



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
Grado en Geografía y Ordenación del Territorio



**Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de
las Instalaciones de Telefonía Móvil.**

Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander

*Geographic Information Systems as an analysis tool of the territorial impact on
Mobile Telephony Installations.*

Autor: Daniel Cabezas Puente

Dirección del TFG: Olga de Cos Guerra

Curso 2017/2018

Fecha: 16/02/2018

ÍNDICE

1.- Presentación y objetivos.....	4
2.- Marco teórico.....	5
3.- Fuentes.....	13
4.- Metodología.....	19
4.1 – Herramientas de gestión de la información.....	22
4.2 – Herramientas de distancia y proximidad.....	23
4.3 – Herramientas de análisis estadísticos espaciales.....	25
5.- Análisis.....	29
5.1 – Pautas de distribución de las antenas en el municipio de Santander.....	29
5.2 – Modelización de la afección de las antenas sobre el espacio edificado.....	37
6.- Conclusiones.....	46
7.- Bibliografía.....	47
Índice de figuras y tablas.....	49

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

RESUMEN

La línea temática principal de este Trabajo de Fin de Grado se centra en constatar la creciente aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en los estudios de Geografía y Ordenación del Territorio. Este documento, mediante un estudio aplicado, busca como objetivo analizar la distribución de las antenas de telefonía móvil y su afección sobre el centro urbano y la periferia consolidada del término municipal de Santander. La consecución de este objetivo comienza con un estudio que introduce los conceptos básicos de la telefonía móvil y las antenas, su composición y funcionamiento, además de su percepción fóbica por parte de la sociedad, reflejada en la controversia existente sobre los efectos en la salud por la radiación que emiten y la falta de estudios científicos que tratan el tema. Los SIG son de gran ayuda para equilibrar las necesidades de la población con el establecimiento de umbrales de seguridad, permitiendo analizar, modelizar y cuantificar la afección de la radiación en el espacio urbano, así como para detectar qué elementos considerados sensibles quedan afectados. Estos sistemas son clave y su utilidad queda demostrada, pues permiten obtener resultados de interés a partir del análisis de los patrones espaciales y de la modelización de la afección de las antenas en el espacio edificado.

Palabras clave: SIG, antenas de telefonía móvil, justicia espacial, análisis estadístico.

ABSTRACT

The main thematic line of this Final Degree Project is focused on verifying the growing application of the Geographic Information Systems (GIS) in the Geography and Land Use Planning. This document, through an applied study, aims to analyze the distribution of mobile telephony antennas and their impact on the urban center and the consolidated periphery of the municipal area of Santander. The achievement of this objective begins with a study that introduces the basic concepts of mobile telephony and antennas, their composition and functioning, as well as their phobic perception on the part of society, reflected in the existing controversy on the effects on health by the radiation they emit and the lack of scientific studies that deal with the subject. The GIS are of great help to balance the needs of the population with the establishment of safety thresholds, allowing analysis, modeling and quantifying the impact of radiation in the urban space, as well as to detect which elements considered sensitive are affected. These systems are key and their usefulness is demonstrated, since they allow to obtain interesting results from the analysis of the spatial patterns and the modeling of the affection of the antennas in the built space.

Key words: GIS, mobile telephony antennas, spatial justice, statistic analysis.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

1.- Presentación y objetivos

El Trabajo de Fin de Grado que se realizará está enmarcado dentro del Grado en Geografía y Ordenación del Territorio, a su vez, dentro de la línea temática de “El Uso de los Sistemas de Información Geográfica en el Estudio del Territorio”.

El objetivo principal de este trabajo es realizar un análisis de la afección territorial de las estaciones de antenas de telefonía móvil en el entorno de la ciudad de Santander, abarcando el área más urbanizada y la periferia externa. Se trata de una afección orientada principalmente a la radiación emitida y a las medidas de seguridad que se establecen. Sin embargo, no se descartarán otras opciones de enfoque como la equidad o justicia espacial. Dentro de este objetivo principal se derivan 2 líneas a seguir.

- Un primer objetivo es la realización de un análisis de las pautas de distribución de las estaciones de telefonía móvil en el área de estudio. Se busca obtener datos sobre modos de distribución, distancias, número de elementos, centralidad, etc.
- Un segundo objetivo abarca todo el conjunto de operaciones de análisis posteriores, más avanzadas. En esta parte se incluye información complementaria como las edificaciones o las secciones censales, con todo ello se busca realizar un modelo de afección de las antenas sobre el territorio.

Finalmente se busca evaluar los resultados y obtener unas conclusiones que permitan enfocar el trabajo hacia un estudio aplicado.

Figura 1.1 – Esquema de los objetivos del TFG



Fuente: Elaboración propia.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

2.- Marco teórico

Los avances de internet han revolucionado todo lo relativo a la información y comunicación, brindando al mundo la oportunidad de compartir conocimientos y comunicarse. Se ha mejorado la accesibilidad a la información mediante la aparición nuevas tecnologías. En este ámbito, la Geografía se ha amoldado con éxito a este cambio y ha sabido aprovecharlo adaptando sus métodos y conceptos a las herramientas y programas que se han creado. Todas estas herramientas entran dentro de lo que se conoce como Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) que forman parte de una rama superior, las TICs o Tecnologías de la Información y la Comunicación.

Las TIG se encuentran en creciente expansión al ser versátiles y estar aplicadas en distintas líneas de trabajo como el medioambiente, los recursos naturales, la ordenación del territorio, el urbanismo, la planificación del transporte, el geomarketing, etc. Actualmente las TIG son herramientas imprescindibles en la investigación, planificación y gestión del territorio (Gutiérrez, 2000).

