

## CORAGE (Cognitive Radio Generation)

MARÍA TERESA MARTÍNEZ INGLÉS, MARÍA MARTÍNEZ QUINTO,  
JOSÉ MARÍA MOLINA GARCÍA-PARDO, CONCEPCIÓN GARCÍA PARDO,  
JOSÉ-VÍCTOR RODRÍGUEZ, JUAN PASCUAL GARCÍA Y  
LEANDRO JUAN LLÁCER

Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.  
Universidad Politécnica de Cartagena.

mteresa.martinez.ingles@gmail.com;  
maria.martinez.quinto@gmail.com; josemaria.molina@upct.es;  
conchigpardo@upct.es; jvictor.rodriguez@upct.es;  
juan.pascual@upct.es; leandro.juan@upct.es

### Resumen

En este artículo se presenta uno de los proyectos en los que está trabajando el grupo Sistemas de Comunicaciones Móviles (SiCoMo): el proyecto CORAGE. Este proyecto se enmarca dentro del proyecto nacional AVANZA, destinado al desarrollo del sector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (SI). Se expondrá el objetivo principal que persigue y la motivación de la que ha surgido. Se presenta el sistema cognitivo y se realiza un breve repaso de sus componentes. Finalmente, se muestra una parte del estudio de la viabilidad del proyecto, un estudio de interferencia entre nuestro sistema cognitivo y otro sistema ya implantado, el de DVB (Digital Video Broadcasting), en el marco de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

**Proyecto/Grupo de investigación:** Sistemas de Comunicaciones Móviles (SiCoMo). Entidad Financiadora: Ministerio de Educación y Ciencia y FUNDACIÓN SÉNECA. Plan de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia. Código: TEC2007-66698-C04-04 y 08662/PI/08.

**Líneas de investigación:** *Propagación; Sistemas de Información Geográfica; MIMO; UWB; Redes Sensores.*

## 1. ¿Qué es el proyecto CORAGE?

### 1.1. Objetivo

CORAGE es un proyecto que pertenece al subprograma AVANZA I+D de la convocatoria 1/2009 lanzada por la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información [1]. En este proyecto participan las siguientes entidades:

- Retevisión, como coordinador del proyecto.
- A.5.
- Alcatel-Lucent España.
- GRADIANT.
- Genaker.
- i-Team – Universidad Politécnica de Valencia.
- Universidad Politécnica de Cartagena.

En este proyecto se pretende realizar un análisis de la viabilidad y desarrollo de simuladores de servicios IMS (IP Multimedia Subsystems) en entornos de seguridad y emergencias sobre una red de radio cognitiva, utilizando los nuevos estándares inalámbricos de comunicaciones IMT2000 [2]. Para ello, se han analizado las tecnologías en las que se engloban todos los nuevos estándares inalámbricos de transmisión terrestre/satélite, y su idoneidad para prestar los servicios IMS de Seguridad en las nuevas bandas del espectro designadas tras la última Conferencia Mundial de Radio Comunicaciones [3].

Una vez analizadas estas tecnologías se definen los requisitos del receptor híbrido capaz de utilizarlas con la calidad del servicio necesaria y se realizarán pruebas de red y receptor en entorno *cuasi-real*.

Un esquema conceptual del proyecto aparece en la Figura 1:

### 1.2. Motivación

Debido al rápido crecimiento de los sistemas móviles de radio, se está produciendo una demanda creciente del espectro, lo que en la práctica implica la necesidad de un uso más eficiente del mismo que a su vez va asociado a la necesidad de mejorar significativamente la capacidad utilizable de los sistemas de radiocomunicación. Los avances tecnológicos están permitiendo el desarrollo de sistemas de radio que tienen la posibilidad de utilizar el espectro de una forma mucho más dinámica y eficiente.



Figura 1: Esquema conceptual proyecto CORAGE.

