B. Reguera, J. Blance, M.L. Fernandez and T. Wyatt (eds.) *Harmful Algae*. Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris, pp. 80-83.
- 16) Sakamoto, I. 1986. N and P load control from the view point of pisciculture. In: A. Murakami (ed.) *Regulation of Nitrogen and Phosphorus Load into Partially Enclosed Fishing Ground for the Development of Fisheries*. Kouseisha Kouseikaku, Tokyo, Japan, pp: 86-133.
- 17) Smayda, T.J. 1997 a. What is a bloom? A commentary. *Limnology and Oceanography* 42:1132-1136.
- 18) Smayda, T.J. 1997 b. Harmful Algal blooms: their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnol.Oceanogr.* 42:1137-1153.
- 19) Sournia, A. 1995. Red-tide and toxic marine phytoplankton of the world ocean: An inquiry into biodiversity. In Harmful algal blooms. Proc. 6th. Int. Conf. on Toxic Marine Phytoplankton, Lavosier pp.: 103-112.
- 20) Vila, M., Camp, J., Garcés, E., Masó, M. y Delgado, M. 2001 a. High resolution spatio-temporal detection of potentially harmful dinoflagellates in confined waters of the NW Mediterranean. *J. Plankton Res.* 23:497-514.

¿Influye el movimiento de las cadenas poliméricas de PEDOT en su cinética de oxidación?

T. F. Otero, M. Caballero Romero.

Centro de Electroquímica y Materiales Inteligentes (CEMI). Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT).

Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena (Murcia)

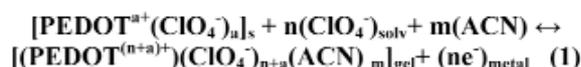
Teléfono: 968 32 5591 Fax: 968 32 5931

E-mail: maria.caballero@upct.es

Resumen. Este estudio se enmarca dentro de las líneas de trabajo del grupo de investigación que desarrolla síntesis, propiedades y aplicaciones electroquímicas de polímeros conductores siendo estas aplicaciones dispositivos electrocrómicos, músculos artificiales, membranas inteligentes e interfases nerviosas. Se propone el planteamiento de modelos cinéticos de reacción en sistemas densos, es decir en sólidos y geles, como por ejemplo son los polímeros conductores y las células vivas. Se ensayan por tanto parámetros cinéticos de un polímero conductor PEDOT (poli-3,4-etilendioxitiofeno), a partir de tres variables que influyen en su comportamiento electroquímico: potencial, concentración y temperatura. Se consigue caracterizar electroquímicamente el material conductor cuantificando parámetros cinéticos y se pueden predecir cualitativamente posibles estructuras conformacionales.

1 Introducción

Se han estudiado sistemas simples como disoluciones diluidas de gases, para encontrar las cinéticas de reacción, pero ¿qué ocurre con los sistemas complejos? Y ¿cómo puede estudiarse la cinética en sólidos densos o en células vivas? A partir de polímeros conductores, compuestos por cadenas de carbono que pueden compactarse por reducción y expandirse por oxidación^{1, 2}, disponemos de diferentes empaquetamientos conformacionales debido a las diferentes interacciones moleculares que ocurren en el seno de estos sólidos-geles. La velocidad de las reacciones electroquímicas en que intervienen estas conformaciones esta relacionada con la concentración de reactivos en la reacción electroquímica de oxidación-reducción de una película de PEDOT en acetonitrilo con LiClO₄ como electrolito:



Podemos pues promover cambios conformacionales sobre la estructura del polímero por varias perturbaciones sobre la película, como son potencial, concentración y temperatura que actúan como variables cinéticas y electroquímicas.

Mediante la estimulación del material por aplicación de un potencial catódico, pueden observarse máximos cronoamperométricos que se desplazan en el tiempo en función del potencial catódico aplicado. Se han demostrado y reconocido procesos físicos de nucleación y crecimiento y de difusión, pero ¿qué ocurre en el máximo?, ¿se trata de un proceso químico? (Fig. 1). Si así es, deberá cumplirse la ecuación:

$$i = k' \prod c_j^{\beta_j} \exp(\alpha z F \eta / RT) \quad (2)$$

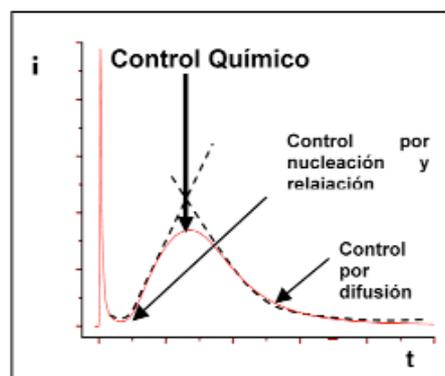


Figura 1. Diferentes procesos en la oxidación de películas de polímero conductor.