Actualmente, buena parte de la población dispone de conexión a internet. Según el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2014) aproximadamente el 80% de las viviendas españolas tienen acceso a internet. Además, el 90,5% de la población española de entre 18 y 74 años utiliza el teléfono móvil, hoy en día smartphones mayoritariamente, y el 69,2% ha utilizado el ordenador e internet.

Todos estos avances han ido potenciando la rama o disciplina conocida como la CiberGeografía. Ésta se entiende como la rama de la disciplina encargada del estudio de las amplias relaciones existentes entre lo real, entendido como el espacio geográfico y lo virtual, esto es, la representación digital (Buzai, 2001: 24). A partir de aquí se entiende que existen dos tipos de espacios, un espacio geográfico real y lo que se conoce como espacio computacional, que deriva del anterior.

Espacio real y espacio computacional presentan destacadas diferencias. El espacio real alude al medio vivencial, a elementos físico-naturales y antrópicos, observables (percibidas) a distintas escalas. Sin embargo, en su entorno computacional, esos elementos pasan a ser entidades y representaciones de la realidad analizables en el entorno digital. Entre ambos mundos media necesariamente un modelo conceptual, que permite

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

hacer la pasarela de uno a otro mundo. De esta forma se crea el modelo digital de la realidad (Buzai, 2001: 31).

Esa tendencia a la representación digital del espacio ha favorecido en el ámbito de la Geografía, la aparición y desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG.

Los SIG se pueden definir actualmente como herramientas integradoras que buscan abarcar en su ámbito todas las funcionalidades que se requieren para el trabajo con variables y elementos espacialmente localizados, incorporando para ello capacidades varias que permiten realizar varias operaciones. Estas operaciones son, por un lado, la lectura, edición, almacenamiento y gestión de datos espaciales. También, el análisis de dichos datos, incluyendo consultas sencillas hasta una elaboración de modelos complejos, tanto en la componente espacial de los datos (localización de cada valor o elemento) como en la componente temática (el valor o elemento en sí). Y finalmente, la generación de resultados tales como mapas, gráficos, informes y demás (Olaya, 2014).

Los SIG funcionan como una base de datos geográfica ligada a los “ítems” de un mapa digital. Estas herramientas ofrecen al usuario posibilidad de realizar consultas interactivas que engloban una variedad de información georreferenciada gracias a las conexiones de los mapas con bases de datos. Con un SIG y en el contexto de un proyecto siempre se realiza una fase de entrada de datos, un almacenamiento de datos georreferenciados, un análisis e interpretación de los datos y por último la salida de la información de diferentes formas (CEA, 2010).

Los usos que se le han dado a los SIG son varios y muchos coinciden con los de las TIG, en general. Tenemos desde la producción cartográfica, las evaluaciones ambientales, el catastro, el geomarketing, el estudio de redes de transporte y servicios hasta la geoprevisión.

El caso que nos atañe entra dentro del enfoque de impacto territorial. El impacto territorial es la alteración tanto positiva como negativa del territorio como resultado de una determinada situación (Gómez, 1995). En este ámbito los SIG y las fuentes de información obtenidas vía web han supuesto un avance notable y han hecho que la información sea más accesible para todos (en cuanto a selección, simplificación de datos, representación).

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Uno de los enfoques de análisis trabajado en los estudios de impacto territorial y análisis espacial es la “justicia socio-espacial y ambiental”. Autores como Alberto Moreno definen la justicia espacial como “*principio positivo que alude al grado de imparcialidad o igualdad en la participación, distribución, consecución de algún bien o servicio, considerando en la valoración no solo al sujeto receptor de la justicia, sino también y de forma sustantiva al ámbito o lugar donde se ubica*” (Moreno, 2008: 11).

En la mayoría de los casos, las desigualdades e injusticias se dan en la manera a la que responden a las necesidades básicas del ser humano, las cuales se considera comunitariamente que tienen que quedar cubiertas. Esto suele ser competencia del sector público en bastantes países que tiene la responsabilidad de proveer, distribuir, satisfacer social y espacialmente los servicios de la manera más equitativa posible (Moreno, 2008).

En este trabajo, el concepto de equidad o justicia espacial se materializa en las antenas de telefonía móvil repartidas por la ciudad de Santander. Por medio de diversos análisis que se pueden realizar, es posible ver si se hace un reparto justo de éstas en el espacio y si esa distribución responde a las necesidades de la población en todo momento.

Al tratar el tema de las antenas de telefonía móvil es necesario entrar en materia, explicar los conceptos que engloban a la telefonía móvil que aparecerán en este trabajo y el marco legal que regula estas instalaciones.

Tal como plantea el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITYC), a través del informe del Servicio de Asesoramiento Técnico e Información (SATI, 2009), la telefonía móvil es un medio de comunicación inalámbrico que funciona a través de ondas electromagnéticas. El cliente de este tipo de redes es el teléfono móvil. Se trata de un sistema con el que se puede hablar, enviar y recibir datos, imágenes, conectarse a internet, etc. (SATI, 2009).

El teléfono móvil realiza sus funciones independientemente del lugar donde se encuentre el usuario. Para que este dispositivo establezca una comunicación con otro móvil o fijo se necesita de una red de antenas adecuada y con unos requisitos técnicos que garanticen calidad, capacidad y cobertura del servicio. Hoy en día el uso masivo del teléfono móvil y la consiguiente instalación en aumento de las antenas o estaciones base de telefonía generan interrogantes por parte de la ciudadanía respecto a la normativa reguladora, a los efectos en la salud o al impacto paisajístico (SATI, 2009).

