JUNTA DE ANDALUCIA

CONSEJERÍA DE ECONOMÍA, CONOCIMIENTO, EMPRESAS Y UNIVERSIDAD
Dirección General de Economía Digital e Innovación

UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de Desarrollo Regional

ANEXO III: ESTUDIO COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Andalucía se mueve con Europa

Índice

1 ANTECEDENTES..... 3
2 REQUISITOS DE COBERTURA DE LA RED DIGITAL DE EMERGENCIAS DE ANDALUCÍA.....3
3 ANÁLISIS DE COBERTURA..... 5
4 SIMULACIONES DE COBERTURA..... 6
5 RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES DE COBERTURA.....7
6 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE COBERTURA..... 10

1 ANTECEDENTES

Desde 2015 la Consejería de Economía, Conocimiento, Empresas y Universidad (CECEU) está inmersa en un proyecto destinado a la implantación de una Red de Emergencias Digital en la Comunidad Autónoma Andaluza, que sustituya y mejore la infraestructura disponible para los organismos dedicados a la protección pública y las operaciones de socorro (PPDR, Public Protection and Disaster Relief) existente actualmente en esta región.

El objetivo es el de implantar una actualización tecnológica para las comunicaciones de las Fuerzas y Cuerpos del ámbito de la Seguridad, las Urgencias y Emergencias de Andalucía, para su adecuado funcionamiento y para la incorporación de nuevas funcionalidades, a través del despliegue de una única red digital de radiocomunicaciones móviles.

Esta Red permitirá mejorar y ampliar la prestación de los servicios de emergencias ofrecidos a día de hoy, facilitar la coordinación en situaciones de emergencia garantizando la cobertura en el territorio andaluz y ofrecerá la calidad y fiabilidad necesarias en las comunicaciones de emergencias para el cumplimiento de sus tareas.

2 REQUISITOS DE COBERTURA DE LA RED DIGITAL DE EMERGENCIAS DE ANDALUCÍA

El proyecto Red de Emergencias de la Junta de Andalucía está destinado a desplegar una red digital de emergencias para las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad, Urgencias y Emergencias de la Junta de Andalucía. Los distintos cuerpos que serán usuarios de la red son fundamentalmente 112, EPES y Cuerpo de Extinción de Incendios Forestales de Andalucía (INFOCA), siendo este último el Cuerpo con mayor número de usuarios de la Red, y por ende con mayor número de terminales. Las necesidades y requisitos para las distintas organizaciones son muy diferentes, fundamentalmente por la zona de actuación en la que deben operar. INFOCA actúa en zonas forestales mientras que el resto de agentes, en capitales de provincia fundamentalmente. Este hecho, hace que se establezca como requisito la necesidad de desplegar una red que proporcione cobertura con un objetivo específico de cobertura en las zonas definidas como Forestales.

Un punto del territorio dispone de cobertura si el nivel de señal registrado por el terminal de usuario en dicho punto es mayor que cierto nivel de potencia. Dicho nivel de potencia se establece en función de la calidad de servicio que la red puede ofrecer cuando el terminal registra o trabaja en ese nivel de potencia recibida. Si el terminal se encuentra trabajando en un punto del territorio con niveles de potencia inferiores, la calidad de servicio ofrecido no es aceptable y por lo tanto, se considera que ese punto del territorio es de no cobertura.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se ha establecido un requisito de cobertura global de, al menos, el 95% en todo el territorio de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Dentro del territorio se han determinado los siguientes requisitos adicionales para priorizar la cobertura en los puntos o zonas de interés de las entidades usuarias.

- Requisito de cobertura mínima por cuadrícula forestal: Para la determinación de este requisito se ha dividido el mapa de Andalucía en hojas según el MTN50 (Mapa topográfico Nacional 1:50.000, Figura 1.). Según los requerimientos de los Organismos usuarios debe proporcionarse un mínimo del 90% de cobertura en cada una de las cuadrículas forestales.