2 Experimental

El disolvente acetonitrilo (ACN) (Lab Scan) y la sal perclorato de litio (LiClO₄) (Fluka) de alta pureza se usaron sin ningún tratamiento, sin embargo el monómero 3,4- etilendioxitiofeno (Merck) se destiló a vacío antes de ser usado. El electrodo de trabajo ha sido una hoja de Pt de 1 cm² de área superficial, el contraelectrodo una hoja de acero de 3.75 cm² de área superficial y un Ag/AgCl (3M Cl⁻ Crison Instruments) se usó como referencia. Se usó una celda electroquímica de un solo compartimento y los experimentos fueron reproducidos en atmósfera de nitrógeno y a temperatura ambiente. En el estudio de temperaturas cada una de ellas fue mantenida por un criostato (Julabo F25) mediante una celda conectada de flujo continuo. Las técnicas electroquímicas fueron implementadas por un potencióstato-galvanostato (Eco Chemistry Autolab).

Las películas de PEDOT se generaron electroquímicamente en una disolución de LiClO₄ 0.1 M y 10 mM de 3, 4- etilendioxitiofeno en acetonitrilo como disolvente. Fueron obtenidas por cronopotenciometría, pasando una densidad de corriente constante (2 mA) a través del electrodo de Pt frente a Ag/AgCl durante un tiempo constante de 150 segundos, consumiéndose una carga constante de 300mC. Después de cada polimerización las películas obtenidas fueron lavadas con acetonitrilo, para eliminar los restos de monómero, y secadas antes de ser usadas. El peso de cada película se obtuvo en una balanza de precisión de 10⁻⁷ g (Sartorius SC2).

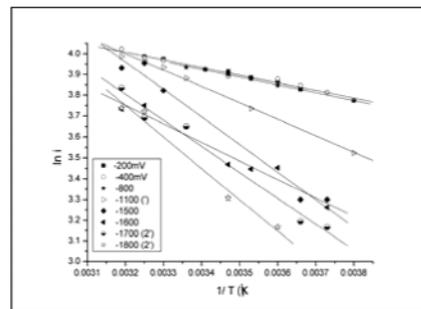
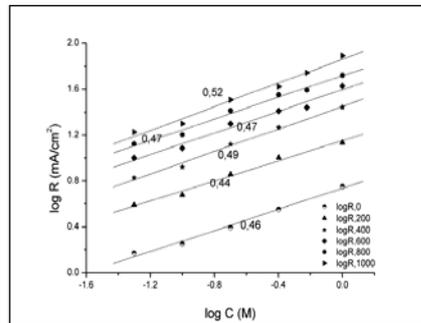
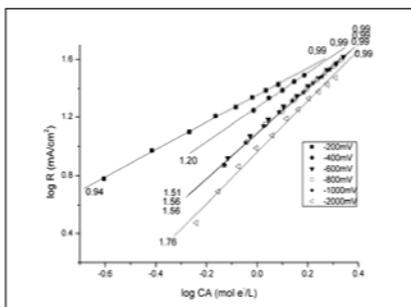
Cada una de las películas fue controlada por voltametría cíclica en acetonitrilo con LiClO₄ 0.1 M, entre límites de potencial constante. Ello permite conocer la carga total almacenada en la película antes y después de cada serie experimental (consistiendo una serie experimental en varios saltos de potencial desde diferentes potenciales catódicos, durante 30 segundos, a un mismo potencial anódico). Cuando la carga disminuía cerca de un 10% de la observada en la película recién sintetizada, una nueva película se obtenía y se chequeaba para someterla al estudio cinético.