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Los teléfonos móviles quedan conectados por medio de antenas y estaciones base. Una serie de estaciones o antenas compuestas conforma una red móvil que funciona mediante mecanismos de transmisión y centrales de conmutación. Cada antena o estación tiene un área determinada de cobertura, cuyo alcance varía según la potencia de emisión de la antena y la superficie donde se emplaza. En las áreas urbanas se necesita un mayor número de estas instalaciones ya que hay más obstáculos que aminoran la señal, mientras que en las áreas rurales el alcance es mayor (SATI, 2009).

La estación base se compone de la torre, sobre la que va cada antena o equipo, que tiene una altura determinada para cubrir una zona amplia. Cuentan con equipos transmisores y receptores y de refrigeración (Huidobro, 2013). Éstos son importantes ya que una estación recoge la información que reciben sus antenas asociadas. Si bien almacenan datos, no son las estaciones las que ejercen un impacto en la salud sino las antenas que soportan¹. Otro impacto que ejercen tanto antenas como estaciones es el paisajístico (que es independiente de la radiación y otros factores), en lo que respecta a la visión de éstas como instalación “fóbica” (Moreno, 2001). Este concepto se refiere a aquella instalación o infraestructura que produce cierto rechazo por parte de la sociedad ya sea porque afecta al paisaje visualmente o provoca ruido o cualquier otro efecto que tenga que ver con la percepción social de la misma.

Las antenas de telefonía móvil producen emisiones radioeléctricas que conforman campos electromagnéticos. Respecto a las emisiones, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) no provocan efectos perjudiciales para la salud dentro de los límites establecidos por la legislación. La OMS y el Ministerio de Sanidad y Política Social han llevado a cabo estudios sobre salud ligada a estas emisiones radioeléctricas y han llegado a la conclusión de que los niveles fijados por la Ley y controlados por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, no son perjudiciales. Sin embargo, no hay una convicción por parte de la ciudadanía de que esto sea cierto, ya que han sido varios los casos en los que las personas han atribuido diversos efectos (angustia, ansiedad, dolores de cabeza, mareos...) a la proximidad a las antenas o los teléfonos móviles, por lo que, según algunos

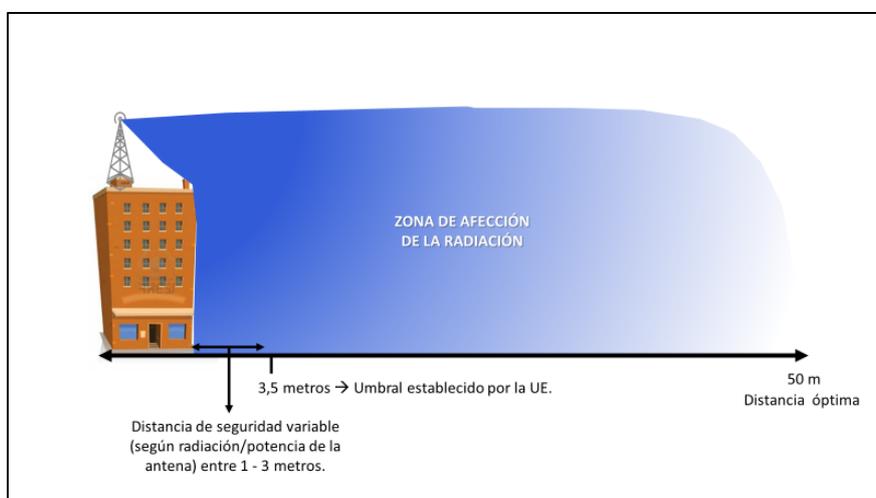
¹ En la Revista Discovery Salud, número 36, se puede encontrar el siguiente reportaje: *Las antenas de telefonía móvil sí son peligrosas*, dentro del cual se citan una serie de casos en los cuales se asocia la telefonía móvil con sus impactos en la salud. Algunos son casos puntuales y otros son estudios. Está disponible la versión digital en: <https://www.dsalud.com/reportaje/las-antenas-de-telefonía-movil-si-son-peligrosas/>

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

expertos, la OMS debe reconocer estos malestares psico-sociales y atenderlos (Foro Internacional "Las antenas y la salud humana: mitos y verdades", 2004).

La legislación que regula de forma general las antenas y estaciones base de telefonía móvil está estipulada en el Real Decreto 1066/2001 y en la Orden Ministerial CTE/23/2002. En ella se controlan las emisiones radioeléctricas, el formato y contenido de las certificaciones que deben presentar al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio los operadores de las compañías, la normativa sectorial y los límites de exposición.

Figura 2.1 - Radio de acción de la radiación electromagnética de una antena genérica y distancias de seguridad convenidas



Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio-SATI, Gobierno de España, 2009, consultado en abril de 2017. Elaboración propia.

La exposición a los campos electromagnéticos está regulada desde la normativa europea y desde la estatal. Los límites establecidos son los recomendados por la OMS y han sido adaptados por la UE y España en el Real Decreto 1066/2001. Queda así reflejado el amplio margen de seguridad, que no debe ser superado para que se garantice la protección (Cruz, 2013).

En el caso de los municipios españoles, hay un papel importante de las Ordenanzas Municipales. Éstas se encargan de establecer (dentro de las competencias municipales) los requisitos que deberán cumplir las estaciones base de telefonía móvil determinando su instalación y funcionamiento a la concesión de licencias municipales correspondientes. Esta concesión de licencias a veces afecta a los intereses de las compañías de telefonía móvil pues "Cada Comunidad tiene su propia regulación y especialidades. Esto causa

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

auténticos quebraderos de cabeza a las empresas de telefonía móvil en la tramitación de licencias” (Pensado, 2014: 72).