Entre tales avances, nos encontramos con los **sistemas de radio cognitiva (sistemas cognitivos)**, los cuales evalúan el espectro disponible, determinando qué partes del mismo no están siendo usadas y hacen uso de ese espectro libre cuando tienen información para transmitir. Así, presentan la posibilidad de realizar un uso más eficiente del espectro. Además, son capaces de interoperar entre varias tecnologías ofreciendo mayor versatilidad y flexibilidad, con la capacidad añadida de que tienen dispositivos capaces de adaptar su funcionamiento, ya que pueden actuar como estaciones base o como receptores.

Los sistemas de radio cognitiva pueden tener un gran impacto en muchos aspectos de las comunicaciones, incluyendo la interoperabilidad, así como en la utilización y atribución del espectro. Así pues, consideremos que una emisora de radio transmite en una determinada frecuencia y se sintoniza el receptor para captarla. Si otros transmisores interfieren la recepción, no quedará más remedio que esperar a que desaparezca el problema. En el entorno de los servicios de emergencias, no puede ocurrir, ya que puede suponer una catástrofe. Con un sistema cognitivo, el problema se puede solucionar, ya que el receptor puede conmutar de inmediato a una frecuencia de reserva que transportase también la señal deseada y así evitar la interferencia.

En la próxima década, la radiocomunicación con capacidad cognitiva debería permitir a casi todos los sistemas inalámbricos localizar cualquier banda libre del espectro radioeléctrico a su alcance y conectarse a ella para atender mejor al usuario. Mediante una programación adaptable, estos dispositivos inteligentes reconfigurarían sus funciones de comunicación para satisfacer las demandas de las redes de transmisión o de los usuarios [4].

## 2. Dividendo digital. Asignación de frecuencia de nuestro sistema cognitivo.

Después del apagón analógico, las bandas que han sido ocupadas por la televisión analógica convencional estarán libres en gran parte, ya que la televisión digital es mucho más eficiente en cuanto al uso del espectro. Estas bandas libres componen lo que se conoce como **dividendo digital**. Dicha banda de frecuencias está comprendida entre 470 MHz y 862 MHz y es idónea para un gran número de servicios diferentes, con beneficios sociales y económicos. Entre estos servicios destaca la introducción de servicios de radiodifusión, los cuales van a hacer que se incremente la pluralidad de los medios de comunicación, y que se ofrezca a los televidentes unos servicios de mayor calidad e interactivos.

Por tanto, los gobiernos de los diferentes países se encuentran ante el reto de planificar correctamente el dividendo digital, de manera que se garantice el acceso a un mayor número de aplicaciones. Tras la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR-07) de la UIT en noviembre de 2007 [3], se llegaron a unos acuerdos internacionales en los que se decidieron concentrar los servicios móviles, los servicios fijos y de radiodifusión a la subbanda de 790-862 MHz. Aunque se intentará respetar estos acuerdos, la decisión al final la tomará cada país dependiendo de su planificación radioeléctrica.

Para poder realizar una aproximación de dónde se colocará nuestro sistema cognitivo, se estudia la banda 470-862 MHz. En resumen, esta banda se divide en 4 segmentos de, al menos, 2x40 MHz más las bandas de guarda apropiadas. Se considera que cada segmento incluye todas las bandas de guarda requeridas para proporcionar una protección adecuada internamente para los servicios fijos/móviles y externamente para otros servicios. Los segmentos pueden soportar FDD (Frequency Division Duplex), TDD (Time Division Duplex) o una combinación de ambos. Los 4 segmentos seleccionados para su estudio se identifican en la Figura 2, donde se muestra un plan de banda posible para cada uno. Se asume que, en general, no se requiere banda de guarda para proteger otros servicios de los enlaces descendentes móviles (la protección de los servicios broadcasting en los canales adyacentes y más allá debería asegurarse con un plan meticuloso y aplicando técnicas de mitigación) pero sí se requiere protección para los enlaces ascendentes móviles.