3 Resultados

La cinética empírica de la reacción (1) será:

$$R = i = dQ/dt = k [ClO_4^-]^\alpha [AC]^\beta \quad (3)$$

que resulta muy útil para desarrollar el método experimental. Tomando logaritmos se tiene la siguiente ecuación: $\log i = \log k + \alpha \log [ClO_4^-] + \beta \log [CA]$ (4). Esta ecuación incluye tres variables experimentales: potencial catódico aplicado, concentración de electrolito y temperatura de la celda ($k = A \exp(-E_a/RT)$), donde E_a es la energía de activación de la reacción (1). Cuando cada una de ellas es modificada, se observan unas tendencias lineales en las representaciones gráficas de $\log i$ vs. a variable, como muestran las figuras 2.



Figuras 2. Representaciones gráficas doblemente logarítmicas, según ecuación (4), de la intensidad de los máximos cronoamperométricos vs. a las variables, en las distintas experiencias en las que fueron modificados potencial, concentración de electrolito y temperatura, respectivamente.

Las tendencias lineales que se observan permiten deducir la existencia de un control químico sobre la cinética de oxidación de PEDOT, tal y como precedía la ecuación (2).

Una vez que se obtienen α , β y E_a directamente de las pendientes de las gráficas anteriores, puede calcularse k y seguir su evolución con el potencial catódico aplicado (Figura 3). Se observa un rango de potenciales en los que k es constante y otro rango en el que depende de la prepolarización catódica.

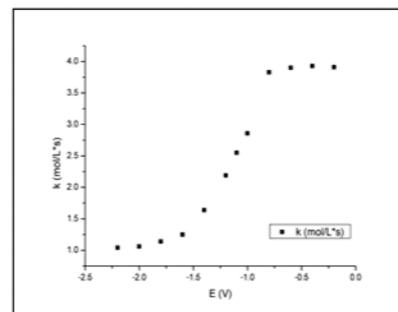


Figura 3. Evolución del coeficiente cinético k para distintos estados de empaquetamiento conformacional inicial, obtenidos mediante prepolarización, durante 30 segundos, a los potenciales catódicos indicados.

Del mismo modo puede representarse la energía de activación en función del potencial catódico aplicado (Figura 4). Se obtiene una tendencia similar a la anterior, en la que se observa cómo la energía de activación es constante a bajos potenciales y aumenta linealmente para prepolarizaciones más catódicas.

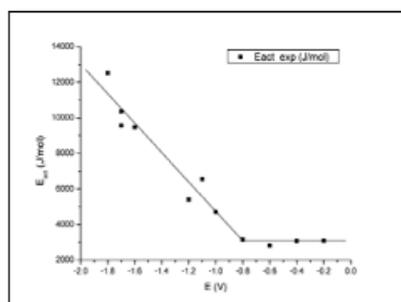


Figura 4. Evolución de la energía de activación experimental de la reacción (1), para distintos estados de empaquetamiento conformacional inicial obtenidos mediante prepolarización, durante 30 segundos, a los potenciales catódicos indicados.

Hay un determinado potencial, entorno a -1V al que tanto k como la E_a dejan de ser constantes, lo cual sorprende pues de ambas magnitudes se esperaría que fuesen constantes. Este potencial catódico se denomina potencial de cierre de la estructura (E_c) y es a partir del cual la estructura se cierra y compacta con la reducción.

4 Conclusiones

Los modelos empleados hasta ahora para el estudio cinético han abarcado sistemas gaseosos (disoluciones diluidas), sin embargo las reacciones en sistemas sólidos densos no han sido estudiadas desde el punto de vista cinético-químico. Los materiales poliméricos conductores son sistemas sólidos en los que existe intercambio de iones y moléculas de disolvente, siendo la reacción química la etapa determinante de la velocidad como se demuestra en este trabajo.

Se observa cómo la velocidad de reacción se hace más lenta (constante de velocidad más pequeña) en función del potencial catódico de prepolarización, de ahí el desplazamiento del máximo a tiempos mayores cuando se aplican potenciales catódicos más altos. Como consecuencia, a potenciales catódicos superiores al potencial de cierre, el coeficiente cinético k disminuye y la energía de activación aumenta. La energía de activación incluye dos componentes, la química, que es constante, y la conformacional, que aumenta linealmente con el empaquetamiento inicial de la película.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación al Ministerio de Educación y Ciencia (MEC), proyecto CTQ2005-00908/PPQ, así como a la Fundación Séneca, proyecto 00483/PI/04.