En el caso de Santander la normativa se reglamenta a través de la Ordenanza reguladora de las condiciones urbanísticas de localización de instalaciones de telefonía móvil celular y otros equipos radioeléctricos de telefonía pública del Ayuntamiento de Santander (Ayuntamiento de Santander, 2001). En el Título II de Planes de Implantación es de interés destacar su “Capítulo II – Localizaciones”, que regula la localización estas instalaciones dividiéndola en tres artículos que distinguen localizaciones en cubiertas de edificios, instalación de contenedores y localización en mobiliario urbano. También es preciso destacar el “Capítulo III – Protección especial” cuyo artículo regula la ubicación de las instalaciones atendiendo a criterios de tipo paisajístico, de protección del patrimonio, impacto visual, etc.

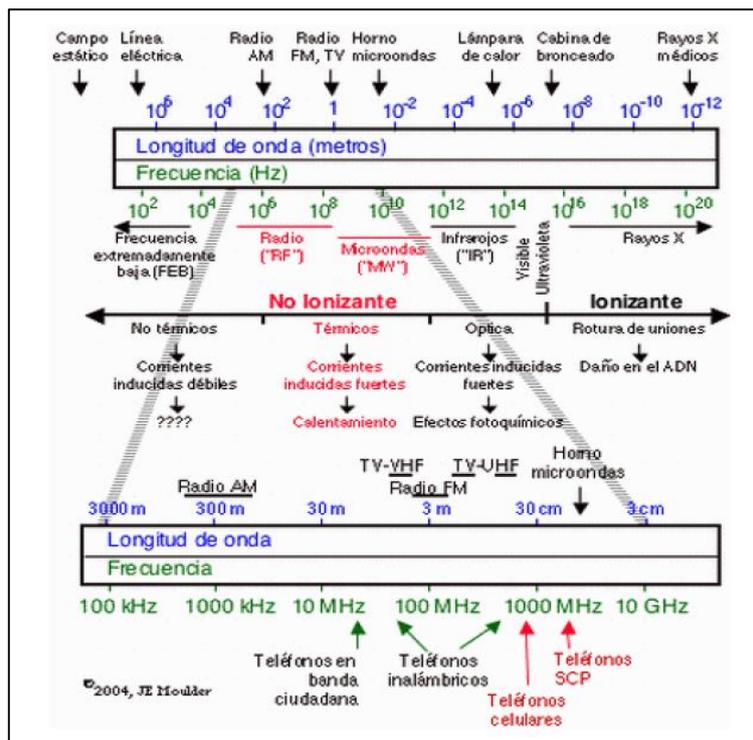
Además, las CCAA se encargarán del impacto que puedan causar las antenas sobre el paisaje y el medio ambiente: *“El artículo 45 de la Constitución Española en relación con el artículo 149.1.23 ha instaurado la competencia exclusiva de las CC.AA. para aprobar las normas adicionales sobre protección del medio ambiente y del paisaje, competencia que en mayor o menor medida ha sido recogida por los diversos estatutos de autonomía y normativa autonómica”* (Pensado, 2014: 72).

Respecto a la radiación emitida por las antenas, vemos que se puede clasificar de formas distintas y que sigue una graduación determinada. Los campos electromagnéticos son el conjunto de ondas eléctricas y magnéticas, que se mueven a la velocidad de la luz, producidas por la aceleración de una carga eléctrica. Se usa para referirse a la presencia de radiación electromagnética. Incluyen los campos que emite la radio, la televisión, el radar, las comunicaciones, los teléfonos móviles y antenas, etc.

Dependiendo de la frecuencia, los campos electromagnéticos pueden emitir radiación ionizante o no ionizante. La radiación ionizante es aquella con la suficiente energía para producir ionización, separando electrones de átomos. Al interactuar con la materia puede modificar las reacciones químicas del cuerpo y dañar los tejidos biológicos. La radiación no ionizante es aquella sin la suficiente energía para causar ionización. No se producen grandes daños debido a que la población está expuesta a unos niveles muy bajos (Cruz, 2005).

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Figura 2.2 - Comparación de radiofrecuencias, por objeto y tipo de radiación



Fuente: John Moulder, Medical College of Wisconsin. *Antenas de telefonía y salud*, 2004.

La frecuencia de las ondas electromagnéticas se mide en hertzios (Hz). Es una unidad física usada para medir la frecuencia de ondas y vibraciones de tipo electromagnético. Su nombre viene de su descubridor, H.R Hertz, que vio que los impulsos eléctricos se comportaban como ondas y se podía medir su frecuencia al contar los ciclos que hacían por segundo. En las telecomunicaciones se aplica la radiofrecuencia, una clase de onda electromagnética que permite comunicar dos puntos distantes desde unos cuantos metros hasta miles de kilómetros (Cruz, 2005).

En el contexto de este trabajo es preciso exponer algún caso sobre la posible afección a la salud de la radiación de las antenas de telefonía móvil.

Se demostró que una exposición local a una radiación electromagnética de 900 MHz procedente de los teléfonos celulares provoca una elevación de la temperatura superficial y profunda en los tejidos de la cabeza. Ese efecto térmico puede alcanzar el tejido cerebral y provocar efectos adversos en la salud. Además, algunos estudios sugieren (aunque no de forma concluyente) una mayor frecuencia de tumores cerebrales en usuarios de los teléfonos móviles (Cruz, 2005).