La conclusión a la que se llega es que la selección del segmento D para implementar nuestro sistema cognitivo es el más adecuado, ya que tiene una ventaja respecto a los otros segmentos independientemente de las restricciones nacionales: es el segmento más cercano a la banda GSM900. Esto puede permitir la reutilización de componentes 900 MHz de los dispositivos y de las estaciones base, incrementando los beneficios. También puede permitir una única antena móvil para sintonizar a través del segmento D entero y de la banda 900 MHz.

Hay que tener en cuenta, para la supuesta asignación de frecuencias de

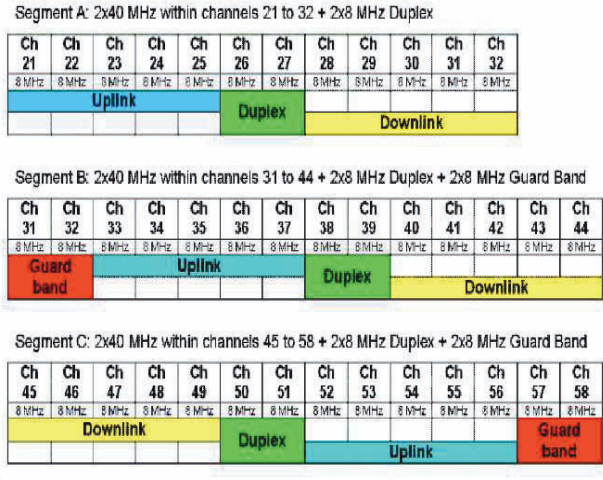


Figura 2: Ejemplo de plan de banda en configuración FDD para los segmentos de frecuencia potenciales para servicios fijos/móviles en la banda 470-862 MHz.

nuestro sistema cognitivo, que en la situación actual en España, el plan nacional de la televisión digital terrestre muestra la siguiente planificación para la banda 470 MHz y 862 MHz [5]:

1. El servicio de televisión digital terrestre se explotará en las siguientes bandas de frecuencias:
  - a) 470 a 758 MHz (canales 21 a 56).
  - b) 758 a 830 MHz (canales 57 a 65).
  - c) 830 a 862 MHz (canales 66 a 69).
2. Los múltiples digitales de la banda de frecuencias 830 a 862 MHz se destinan al establecimiento de redes de frecuencia única de ámbito estatal.
3. Los múltiples digitales de la banda de frecuencias 758 a 830 MHz se destinan, principalmente, al establecimiento de redes de frecuencia única de ámbito territorial autonómico y provincial.
4. Los múltiples digitales de la banda de frecuencias 470 a 758 MHz se destinan al establecimiento de redes de televisión digital.

Por ello, la implantación de nuestro sistema cognitivo requiere un estudio previo de viabilidad que depende del sitio geográfico donde queramos implantarlo, ya que dependiendo de las frecuencias que estén libres, habrá que estudiar la interferencia que puede ocasionar con los sistemas que ya tengan asignadas unas frecuencias.

### 3. Requisitos del sistema cognitivo

Los requisitos que debe cumplir la arquitectura funcional del sistema CORAGE son los siguientes:

- Capacidad de soportar terminales reconfigurables (LTE + TETRA + WiFi) y no reconfigurables (sólo TETRA).
- Capacidad de soportar interfaces abiertos para asegurar la interoperabilidad entre sistemas.
- Capacidad de coordinar el uso del espectro entre varias entidades u operadores de diferentes sistemas de acceso radio o radiodifusión.
- Capacidad de hacer una asignación dinámica y flexible del espectro a los elementos de red.
- Capacidad de proporcionar al terminal la información necesaria en términos de recursos radio disponibles (frecuencia de trabajo y ancho de banda a usar, principalmente) en la localización del terminal. Esta información debe ayudar al terminal a hacer una detección más eficiente de los recursos radio que puede utilizar y ayudar a disminuir el consumo de energía que el terminal utiliza durante este procedimiento.
- Existencia de mecanismos que permitan al terminal enviar información sobre el terminal y el usuario a la red, como son: capacidades del terminal, preferencias del usuario, información sobre las calidades de servicio, etc.
- Existencia de mecanismos que permitan a las estaciones base conocer información de otras estaciones base de la red, como puede ser la información de las celdas vecinas, capacidades de las estaciones base, configuración actual de las estaciones base, información de la carga de las estaciones base, etc.
- Existencia de mecanismos de auto-configuración de las estaciones base que incluyan la actualización automática de las estaciones base vecinas, la configuración automática de la frecuencia y el ancho de banda, etc.