Referencias

- [1] T. F. Otero and E. Angulo. "Solid State Ionics", pp. 803-809, vol. 63-65 (1993).
- [2] T. F. Otero, H-J Grande and J. Rodríguez. "J. Phys. Chem. B" pp. 3688-3697, vol. 101 (1997).

Estudio comparativo de algoritmos para estimar la evapotranspiración a partir de información satelital (MODIS).

Tanguy, M.; Baille, A.; Martínez Álvarez, V.; González-Real, M.
 Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
 Dpto. de Ing. de los Alimentos y del Equip. Agrícola, Área Agroforestal
 Paseo Alfonso XIII, 48, 30203 Cartagena (Murcia)
 Teléfono: 968 32 7052, Fax: 968 32 7031
 E-mail: maliko.tanguy@upct.es

Resumen. En este estudio, se llevó a cabo un análisis comparativo de cinco algoritmos para la estimación de evapotranspiración (ET) a partir de datos de satélite (temperatura superficial, LST, e índice de vegetación, VI, del sensor MODIS de la plataforma TERRA). Tres de los algoritmos estiman ET como el término residual del balance de energía superficial, mientras que los otros dos derivan directamente la fracción evaporativa del análisis visual del espacio LST-VI. Estos últimos parecen proporcionar resultados más realistas. La evolución de la distribución espacial de ET obtenida mediante el método propuesto por Jiang et al. (2004) fue analizado para el año 2002 en un área de 50 x 50 km² en la Región de Murcia, en el sur-este de España. Se pudo observar una clara respuesta de ET tras una lluvia, lo cual sugiere que la estimación de ET puede dar información sobre el grado de aridez de una zona. El mapa de ET obtenido por el mismo método se superpuso con un mapa de usos y aprovechamientos del suelo, y se pudo así identificar la naturaleza de las zonas con mayor y menor evapotranspiración. Las zonas de vegetación natural resultaron ser las que mayores valores de ET tienen, mientras que las que menos evapotranspiran son las de cultivos en seco.

1 Introducción

La evapotranspiración (ET) constituye un importante elemento que enlaza el ciclo hidrológico y el balance de energía superficial. El conocimiento de su dinámica como de su distribución espacial es de suma utilidad en múltiples aplicaciones en agricultura, hidrología y gestión de los recursos naturales.

Habitualmente la estimación de ET se realiza de modo puntual; es decir, en los lugares donde se sitúan los observatorios meteorológicos o el instrumental destinado a tal propósito. Si se pretende obtener una imagen de la variación regional de esta variable, aumenta notablemente la incertidumbre de la estimación, al precisarse métodos de interpolación suficientemente fiables. Una alternativa es apoyarse en información satelital y en técnicas de teledetección con el fin de estudiar la variación espacio-temporal de ET.

Con este objetivo, se analizaron distintos algoritmos para la estimación de la evapotranspiración usando información satelital, cuya aplicación en la Región de Murcia permitió identificar la naturaleza de las zonas que presentaban comportamientos diferentes.

2 Material y métodos

Se realizó un análisis comparativo de cinco modelos:

- El método simplificado (SM) (Carlson et al., 1995).
- El método Simplified Soil Energy Balance Index (S-SEBI) (Roerink et al., 2000).
- El modelo Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) (Bastiaanssen et al., 1998).
- El método propuesto por Jiang et al. (JIC) en 2004.
- El modelo Two Source Energy Balance (TSEB) (Melesse et al., 2005).

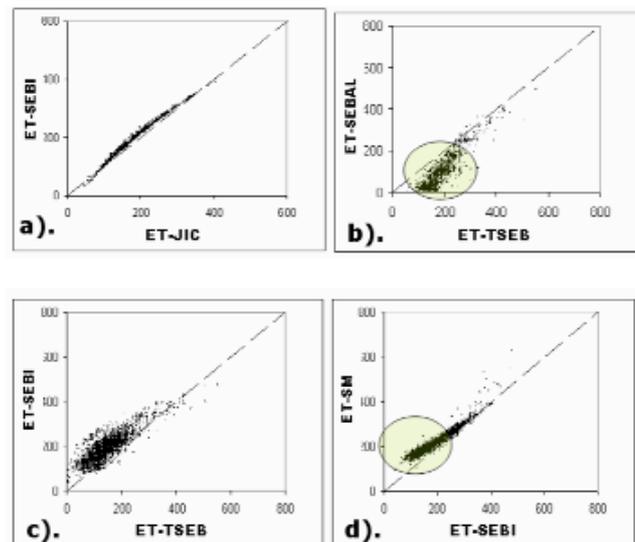


Figura 1. Gráficas comparativas de los algoritmos (4 de mayo 2002).