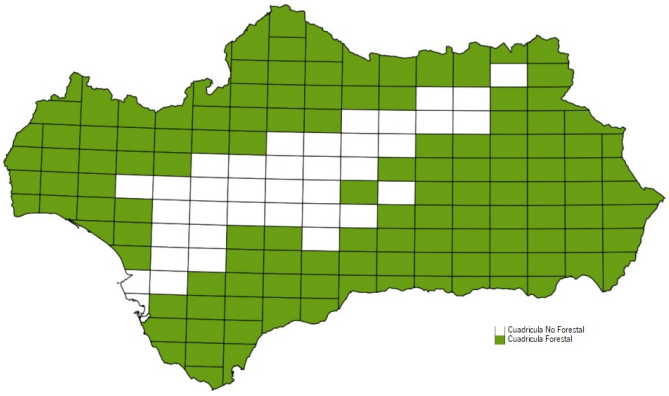

FIGURA 1. CUADRÍCULAS FORESTALES

- Requisito de puntos de interés en municipios. Se debe proporcionar cobertura para terminal móvil en los puntos de interés de los municipios de Andalucía.
- Requisito por el que se debe proporcionar cobertura para terminal móvil en los Parques de Bomberos de Andalucía.
- Requisito de cobertura para terminal móvil en las estaciones SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica) de la Red Hidrosur.
- Requisito de cobertura para terminal móvil en los CEDEFOs (Centros de Defensa Forestal).
- Requisito de cobertura de terminal móvil del 99% en las áreas consideradas como principales en las actuaciones del Plan Romero y en la Romería de la Virgen de la Cabeza.
- Requisito de cobertura de terminal móvil en los Centros de Salud y consultorios de Andalucía.
- Requisito de cobertura del 95% para Capitales de Provincia y núcleos de población de más de 10.000 habitantes (Figura 2.).

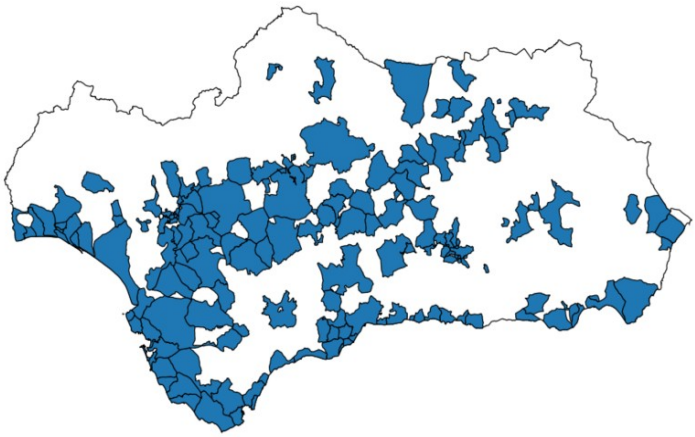

FIGURA 2. CAPITALES DE PROVINCIA Y MUNICIPIOS DE MÁS DE 10.000 HABITANTES

- Requisito de cobertura del 99% para las pistas de esquí de Sierra Nevada (Figura 3.).

FIGURA 3. PISTAS DE ESQUÍ DE SIERRA NEVADA

FIGURA 4.

3 ANÁLISIS DE COBERTURA

Se entiende por análisis de cobertura como el estudio de la propagación de las señales radioeléctricas en un territorio dado. Una variable fundamental del estudio es la frecuencia a la que oscilan las señales radio que transportarán las comunicaciones desde los terminales de usuario hasta las estaciones base.

La banda de frecuencias de la Red Digital de Radiocomunicaciones Móviles a implantar dependerá de la solución tecnológica que se implante y será acorde a lo establecido en la Orden ETU/416/2018, de 20 de abril, por la que se modifica la Orden ETU/1033/2017, de 25 de octubre, por la que se aprueba el cuadro nacional de atribución de frecuencias. Por lo tanto, las posibles bandas para la Red son las siguientes:

- UN-28 (235-399,9 MHz). En concreto la subbanda 380-385 MHz y 390-395 MHz.
- UN-31 (406-470 MHz).
- UN-98 (146-174 MHZ).