## 4. Arquitectura del sistema cognitivo

### 4.1. Sistema

El sistema cognitivo está compuesto por los grandes bloques funcionales que se muestran en la Figura 3. Este conjunto de bloques permitirá ofrecer una serie de servicios, allí donde funcione el sistema, que harán un uso oportuno del espectro. Además, permitirán la interoperabilidad con las redes TETRA ya desplegadas [6].

Los grandes bloques de la arquitectura del sistema cognitivo se explican brevemente a continuación:

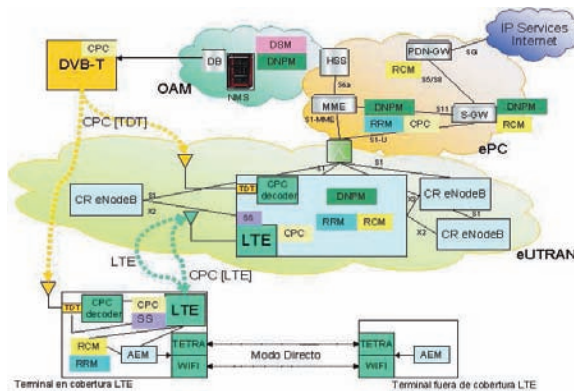


Figura 3: Arquitectura detallada de la red de acceso radio cognitiva del sistema CORAGE

- Red de Acceso Radio TETRA:** Proporciona cobertura TETRA para los terminales sólo TETRA que usan actualmente los servicios de seguridad y emergencias, a través de estaciones base situadas a lo largo del territorio a cubrir.
- TETRA Core Network:** Realiza la conmutación entre las diferentes estaciones base desplegadas de forma que sea posible la intercomunicación entre terminales situados dentro de la zona de cobertura de diferentes estaciones base.
- Pasarela TETRA – IMS:** Permite la comunicación de los terminales TETRA con otros tipos de terminales como terminales móviles de 2G y 3G con servicio PoC (Push-To-Talk over Cellular), red de telefonía fija y otros sistemas más.
- Red de acceso Radio del sistema CORAGE (LTE):** Principal red de acceso radio del sistema CORAGE que adapta su frecuencia de trabajo y su ancho de banda al uso del espectro por otros servicios primarios y a las condiciones de interferencia radio. Para poder realizar esta adaptación utiliza diferentes mecanismos que se explican posteriormente.
- Red de difusión DVB-T / DVB-H:** Es uno de los mecanismos que permite la adaptación a sistemas cambiantes, siendo el portador de uno de los canales de información esenciales sobre los que se sustenta el sistema de radio cognitivo, el CPC (Cognitive Pilot Channel).
- Evolved Packet Core (LTE):** Proporciona la conectividad necesaria entre la red de acceso radio LTE y los sistemas de aplicaciones y servicios, Internet, redes conmutadas y redes de telefonía móvil 2G / 3G, así como se encarga de la gestión de los usuarios y de sus calidades de servicio de los usuarios, gestión de movilidad y gestión de la seguridad de la red.

- **OAM (Operación y Mantenimiento) (LTE):** Proporciona la capacidad necesaria para realizar las operaciones de supervisión, configuración, monitorización y otras gestiones necesarias para el correcto funcionamiento de la red de acceso LTE.
- **Control de Radio Cognitiva CORAGE:** Es la parte encargada de gestionar los elementos de la red de acceso radio LTE y de la red del núcleo evolucionada de LTE, conocida Evolved Packet Core (ePC), de forma que se pueda hacer un uso flexible y eficiente de los recursos radio disponibles.
- **IMS – Control de sesiones:** Proporciona características tales como la autenticación de usuario, la autorización y registro, la privacidad del usuario en el plano de control, el enrutamiento de mensajes SIP (Session Initiation Protocol, protocolo de establecimiento de sesiones de comunicación multimedia) o soporte a la interconexión de redes.
- **Capa de Servicios y Aplicaciones:** Está compuesta de servidores que prestan los servicios a los usuarios, como son voz, vídeo, presencia, mensajería instantánea y transmisión de datos.