Los métodos JIC y S-SEBI son métodos gráficos que se basan en la determinación de la fracción evaporativa (EF) y utilizan el espacio T-VI (temperatura de superficie-índice de vegetación) al que se imponen límites superior e inferior. Los otros tres métodos (SM, SEBAL y TSEB) son derivados del método residual de la ecuación del balance de energía, y se basan en la estimación del flujo de calor sensible.

Para aplicar los algoritmos, se emplearon productos MODIS de temperatura superficial (Land Surface Temperatura, LST), y de reflectividad en el rojo y en el infrarrojo cercano, todos con una resolución espacial de 1km. El estudio se realizó para 10 fechas a lo largo del año 2002. La zona de estudio se ubica en la cuenca del río Segura, en la región de Murcia, y se consideraron dos cuadrículas de 50km x 50km (coordenadas ventana 1: superior 4211735,13, derecha 646464,76, izquierda 692796,03, inferior 4165403,86; coordenadas ventana 2: superior 4258066,40, derecha 646464,76, izquierda 692796,03, inferior 4211735,13).

Con el fin de identificar la naturaleza de las zonas que presentaban comportamientos diferentes se superpuso un mapa con uno de usos y aprovechamientos de la zona de estudio (Corine Land Cover 2000) y la serie temporal de coberturas de ET estimadas por la metodología JIC.

3 Resultados y conclusiones

Tras realizar el análisis comparativo de los algoritmos, se pudo constatar que los métodos gráficos al ser autorestrictivos ("self constrained" algorithms) ofrecen resultados más robustos y realistas que los modelos derivados del método residual. Para valores pequeños de ET, SEBAL subestima sistemáticamente la ET y SM la sobreestima (Fig. 1).

El resultado de la superposición de un mapa de ET estimado por JIC con los usos y aprovechamiento de la región permitió identificar la naturaleza de las zonas con distintos valores característicos de ET. Las zonas de mayor ET fueron las de vegetación natural, seguidas de los cultivos en regadío y los valores mínimos se asociaron a los cultivos en secano (Fig.2).