Como regla general, las pérdidas por propagación de las señales radioeléctricas aumentan con la frecuencia usada en las mismas. Examinando las bandas de frecuencias expuestas anteriormente se pueden determinar el escenario más favorable y el más desfavorable para la propagación de las señales radioeléctricas:

- Escenario desfavorable. Banda de frecuencias 406 - 470 Mhz. Se toma f1 = 450Mhz; que tendrá como resultado una distancia R1 de propagación.
- Escenario favorable. Banda de frecuencias 146 - 174Mhz. Se toma f2= 160Mhz; que tendrá como resultado una distancia R2 de propagación.

A través de la ecuación de Friis (que expresa la potencia recibida en función de los parámetros de las antenas (emisora y receptora), la distancia del enlace y la señal transmitida) se indica la relación de distancia de cobertura en VHF alta respecto a UHF.

$$Prx = Ptx * Gtx * Grx * \frac{\lambda}{(4 * \Pi * R)}$$

Donde

$$\lambda = \frac{c}{f}; c = 3 * 10^8 m/s$$

Operando con la fórmula, se llega a la siguiente expresión:

$$R2 = \frac{f1}{f2} * R1 = 2{,}81 * R1$$

Por tanto, el radio de cobertura cubierto por la celda de una estación base en la banda de 160Mhz es del orden de 3 veces superior al radio de cobertura alcanzado por la misma celda en la banda de 450Mhz. Esto implica que el número de emplazamientos, para unos requisitos de cobertura dados, por una tecnología que trabaje en bandas de frecuencia inferiores es menor que el requerido por una tecnología que funcione en bandas más altas de frecuencia. Es decir, una red radio de comunicaciones móviles que trabaje en una banda de frecuencias baja, minimiza el número de emplazamientos necesarios para alcanzar los requisitos de cobertura establecidos, permitiendo disminuir los costes de operación y mantenimiento de la red.

4 SIMULACIONES DE COBERTURA

Con objeto de comprobar la cobertura teórica en un territorio dado se hacen necesarias las herramientas de simulación de cobertura. Dichas herramientas trabajan con modelos matemáticos que permiten calcular la potencia de señal recibida en los puntos del terreno especificados basándose en mapas de elevación, mapas que delimitan el área o puntos de aplicación de los requisitos establecidos, modelos de propagación radioeléctrica específicos, los emplazamientos en los que se instalan las estaciones base, la frecuencia y ancho de banda de funcionamiento, la potencia de transmisión, la altura y tipo de las antenas de la estación base y la altura de los terminales.

Para simular la cobertura de la Red de Emergencias Digital en la Comunidad Autónoma Andaluza, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Mapas de elevación con resolución de 27x27 metros.
- Mapas de uso del terreno.
- El modelo de propagación radioeléctrica utilizado: Longley Rice, conductividad de la Tierra (0.00524) y temperatura continental.
- Los emplazamientos de las estaciones base que se han incluido en la simulación, son los emplazamientos existentes del Cuerpo de Extinción de Incendios Forestales de Andalucía (INFOCA), Emergencias 112 de la Junta de Andalucía y otros estratégicamente seleccionados. El número total de emplazamientos es de 110.
- La potencia de transmisión radio de la estación base es de 25W. Se ha considerado ese valor como compromiso para evitar un excesivo desbalanceo de potencia entre el enlace uplink y el downlink.
- La frecuencia de funcionamiento: 160Mhz.
- Ancho de banda de la señal: 0,0125Mhz.
- Altura de las antenas de las estaciones base: 6 metros sobre el nivel del suelo.
- Altura de los terminales: 1,5 metros sobre el nivel del suelo.
- Tipo de antena de la estación base: omnidireccional con polarización vertical.
- Tipo de antena de los terminales: omnidireccional con polarización vertical.
- Radio de cobertura de 100 km.