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Los efectos de la proximidad a la radiación de las antenas no están muy claros por parte de la comunidad científica. Son varios los casos tomados de referencia y los resultados difieren unos de otros.

“Un estudio realizado en 1997² encontró que los campos de RF de antenas de telefonía incrementan la tasa de ratones genéticamente manipulados que desarrollan leucemia. Varios estudios vienen llevándose a cabo para confirmar este hallazgo y determinar cualquier relevancia de estos resultados con el cáncer en seres humanos. Tres estudios epidemiológicos recientes no encontraron evidencia convincente del incremento de riesgo de cáncer o cualquier otra enfermedad debido al uso de teléfonos móviles” (Cruz, 2005: 4).

Partiendo de los estudios que se realizaron se puede plantear que exponerse a la radiación electromagnética aumenta el riesgo de desarrollar diversos tipos de tumores. Sin embargo, las probabilidades de certeza de la relación radiación-afección varían. Se han establecido de esa forma intervalos, expresados en porcentaje para cada caso (Cruz, 2005):

- Certeza alta (>50%): para aquellos casos de leucemia en infantes y cáncer cerebral en personas adultas.
- Certeza media y baja (10% a 50%): para casos de cáncer de mama masculino y cáncer cerebral en niños.
- Certeza muy baja o nula (menos de 10%): como carcinógeno universal (es decir, el supuesto de que todos los cánceres contraídos tuvieran relación con la proximidad a las antenas).

A partir de estos estudios se llega a la conclusión de que la exposición a un determinado nivel de radiación electromagnética (siempre que sea bastante alto) si supone un peligro. Sin embargo, las antenas de telefonía móvil que están instaladas en la actualidad en nuestras ciudades tienen un control muy riguroso de sus potencias y no se considera peligrosa la radiación emitida. Para radiaciones medias se puede notar una cierta controversia, ya que sólo se han dado casos puntuales y se han establecido relaciones con

² El estudio se titula *Radiofrequency Field Exposure and Cancer: What do the laboratory studies suggest?*, el autor, Michael H. Repacholi, pertenece a la OMS, Geneva, Suiza. Se puede encontrar en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1469962/pdf/envhper00331-0179.pdf>

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

afecciones a la salud. De ahí que se prefieran tomar precauciones antes que arriesgarse a poder causar daños.

3.- Fuentes estadísticas y cartográficas para el desarrollo del trabajo.

En el desarrollo de este trabajo se emplean diversas fuentes. Éstas son el Geoportal de Infoantenas, los padrones y censos del INE, el Catastro, el SIOSE, el servicio de descargas del Gobierno de Cantabria y los datos abiertos del Ayuntamiento de Santander.

Como fuente base más importante para el desarrollo de este trabajo se encuentra el portal web Infoantenas, del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital del Gobierno de España. Este servicio contiene datos de las comprobaciones realizadas por los técnicos de las Jefaturas Provinciales de Inspección de Telecomunicaciones, también certificaciones presentadas por los operadores de telefonía móvil a este Ministerio, en cumplimiento de lo establecido en la normativa sectorial y en particular en el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas. La sección más usada de esta fuente en el desarrollo de este TFG es el “Servicio de Información sobre Instalaciones Radioeléctricas y Niveles de Exposición del Público en General” que ofrece dos opciones: un visor cartográfico o una versión de texto (a modo de tabla con información ordenada).

Figura 3.1 - Información estructurada de una estación de telefonía móvil

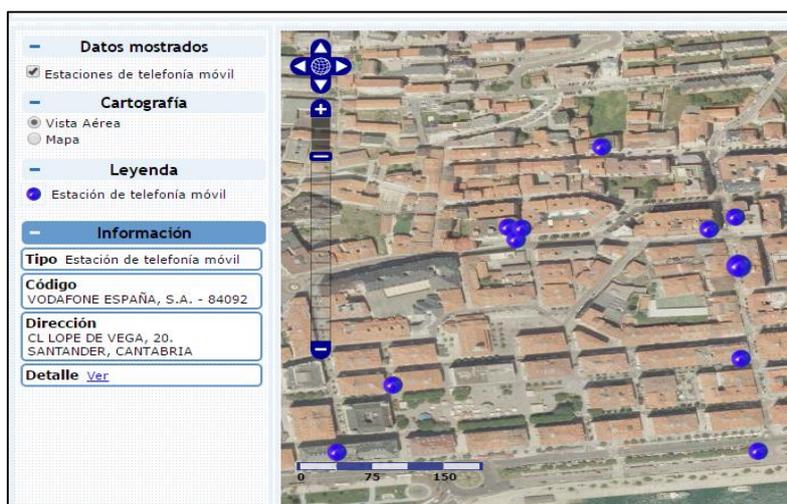
ESTACIONES DE TELEFONÍA MÓVIL		
LOCALIZACIÓN		
Código	Dirección	
VODAFONE ESPAÑA, S.A. - 84092	CL LOPE DE VEGA, 20. SANTANDER, CANTABRIA	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
Operador	Referencia	Banda Asignada (MHz)
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	S S -0800098	1905.00 - 1910.00; 2140.00 - 2155.00
NIVELES MEDIDOS EN EL ENTORNO		
Distancia (m)	(*) Acimut (º)	Valor Medido ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)
100.0	95.0	<0.01061
97.0	205.0	0.07451
Los niveles medidos cumplen la normativa legal vigente, al encontrarse muy por debajo de los niveles de referencia establecidos.		
El nivel de referencia más restrictivo para los servicios de radiocomunicación es de $200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. El nivel de referencia para los distintos servicios de telefonía móvil es siempre superior al valor más restrictivo ($200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) anteriormente indicado. Por ejemplo, para el servicio de telefonía móvil en la frecuencia de 2000 MHz, el nivel de referencia es $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.		
(*) Acimut es el ángulo que tiene una determinada dirección. Para calcularlo se toma como referencia el norte geográfico y a partir de ahí se gira en el sentido de las agujas del reloj.		