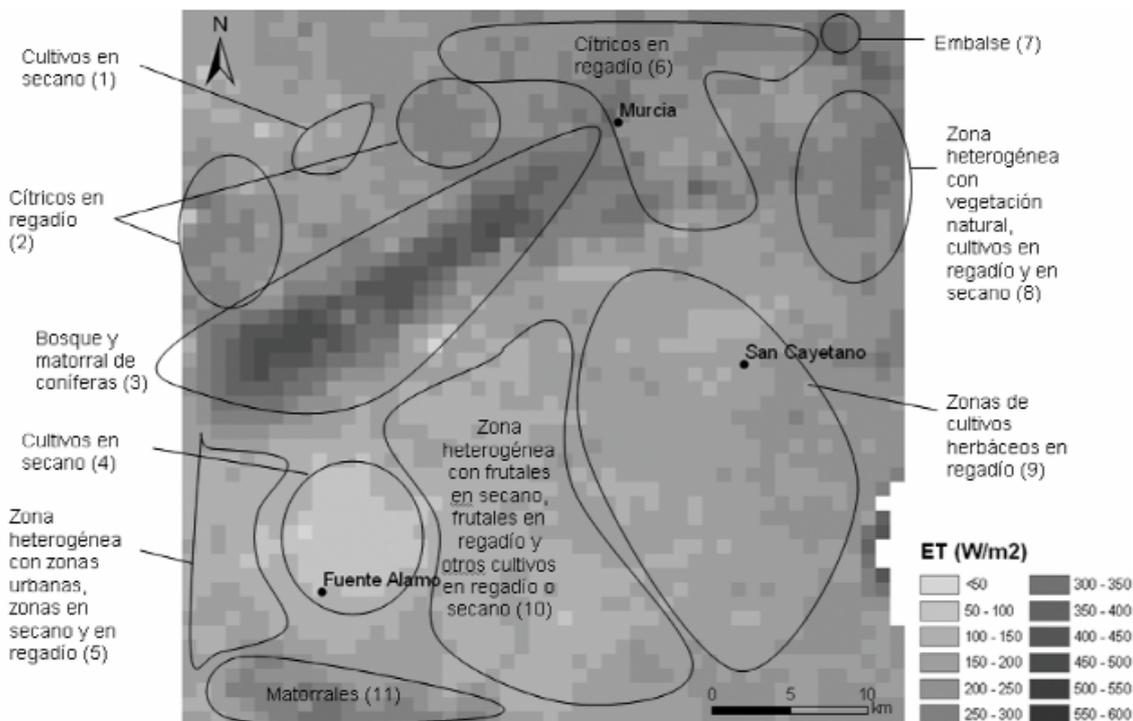


Figura 2. Mapa de evapotranspiración (9 de junio 2002) con identificación de las zonas.

Referencias

1. Carlson, T.N., William, J.C., Gillies, R.R. (1995). A new look at the simplified method for remote sensing of daily evapotranspiration. *Remote Sens. Environ.*, 54, 161-167.
2. Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R. A., Houtslag, A.A.M. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *J. Hydrol.*, 212/213, 198-212.
3. Jiang, L., Islam, S., Carlson, T.N. (2004). Uncertainties in latent heat flux measurements and estimation: implications for using a simplified approach with remote sensing data. *Can. J. Remote Sensing*, 30, 769-787.
4. Melesse, A.M., Nangia, V. (2005). Estimation of spatially distributed surface energy fluxes using remotely-sensed data for agricultural fields. *Hydrological Processes*, 19, 2653-2670.
5. Roerink, G.L., Su, Z., Menenti, N. (2000). S-SEBI: A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance. *Phys. Chem. Earth (B)*, 25, 147-157.

Investigación en contaminación atmosférica en Cartagena: Aerobiología y Toxicología Ambiental y Química del Medio Ambiente.

Luis Negral; Belén Elvira Rendueles; Stella Moreno-Grau; José Moreno; Antonio García-Sánchez; M^a José Martínez García; Nuria Vergara; Joaquín Moreno-Clavel
Departamento de Ingeniería Química y Ambiental - Universidad Politécnica de Cartagena
Avda. Dr. Fleming s/n, 30202, Cartagena (Murcia)
Teléfono: 968 32 6403 Fax: 968 32 6561
E-mail: luis.negral@upct.es

Resumen. *La preocupación por la contaminación atmosférica en Cartagena de los Grupos de Investigación "Aerobiología y Toxicología Ambiental" y "Química del Medio Ambiente" surge en parte de sus miembros ya en la década de los 70 del siglo pasado. Desde entonces, Cartagena ha experimentado significativos episodios de contaminación que han llevado a las diferentes autoridades a implementar medidas de subsanación. En la persecución de estas mejoras nuestros grupos de investigación han aportado su ayuda y lo siguen haciendo: sea el caso de las tesis doctorales que a día de hoy están en proceso de redacción y versan sobre estos temas. Proponemos aquí una revisión de los trabajos que se realizan y de algunos de los últimos hallazgos de los grupos, presentando el equipamiento y medios para la buena práctica científica.*

1 Introducción

La contaminación atmosférica en la ciudad de Cartagena está motivada tanto por factores antrópicos como naturales. La distinción de estas causas y su implicación en los niveles de un contaminante determinado es el camino para que las autoridades gestoras de medio ambiente dispongan de información a la hora de adoptar las medidas oportunas que preserven una calidad ambiental adecuada.

1.1 Cartagena y sus características

Se describen los siguientes factores [1] naturales contribuyentes a la contaminación atmosférica:

- a) Aportes naturales pulverulentos, bien por intrusiones de masas de aire con polvo de los desiertos africanos, bien por resuspensión de material particulado local/regional bajo condiciones meteorológicas definidas.
- b) Intensa actividad fotoquímica que varía la concentración de las especies químicas fotosensibles.
- c) Elevada humedad relativa que favorece la química acuosa y, por ende, las reacciones con sal marina como reactivo.
- d) Encajonamiento topográfico que limita la ventilación de la ciudad.
- e) Baja pluviosidad que tanto dificulta el lavado atmosférico como contribuye a la aridez de unos terrenos con una pobre cubierta vegetal.