Una vez que se establecen las consideraciones anteriores en la herramienta de simulación, se obtiene un mapa que indica el nivel de potencia de señal recibido en cada uno de los puntos del mapa del territorio andaluz. Dicho mapa se evalúa junto a los mapas de delimitan el área o puntos de aplicación de los requisitos establecidos por las entidades usuarias para un rango de niveles de potencia de señal recibido específico, obteniéndose, como resultado, el grado de cumplimiento de los requisitos de cobertura establecidos por las entidades usuarias.

5 RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES DE COBERTURA

Teniendo en cuenta las consideraciones descritas en el apartado 4 Simulaciones de cobertura, se han realizado simulaciones de cobertura para 110 emplazamientos. Dichos emplazamientos pertenecen al Cuerpo de Extinción de Incendios Forestales de Andalucía (INFOCA) y Emergencias 112 de la Junta de Andalucía y otros han sido estratégicamente seleccionados.

En la siguiente figura se puede observar el resultado de la simulación para un emplazamiento en concreto. Los valores más claros indican valores de señal altos y la ausencia de color (dejando al descubierto el mapa topográfico) indica que ese punto no ha superado el nivel mínimo de señal exigido:

FIGURA 5. NIVEL DE SEÑAL SIMULADO EN UN EMPLAZAMIENTO DE INFOCA (ESTEPA).

Combinando el resultado de las simulaciones de cada uno de los emplazamientos, se obtiene un mapa que agrega la aportación de cada emplazamiento a la cobertura del territorio tal y como se muestra en la siguiente Figura 6. (el color claro indica niveles de señal altos y el color oscuro indica niveles de señal bajos):

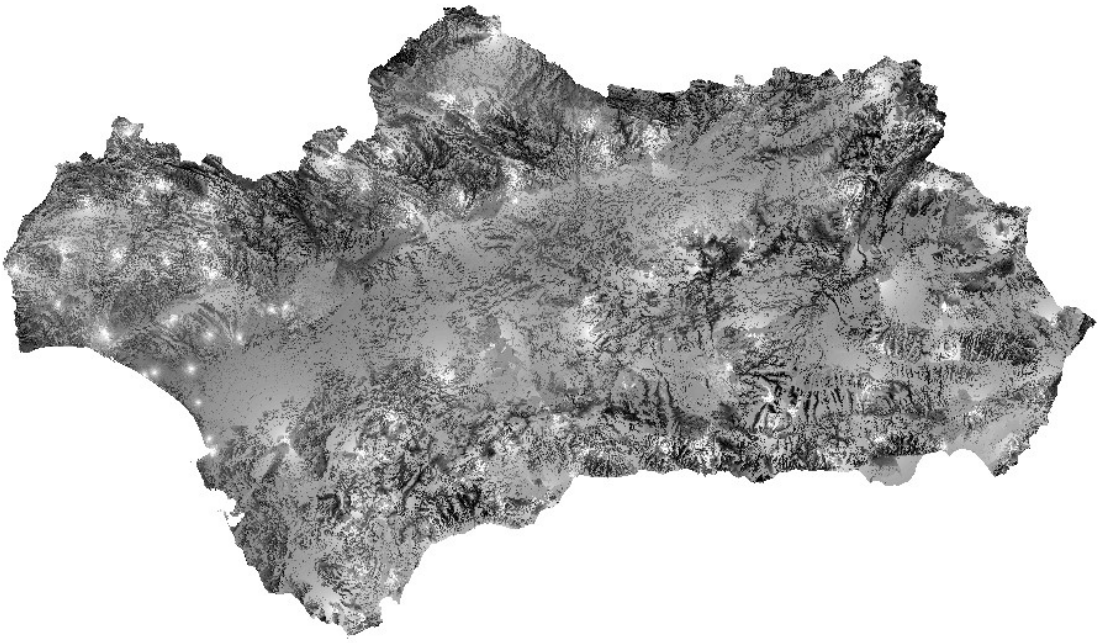

FIGURA 6. NIVEL DE SEÑAL SIMULADO A NIVEL DEL TERRITORIO DE ANDALUCÍA.