Fuente: Geoportal Infoantenas, Gobierno de España, Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (consultado en abril de 2017).

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

En la versión cartográfica vienen representadas mediante puntos en el mapa la localización de las estaciones de telefonía móvil de todo el territorio peninsular. La fuente en este formato de consulta permite seleccionar si se desea usar la vista aérea o el mapa. La información está georreferenciada siguiendo el sistema ETRS89, que muestra también las coordenadas.

Figura 3.2 - Versión cartográfica del Geoportal de Infoantenas, vista aérea de un sector urbano de Santander



Fuente: Geoportal Infoantenas, Gobierno de España, Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (consultado en abril de 2017).

Si se selecciona una estación de telefonía móvil se abre un desplegable con información de la misma. Se puede saber el código de la antena (en la que en ocasiones se muestra la compañía responsable) y la dirección. Además, también existe la opción de ver información más detallada de la misma. Se pueden confirmar el operador, la banda asignada de frecuencia (en MHz) y los niveles medidos de radiación electromagnética alrededor de la estación a una distancia determinada de la misma.

En la versión de “sólo texto” la información es menos accesible, ya que se debe saber la dirección de antemano para poder encontrar la información. Para el trabajo se ha utilizado la versión cartográfica de esta fuente.

Además de los visores, la página contiene información sobre la legislación en materia de niveles de exposición, con la posibilidad de descarga de los documentos del Real Decreto 1066/2001 de 28 de septiembre de 2001 y la Orden CTE/23/2002 de 11 de enero (condiciones para la presentación de estudios y certificaciones por operadores de

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

servicios de radiocomunicaciones). También cuenta con el documento de recomendaciones de la UE.

En el apartado “Información del Ministerio” están publicados diversos informes que se emiten anualmente (desde el año 2002, hasta el año 2015) sobre la exposición del público en general a las emisiones radioeléctricas de estaciones de radiocomunicación. En esa misma sección hay una serie de folletos divulgativos interesantes. Al igual ocurre en el apartado de “información de interés”, el portal cuenta con un apartado dirigido a resolver las dudas, diversos informes de ámbito local, información de normativas, buenas prácticas de uso e instalación de infraestructuras de telefonía móvil, informes de emisiones, etc.

Figura 3.3 - Ejemplo de Folleto Divulgativo “Indicaciones sobre el uso adecuado del teléfono móvil”

INDICACIONES SOBRE UN USO ADECUADO DEL TELÉFONO MÓVIL

Las indicaciones recogidas en este folleto ofrecen información complementaria a los límites establecidos en el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, sobre emisiones radioeléctricas, para que los usuarios puedan adoptar un comportamiento adecuado, tanto en lo que se refiere a la exposición a emisiones radioeléctricas como a otros aspectos de la utilización de los teléfonos móviles.

FUNCIONAMIENTO DE TELÉFONOS MÓVILES Y ESTACIONES BASE



El funcionamiento de los teléfonos móviles está condicionado por la existencia de estaciones base en su área próxima de alcance. Ello obliga a distribuir estas estaciones de manera regular, proporcionando una adecuada cobertura de servicio, de forma similar a la iluminación que proporcionan las farolas instaladas a lo largo de las calles de las ciudades.

FUENTES Y FRECUENCIAS DE EMISIÓN TÍPICAS

Banda de Frecuencias	Equipos y servicios
0 - 30 KHz	Pantallas TV / PC, líneas eléctricas
30 - 300 KHz	Radiodifusión en onda larga
300 - 3000 KHz	Radiodifusión en onda media
3 - 30 MHz	Radiodifusión en onda corta
30 - 300 MHz	Radio FM, Televisión (VHF)
300 - 3000 MHz	Televisión (UHF), Telefonía Móvil
3 - 300 GHz	Horno microondas, Comunicaciones Satélite, Enlaces Microondas, Radar

Reducción de la exposición a emisiones radioeléctricas

El Ministerio de Sanidad y Consumo lidera un comité de expertos multidisciplinar, que ha concluido que la exposición a las emisiones radioeléctricas de teléfonos móviles o estaciones base, dentro de los límites de la Recomendación Europea 1999/519/CE (recogidos en el Real Decreto español sobre emisiones radioeléctricas) no tiene efectos adversos sobre la salud. Esta conclusión coincide con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, del Comité Europeo de Normas Electromagnéticas (CENELEC) y de la Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP).

Además, siguiendo las recomendaciones del citado Comité para promover un uso racional de los teléfonos móviles, a continuación se informa sobre medidas que pueden ser adoptadas por los usuarios:

a) Cuando utilice un teléfono móvil procure hacerlo en condiciones de buena cobertura, en caso necesario, cambie de posición o si permanece en un espacio interior, acócese a una ventana.

cuanto menor sea la distancia entre un teléfono móvil y la estación base, menor es la potencia que ambos deben emitir, siendo también menor la exposición de los usuarios a las emisiones radioeléctricas y mejorando la calidad de las comunicaciones.

b) No prolongue innecesariamente la duración de las llamadas efectuadas mediante un teléfono móvil.

c) Los padres deberían procurar que sus hijos hagan un uso prudente de los teléfonos móviles, limitando su utilización a lo esencial y manteniendo una duración corta en las llamadas.