En cuanto a la contribución humana se puede citar:

- a) Ingente actividad industrial.
- b) Ubicación históricamente controvertida del tejido industrial en el propio seno de la ciudad.
- c) Posibilidad de alcance de masas con cierta carga contaminante de origen europeo.

1.2 Antecedentes

Algunos de los momentos de mayor trascendencia en la evolución de la contaminación en la ciudad han sido [2]: en 1979, cuando se publica el Real Decreto 1197 (BOE 123, de 23/5/1979. p. 11406) y se declararan aplicables las medidas y beneficios previstos en la Ley 38/1972 (BOE 309, de 26/12/1972. p.23031) de protección del medio ambiente atmosférico, lo que propició la puesta en marcha del Plan de Saneamiento Ambiental; en 1987, cuando se produjeron varios brotes asmáticos asociados a descargas de graneles de soja en el puerto de Cartagena; en 1989, cuando la Comunidad Autónoma se vio abocada a intervenir sobre la actividad industrial dando lugar a la puesta en marcha del Plan Operativo de la Ciudad de Cartagena, que en situación de alta concentración de contaminantes a nivel de inmisión, impone restricciones a la emisión industrial a través de la bajada de carga o la paralización del proceso.

El cierre o traslado de algunas industrias en años posteriores, acompañado por la publicación de varias Directivas que se han transpuesto a la legislación nacional han propiciado la mejora de los parámetros

ambientales monitorizados por las redes de seguimiento en la ciudad.

1.3 Medios de los grupos

En el equipamiento de nuestros grupos de investigación están los equipos de campo, captadores y unidad móvil y las instalaciones fijas del laboratorio de investigación en tecnologías del medio ambiente.

En el primer grupo están por un lado los captadores de aerosol atmosférico sedimentable, en suspensión y de naturaleza polínica; estos dispositivos están ubicados en distintos puntos del municipio y aportan información periódica de la carga contaminante una vez son analizados sus registros en laboratorio. Por otro lado, la unidad móvil de medida de contaminación LIDAR es un laboratorio sobre un camión que permite el seguimiento de la dinámica de masas de aire enriquecidas en contaminantes como ozono u orgánicos de naturaleza aromática (ej. benceno). El fundamento de la técnica es la absorción por el contaminante de luz de una particular longitud de onda que es emitida desde el telescopio del vehículo.

En el laboratorio de investigación está el instrumental analítico para la correcta caracterización de las muestras recibidas: microscopio óptico para recuentos polínicos y liofilizador para conservación de muestras biológicas; equipos de análisis elemental apropiados según el tipo de muestra, sean estos el plasma óptico (Fig. 1), absorción atómica de llama, espectroscopio visible, polarógrafo y analizador de mercurio; cromatógrafos para cuantificación de cationes y aniones; cromatógrafo de gases con detector de espectro de masas para cuantificación de sustancias orgánicas; y otros equipos de laboratorio para realizar diversas determinaciones como humedad, gravimetrías, volumetrías...

Fig. 1 Imagen del Plasma óptico donde se realizan análisis de varios elementos simultáneamente.



2 Proyectos recientes. La caracterización de fuentes del aerosol en suspensión.

Uno de los parámetros cuyo seguimiento es exigido por la normativa es el aerosol PM10 (aquellas partículas que tienen un tamaño equivalente, según definición, no superior de 10 micras). El cumplimiento de este parámetro es difícil incluso sólo considerando causas naturales; lo que lo ha convertido en razón de la tesis doctoral "Materia particulada en suspensión en el sudeste español: identificación de episodios naturales en Cartagena y su repercusión sobre las superaciones normativas", estudio que es realizado por Luis Negral bajo la codirección de los doctores Stella Moreno-Grau, de la Universidad Politécnica de Cartagena y Xavier Querol, del Instituto de Ciencias de la Tierra "Jaume Almera" del CSIC.

2.1 Motivo de estudio

Puesto que la legislación establece unos umbrales de inmisión para el PM10 y esta misma legislación reconoce la posibilidad de superaciones de ese umbral por causas naturales, es trascendente poder demostrar que una superación es debida a una causa u otra con objeto de evitar sanciones injustas. Esta circunstancia está recogida en los propios textos normativos que regulan los umbrales.