#### 4.2. Receptor cognitivo

Los posibles terminales que se pueden tener dentro del sistema cognitivo de la figura 3, necesitan obligatoriamente de un receptor DVB-T que les permita la recepción del Outband-CPC, el cual es un canal piloto cognitivo. Independientemente de ésto, se tienen las siguientes configuraciones dependiendo de la funcionalidad:

- Terminales sólo TETRA (admiten modo directo).
- Terminales CORAGE (sólo LTE).
- Terminales CORAGE (LTE + TETRA + WiFi).
- Terminales en modo directo TETRA + WiFi.

De estas configuraciones de terminales, cabe resaltar el CORAGE (LTE+TETRA+WiFi), que es el más interesante por su complejidad y funcionalidad. Este terminal puede tener varias funciones dependiendo de la situación en la que se encuentre. Puede actuar tanto de estación base o repetidor, para dar cobertura a receptores que no se encuentren bajo la cobertura del sistema, y puede actuar de receptor cuando se encuentre bajo el sistema cognitivo. Cuenta con tres interfaces principales, y se conectará a cada una de ellas dependiendo de la función que va a desempeñar. Por ejemplo, cuando el terminal se encuentra bajo cobertura LTE pero existen zonas cercanas al terminal en las que no hay cobertura de red TETRA o red LTE, el terminal CORAGE se puede configurar en modo repetidor para los interfaces TETRA y



WiFi, pudiendo dar cobertura local.

Un ejemplo de esta aplicación podría ser un terminal CORAGE (LTE + TETRA + WiFi) embarcado en un vehículo de bomberos que tiene una emergencia en un edificio en cuyo interior no hay cobertura TETRA o LTE, pero sí en el exterior. En ese caso, el terminal CORAGE se conecta a la red LTE y crea una nueva zona de cobertura trabajando en modo repetidor para los terminales TETRA (voz) + WiFi (datos) en modo directo que se encuentran en el interior del edificio. También podría ocurrir que, estando el terminal CORAGE (LTE+TETRA+WiFi) bajo cobertura LTE, las condiciones de interferencia no sean las adecuadas para el uso cognitivo en LTE; es decir, que puede haber interferencias con los canales 58, 59 y 60 que están ocupados por los servicios de la televisión digital terrestre. En este caso, el terminal CORAGE (LTE+TETRA+WiFi) buscará conectividad hacia TETRA.

### 5. Estudio de viabilidad del despliegue del sistema cognitivo

El grupo SiCoMo ha intervenido de forma activa en este estudio, ya que posee una amplia experiencia en la planificación de sistemas de radiocomunicaciones. La herramienta utilizada para este estudio, es RADIOGIS, la cual ha sido desarrollada por el grupo. RADIOGIS es una herramienta de gestión y cálculo de cobertura radioeléctrica de sistemas de radiocomunicaciones basada en sistemas de información geográfica (GIS) [7].

Para poder implementar nuestro sistema cognitivo, hemos de estudiar las posibles interferencias que puede producir en los sistemas que se encuentren en el rango próximo de las frecuencias a nuestro sistema [8]. En el proyecto, se ha elegido la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, para realizar una simulación de la implantación del sistema. Según la planificación radio para este futuro sistema cognitivo en la región de Murcia, tendremos la siguiente distribución de espectro (Figura 4):