A partir del mapa anterior se pueden obtener mapas derivados para conocer el cumplimiento del resto de requisitos. Por ejemplo, el cálculo del requisito de cobertura del 95% para Capitales de Provincia y núcleos de población de más de 10.000 habitantes se realizaría extrayendo las áreas de dichos núcleos. En la siguiente Figura 7. se muestran los niveles de señal obtenidos para el requisito mencionado anteriormente (el color claro indica niveles de señal altos y el color oscuro indica niveles de señal bajos):

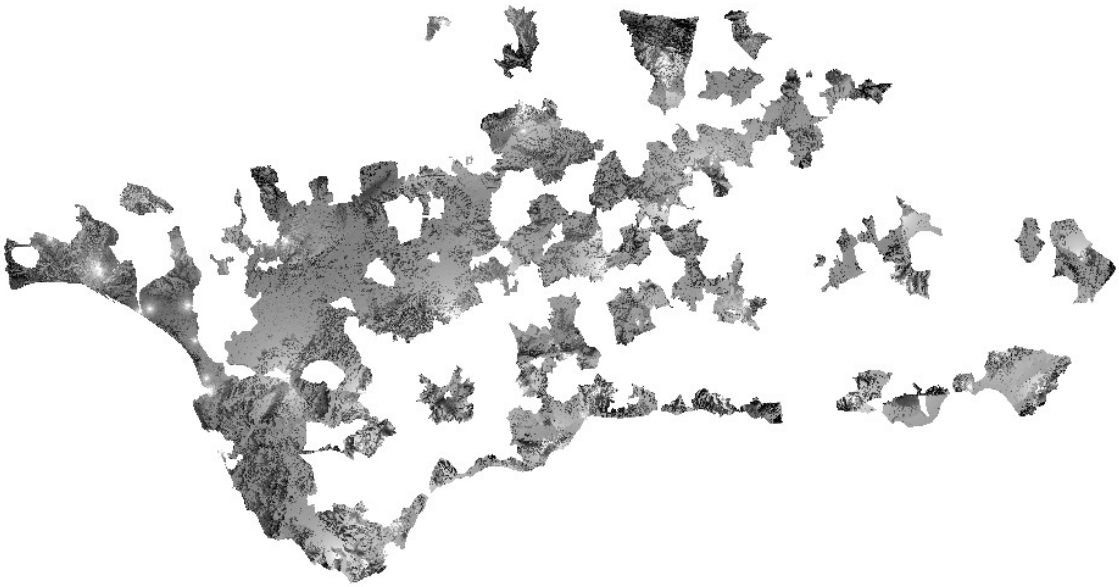

FIGURA 7. NIVEL DE SEÑAL SIMULADO PARA CAPITALES DE PROVINCIA Y NÚCLEOS DE POBLACIÓN.

Otro ejemplo de mapa derivado para el cálculo de requisitos es el de las pistas de esquí de Sierra Nevada. Este ejemplo se muestra en la Figura 8. (el color claro indica niveles de señal altos y el color oscuro indica niveles de señal bajos):