2.2 Metodología

Con un captador selectivo para PM10 (Fig. 2), se recogen muestras diarias de aerosol sobre filtros de fibra de cuarzo registrando el periodo de muestreo y el volumen de aire aspirado. Por gravimetría se podrá cuantificar la masa de PM10 referido a un volumen de aire. El análisis químico permitirá caracterizar la composición de cada día y construir modelos: la estadística, a través del análisis factorial y la regresión lineal múltiple apuntarán a la identificación de fuentes y al peso de estas en cada día, incluso para cada especie química o contaminante.

Herramientas complementarias que se erigen para confirmar la trascendencia de una fuente en un día dado son: el análisis de retrotrayectorias de las masas de aire que llegan a la ciudad, las imágenes de satélite, los mapas de aerosoles, las simulaciones de concentración de aerosol y los mapas meteorológicos.

3 Resultado preliminar y conclusiones

En un primer estudio [3] con muestreo en los años 2004-2005, se han identificado hasta seis fuentes de PM10 en Cartagena: la cristal o mineral del polvo, el tráfico, el aerosol secundario, la planta de producción de zinc electrolítico, el mar y el astillero. En cuanto a la fracción fina de las 2.5 micras, el PM2.5, se han identificado en una estación de muestreo de la ciudad

las fuentes: cristal o mineral del polvo, el tráfico, el aerosol secundario enriquecido con diversos aportes industriales locales, el mar y la planta de producción de zinc electrolítico.

Por otro lado, para el año 2006 [4], de un total de 33 superaciones al umbral diario de $50\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$, 27 coincidieron con episodios con factores exógenos a la propia actividad antrópica cartagenera.

Se puede decir que con tal variedad de fuentes y en las proximidades de la superación de los valores normativos, la modelización y la implementación de una metodología para la caracterización de episodios son imprescindibles para enfocar los esfuerzos de corrección de aquellas causas contaminantes sobre las que las autoridades con competencias en el municipio pueden actuar. Es decir, la profundización del conocimiento de los factores implicados permitirá saber cuáles son aquellas fuentes cartageneras antrópicas a gestionar y, de otro modo, presentar los aportes que quedan fuera de la propia gestión desde el municipio.

Fig. 2 Imagen del Captador de aerosol de alto volumen Digitel DHA-80.



Agradecimientos

Los autores desean agradecer al programa del Ministerio de Educación y Ciencia "Formación del Profesorado Universitario" (FPU) por conceder un contrato a Luis Negral para la realización de su tesis. Al Exmo. Ayuntamiento de Cartagena los soportes prestados. A Lorenzo Vergara Pagán y Lorenzo Vergara Juárez su inestimable colaboración.

Referencias

- [1] L. Negral, S. Moreno-Grau, J. M. Moreno, X. Querol, M.M. Viana y A. Alastuey. "Aplicación de la Modelización en la Identificación de Escenarios Determinantes en los Niveles de PM_{10} en Cartagena". Actas del V Congreso Nacional de Estudiantes y Licenciados en Ciencias Ambientales. CNELCA'06. Elche, 9-11 Noviembre 2006. ISBN: 978-84-690-4686-9.
- [2] S. Moreno-Grau. "La vigilancia de la contaminación atmosférica: Pasado, presente y futuro". Discurso de ingreso en la Academia de Farmacia Santa María de España de la Región de Murcia. Cartagena, 28 Febrero 2006. 119pp.
- [3] L. Negral, S. Moreno-Grau, J. M. Moreno, X. Querol, M.M. Viana y A. Alastuey. "Natural and anthropogenic contributions to PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ in an urban area in the Western Mediterranean coast". *Water, Air and Soil Pollution*. *En prensa*. 2008. [doi:10.1007/s11270-008-9650-y](https://doi.org/10.1007/s11270-008-9650-y)
- [4] J. Moreno Clavel, S. Moreno Grau, J.M. Moreno Grau, A. García Sánchez, B. Elvira Rendueles, N. Vergara Juárez, M J. Martínez García, L. Negral Álvarez, L. Vergara Pagán, L. Vergara Juárez y A. Pascual Hernández. "Aerosol atmosférico de Cartagena: Red de captación de alto volumen. Materia particulada sedimentable. *Aerobiología*. Año 2006". Cartagena, Mayo 2007. 79pp.