Telefonía móvil y conducción

El uso de teléfonos móviles sin opción “manos libres” está prohibido mientras se conduce, así como el uso de cascos, auriculares o instrumentos similares. La opción “manos libres”, aunque está permitida, no es segura, ya que, se ha demostrado que la concentración que requiere una conversación, marca un número o recibir una llamada produce distracción, incrementándose significativamente el riesgo de sufrir un accidente, poniendo en peligro a viajeros, peatones, ciclistas y otros conductores. Si recibe una llamada en estas circunstancias, no responda o informe a su interlocutor de que está conduciendo y acorte la conversación.

Mientras conduce, por su propia seguridad y la del resto de personas, utilice el contestador automático de su teléfono móvil o pida a un pasajero que efectúe o conteste las llamadas. Para consultar el buzón de voz o efectuar una llamada encuentre un lugar seguro para estacionar su vehículo.

Marcapasos

Estudios internacionales han demostrado que los teléfonos móviles pueden interferir con algunos tipos de marcapasos cuando los dos dispositivos están muy cercanos, desapareciendo cuando se alejan unos centímetros. Como medida de cautela, se recomienda mantener un teléfono móvil en funcionamiento a una distancia mínima de 20 centímetros de un marcapasos.

Dispositivos de ayuda a la audición

Algunos dispositivos de ayuda a la audición son sensibles a las interferencias con teléfonos móviles digitales, dependiendo éstas del tipo de dispositivo auditivo y del teléfono. No obstante, existen en el mercado soluciones de teléfonos móviles “manos libres” que pueden dar respuesta a los citados casos de interferencia.

Reducción del coste de las comunicaciones

Para reducir el coste de sus llamadas, analice el horario y destino de las mismas y elija el esquema tarifario que mejor se adapte a su perfil.

Reciclado

Cuando decida deshacerse de un teléfono móvil o de su batería, entréguelo a un distribuidor o en un lugar específico de recogida de estos equipos, para así facilitar su reciclado y la preservación del medio ambiente.



Fuente: Geoportal Infoantenas, Gobierno de España, Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (consultado en noviembre de 2017).

Por otro lado, contamos con las dos bases de datos estadísticas a nivel nacional y local. Éstas pertenecen a los organismos INE (Instituto Nacional de Estadística) e ICANE (Instituto Cántabro de Estadística). Se han descargado como fuentes el “Padrón Municipal de Habitantes” y el Censo de Población y Viviendas, que son fuentes originadas por el INE. Los datos más actualizados son los del Padrón mientras que el censo al ser decenal solamente contiene información hasta el año 2011.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

El ICANE, como se acaba de mencionar, se centra en la Comunidad Autónoma de Cantabria mientras que el INE aporta datos de toda España. La estructura de ambos portales estadísticos es muy similar. El ICANE tiene la información tematizada en secciones y el INE tiene los datos en el apartado INEbase. En estas bases de datos se ha conseguido información referente a las secciones censales y la población de cada una.

Continuando con las fuentes es preciso citar el Catastro que “es un registro administrativo dependiente del Ministerio de Hacienda y Función Pública en el que se describen los bienes inmuebles rústicos, urbanos y de características especiales. Está regulado por el Texto Refundido de la Ley del Catastro Inmobiliario, la inscripción en el mismo es obligatoria y gratuita, características que lo diferencian del Registro de la Propiedad. La descripción catastral de los bienes inmuebles incluye sus características físicas, jurídicas y económicas, entre las que se encuentran su localización, referencia catastral, superficie, uso, cultivo, representación gráfica, valor catastral y titular catastral” (Ministerio de Hacienda y Función Pública, 2017).

Según el Ministerio de Hacienda y Función Pública (2017) “[...] *el Catastro facilita el censo de bienes inmuebles, su titularidad, así como el valor catastral que es un valor administrativo que corresponde a cada inmueble y que permite determinar la capacidad económica de su titular*”.

En este caso se ha usado su servicio online para obtener datos de parcela catastral, direcciones y viviendas de Santander³. Dentro del mismo, se seleccionan datos de parcelas, direcciones o viviendas. Aparecen una serie de códigos, hay que bajar hasta encontrar el correspondiente a Santander y poder bajar los datos. Respecto a la información que nos ofrece el catastro sobre las viviendas hay que matizar que no sólo se las tienen localizadas y georreferenciadas, sino que cada una cuenta con información detallada como puede ser el número de plantas, su uso mayoritario, el estado de conservación o su código individual. Todo ello queda organizado en la tabla de atributos cuando abres la capa en el software de SIG. A continuación, muestro las capas descargadas:

³ Se ha optado por usar Mozilla Firefox como navegador (ya que en él se visualiza y se localiza mejor la información que en otros como Chrome o Explorer) y el siguiente enlace para obtener la información:
<http://www.catastro.minhap.gob.es/webinspire/index.html>

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

-Edificaciones.shp, que contiene los polígonos que representan las viviendas de la fuente del catastro.

-PARCELAS.shp, que contiene los polígonos que representan las parcelas catastrales de la fuente del catastro.

-Direcciones.shp, que contiene los puntos que representan las direcciones (portales) de la fuente del catastro.

Por otro lado, se dispone del SIOSE, creado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), que según la información que consta en el portal oficial www.siose.es “*es el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España, integrado dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT) cuyo objetivo es generar una base de datos de Ocupación del Suelo para toda España*”. La escala de referencia que utiliza es la 1:25.000 e integra diversa información de las comunidades autónomas y la Administración General del Estado. De entre toda la información disponible interesa la respectiva a los usos del suelo de la cual se ha obtenido la que corresponde al área de Santander:

-T_POLIGONOS_06.shp como la capa que divide el área de Santander en polígonos con su tabla asociada con la información del uso del suelo cada polígono, y la superficie ocupada.