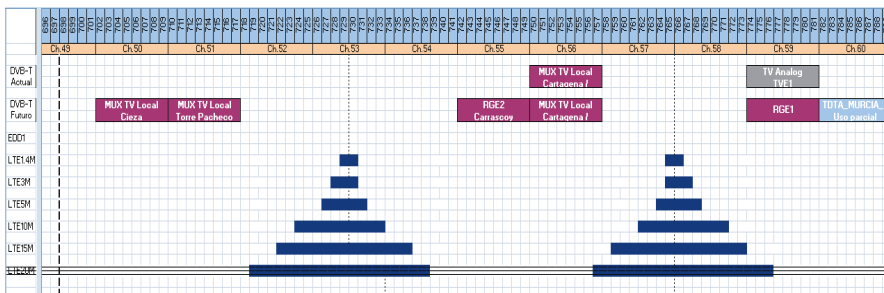


Figura 4: (Figura suministrada por ALU)

En ella podemos ver que los canales donde se pretende insertar los canales de LTE están próximos a los canales de DVB. Para estudiar el problema, hay que tener en cuenta que la señal útil es la señal recibida correspondiente a los canales de DVB. Para ver la potencia de estas señales, se hizo un estudio previo de potencia contando con todos los futuros transmisores de DVB localizados en la Región de Murcia. Además, la señal interferente es la señal de LTE que se acopla en la misma banda de la frecuencia de recepción de DVB, ya que los filtros no son perfectos.

Para estudiar las interferencias que pueden darse debido a nuestra señal LTE, se ha estudiado tanto el canal descendente como el ascendente. Para el caso del enlace descendente, tendremos en cuenta la potencia de recepción de las estaciones base LTE. Para el caso ascendente, nos hemos centrado en el peor de los casos. En ese sentido, se ha tenido en cuenta que la transmisión de un móvil cognitivo se hace a la máxima potencia permitida, que es de 23 dBm [9], interfiriendo a otro sistema DVB a una distancia de un metro.

En este artículo, vamos a presentar el resultado obtenido a la hora de analizar la interferencia que ocurre cuando la señal interferente es la señal LTE ascendente, sobre el canal de DVB 51. Para calcular la relación portadora – interferencia aplicaremos la siguiente expresión, en la que “Asc” denota “Ascendente”.

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{\text{Asc}} (dB) = P_{DVB}(dBm) - \left(23(dBm) - 20 \log\left(\frac{4\pi 1m}{\lambda_{LTE}}\right) - \text{Máscara}_{LTE}(\Delta f)\right) (dB). \quad (1)$$

Teniendo en cuenta que con el raster de la potencia útil de DVB obtenemos  $P_{DVB}$  y que como potencia de la señal interferente, vamos a suponer que el móvil se encuentra a un metro de distancia de un receptor de DVB y se encuentra transmitiendo a la máxima potencia permitida, que es de 23 dBm [9].

Como están en frecuencias distintas la señal útil y la señal interferente, para poder estudiar la interferencia nos fijaremos en el espectro de la señal interferente, el de LTE, de ancho de banda 10 MHz (Figura 5). En la Figura 6, podemos ver el mapa de interferencia utilizando (1). Para una buena recepción de la señal de DVB, se necesita que

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{\text{Asc}} (dB) \geq 10.$$

Según vemos en la Figura 6, hay zonas donde vamos a tener interferencia, ya que hay valores de la relación portadora-interferencia que son menores de 10 dB. Se necesitará diseñar medidas adicionales para proteger los servicios (bandas de guarda y filtros, entre otros).

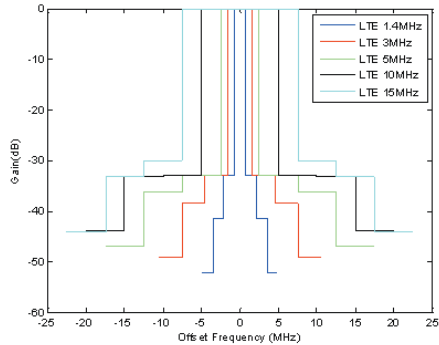


Figura 5: Asignación de la portadora LTE en la CARM.