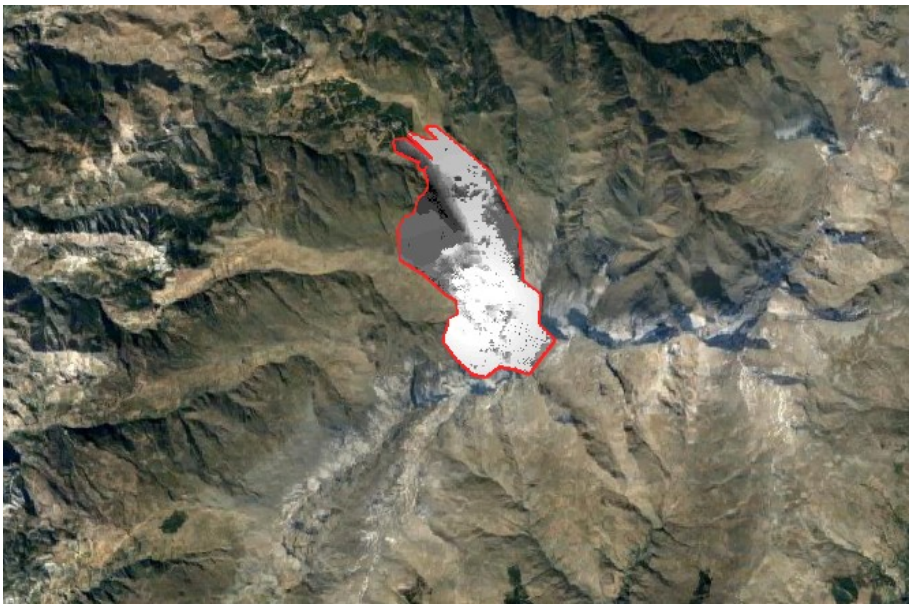

FIGURA 8. NIVEL DE SEÑAL SIMULADO EN LAS PISTAS DE ESQUÍ DE SIERRA NEVADA.

6 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE COBERTURA

Tras estudiar los resultados de múltiples simulaciones de cobertura, se llega a la conclusión de que se cubre 98,5% del territorio de Andalucía con un nivel de potencia igual o superior a -96 dBm, teniendo en cuenta las consideraciones indicadas en el apartado 4 Simulaciones de cobertura. Las consideraciones más limitantes que se citan en dicho apartado, son el empleo de una **frecuencia de 160Mhz**, el uso de antenas omnidireccionales y la situación de los **110 emplazamientos** usados en la simulación (actualmente dan servicio al INFOCA y a Emergencias 112, y otros han sido estratégicamente seleccionados). El grado de cumplimiento del resto de requisitos es el siguiente para dicho nivel de señal:

Requisito	Porcentaje de cumplimiento
Cuadrículas (garantizando el 90% de cobertura para cada una de las cuadrículas con más de un 20% de superficie forestal).	100,00%
Puntos interés	100,00%
Parques de bomberos	99,12%
Red Hidrosur	98,55%
CEDEFOs	100,00%
Plan Romero	99,77%
Romería de la Virgen de la Cabeza	100,00%
Centros de Salud y consultorios	99,47%
Capitales de provincia y municipios de más de 10.000 habitantes (garantizando el 95% de cobertura en cada uno de ellos)	93,51%
Pistas de esquí Sierra Nevada	100,00%

TABLA 1. CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DE COBERTURA DE LA SIMULACIÓN.

De este estudio también se desprende que optimizando la localización de los emplazamientos y seleccionando de forma individualizada la configuración del sistema radiante de los mismos, se deberían obtener mejores resultados.

Para asegurar un margen por desvanecimiento que garantice una calidad de cobertura del 90% del tiempo y del 90% de las ubicaciones, supone añadir 10 dB de señal como margen de protección contra desvanecimiento. Es decir, que se está asegurando que el 90% del tiempo y ubicaciones la potencia de la señal recibida va a tener un valor superior a -106 dBm.

Se han recopilado los valores de sensibilidad de distintos terminales de usuario, tanto para la tecnología DMR como para TETRA, con el objetivo de conocer los promedios de sensibilidad para cada tecnología (Tabla 3.).

Tecnología	Marca	Modelo	Tipo	Sensibilidad
DMR	FABRICANTE5	MODELO1	Móvil	-119

DMR	FABRICANTE5	MODELO2	Portátil	-119
DMR	FABRICANTE3	MODELO1	Móvil	-117,5
DMR	FABRICANTE3	MODELO2	Portátil	-117,5
TETRA	FABRICANTE4	MODELO1	Portátil	-116
TETRA	FABRICANTE4	MODELO2	Móvil	-116
TETRA	FABRICANTE3	MODELO1	Portátil	-116
TETRA	FABRICANTE3	MODELO2	Móvil	-116
DMR	FABRICANTE1	MODELO1	Móvil	-123
DMR	FABRICANTE1	MODELO2	Portátil	-124
TETRA	FABRICANTE1	MODELO1	Portátil	-116
TETRA	FABRICANTE1	MODELO2	Móvil	-116

TABLA 2. VALORES DE SENSIBILIDAD DE TERMINALES DE USUARIO POR TECNOLOGÍA, FABRICANTE Y TIPO.