## 6. Resumen

En este artículo, se ha ofrecido de forma breve una visión general del contenido del proyecto CORAGE. Se ha descrito su principal objetivo, y la motivación que dio lugar a este proyecto. Después, se ha definido el dividendo digital y se ha planteado el problema de elegir la portadora de nuestro sistema cognitivo. Se han enumerado los requisitos que nuestro sistema debe cumplir. Además, se ha dado a conocer su arquitectura y la funcionalidad de los principales bloques. Se han presentado los terminales que estarán operativos bajo el sistema, resaltando el terminal más complejo. Finalmente, se ha descrito, en líneas generales, el estudio de viabilidad del sistema, presentando un caso particular del estudio.

## 7. Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado por el Plan Avanza I+D, Acción Estratégica de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información de la convocatoria de 2009 por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

## Referencias

- [1] <http://www.upct.es/sicomo/indproyectos.php>.
- [2] IMT-Advanced submission and evaluation process web. <http://www.itu.int/ITU-R>.
- [3] Comunicación de la comisión al parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al comité de la Regiones. Bruselas, 13/11/2007.
- [4] IEEE 802.22: An Introduction to the First Wireless Standard based on Cognitive Radios, Carlos Cordeiro, Kirian Challapali and Dagnachrw Birru. No. 1, Abril 2006, Vol. I. Journal of Communications.
- [5] PLAN TÉCNICO NACIONAL DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE. BOE núm. 181, 27012.

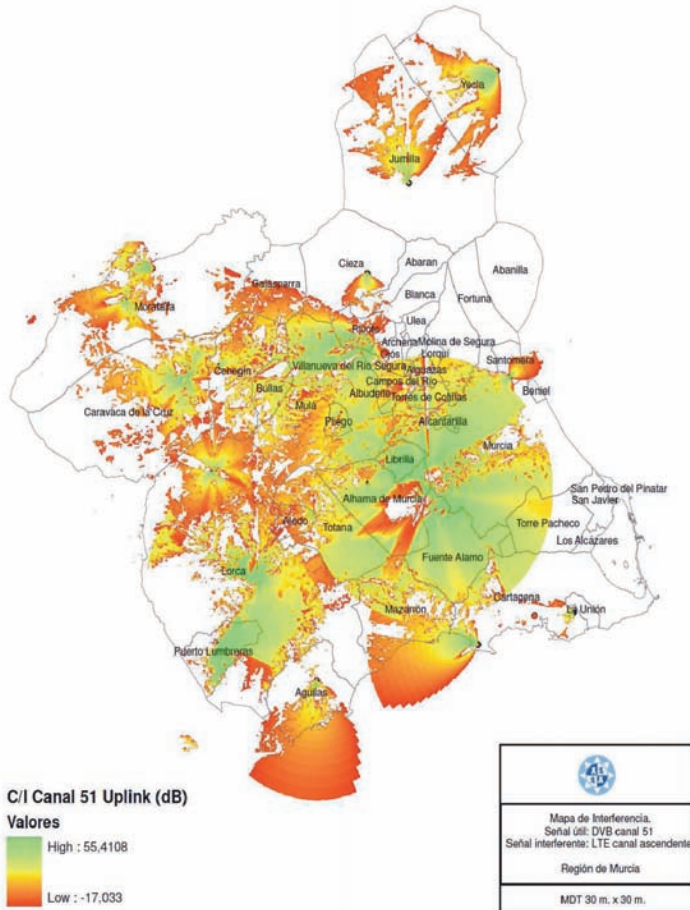


Figura 6: Espectro LTE en función del offset en frecuencia

- [6] Información aportada con ALU. Proyecto Corage. Paquete 3. Apartado 2: Definición Arquitectura de servicios y red.
- [7] <http://www.upct.es/sicomo/indradiogis.php>.
- [8] SE43-Cognitive radio systems – White spaces (470 – 790 MHz).
- [9] LTE Interference into Domestic Digital Television Systems. Cobham Technical Services, ERA Technology Report 2010-0026 (Issue 2).