Tecnología	Promedio - Sensibilidad
DMR	-120
TETRA	-116

TABLA 3. VALORES PROMEDIO DE SENSIBILIDAD POR TECNOLOGÍA.

Como se puede observar, la tecnología DMR tiene una ventaja de 4 dB en cuanto a sensibilidad respecto a Tetra. Para mantener el margen de potencia que posee DMR respecto al nivel mínimo de potencia requerido para cumplir con los requisitos de cobertura (-96 dBm - (-120 dBm) = 24 dB), es necesario aumentar el requisito de nivel mínimo de potencia a TETRA, pasando de -96 dBm a -92 dBm.

Teniendo en cuenta lo anterior, se establece la definición de cobertura en un punto.

DEFINICIÓN DE COBERTURA EN UN PUNTO		
Tecnología	**Nivel mínimo de señal downlink (dBm) sin tener en cuenta margen contra desvanecimiento**	**Nivel mínimo de señal downlink (dBm) teniendo en cuenta margen de protección contra desvanecimiento**
DMR Tier III	- 106 dBm en RSSI y BER < 5%	- 96 dBm en RSSI y BER < 5%
TETRA	- 102 dBm en RSSI y BER < 5%	- 92 dBm en RSSI y BER < 5%

TABLA 4. DEFINICIÓN DE COBERTURA MÓVIL EN UN PUNTO EN FUNCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

La Figura 9. presenta gráficamente los puntos sin cobertura obtenidos en las simulaciones. Dichos puntos, que no cumplen la definición de cobertura definida en la Tabla 4. (en este caso -96 dBm), se representan en color negro.

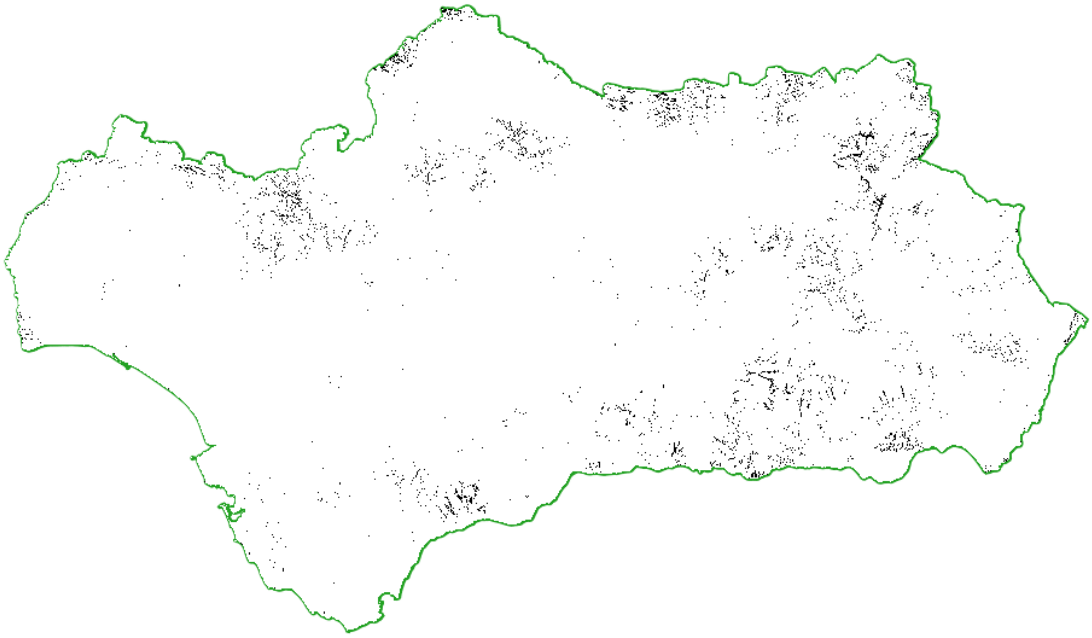

FIGURA 9. PUNTOS EN LOS QUE NO SE CUMPLE LA CONDICIÓN DE COBERTURA (-96 DBM).