-TC_SIOSE_ATRIBUTOS.dbf como la tabla de atributos que aclara el significado de los códigos de la tabla de atributos de la capa de polígonos.

-TC_SIOSE_COBERTURAS.dbf como la tabla de atributos que aclara el significado de las coberturas de la tabla de atributos de la capa de polígonos.

A continuación, destaca el portal web de Territorio de Cantabria, dentro del cual destaca el visor cartográfico (que realmente es un servidor al permitir la descarga de información) ubicado en la sección “Cartografía y SIG”, concretamente en el “Visualizador Web de Cartografía”. Su función en el trabajo ha sido la descarga de la ortofoto de PNOA, en concreto las hojas correspondientes con el entramado urbano de Santander (“PNOA 2014 0,25m”), para la elaboración posterior de cartografía.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

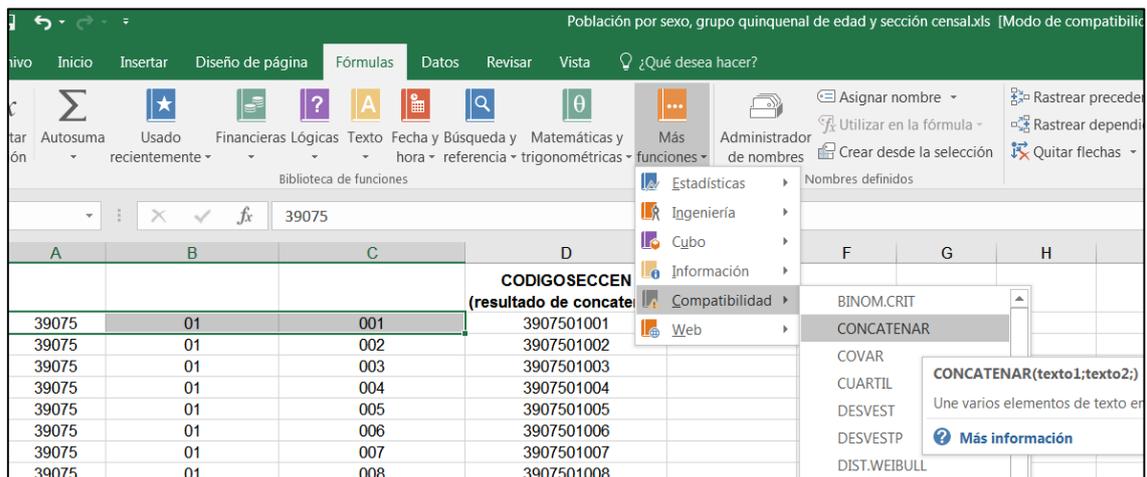
-Ortofotos del PNOA máxima actualidad (2014), hoja 35: H05_0035_1-1.tif; H05_0035_1-2.tif; H05_0035_1-3.tif; H05_0035_2-1.tif H05_0035_2-2.tif; H05_0035_2-3.tif; H05_0035_3-2.tif

Para concluir, se cuenta además con el servicio online de los Datos Abiertos de Santander. En la página la información se encuentra organizada por temas dentro de “catálogo de datos”. Se muestran como temas el transporte, urbanismo e infraestructuras, cultura y ocio, medioambiente, ciencia y tecnología y sociedad y bienestar. Para nuestro caso el apartado más útil es el de urbanismo en infraestructuras.

Dentro de urbanismo se ha descargado la capa “Secciones.shp”, que contiene información sobre el seccionado del municipio de Santander con su correspondiente población, aunque desactualizada. Por ello, se ha actualizado la información de la población de las secciones con las fuentes disponibles (ICANE).

La información de las fuentes se encuentra en formato de tabla de Excel y para adaptar el código de la sección al de la capa de secciones y realizar una unión se ha empleado la función de “concatenar” (Figura 3.4). El código queda igualado, estando todo organizado y disponible para uniones de tablas externas (Figura 3.5).

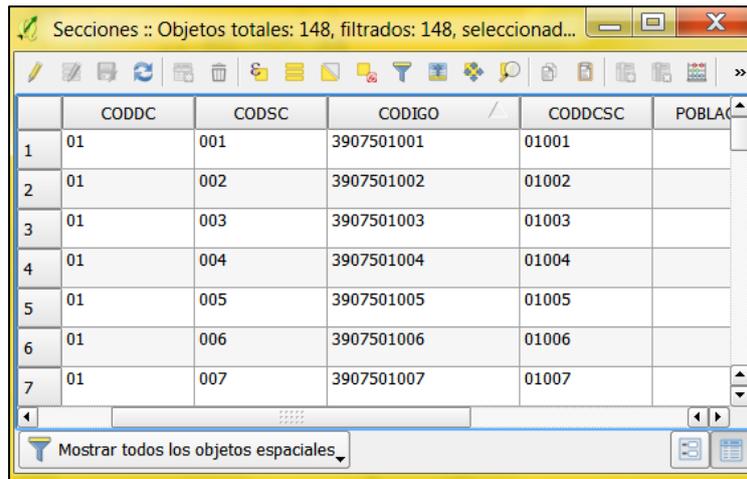
Figura 3.4 - Uso de la fórmula de Excel “concatenar”



Fuente: Captura de pantalla durante el proceso. Elaboración propia.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Figura 3.5 - Exportación de resultados al software QGIS y unión en tabla



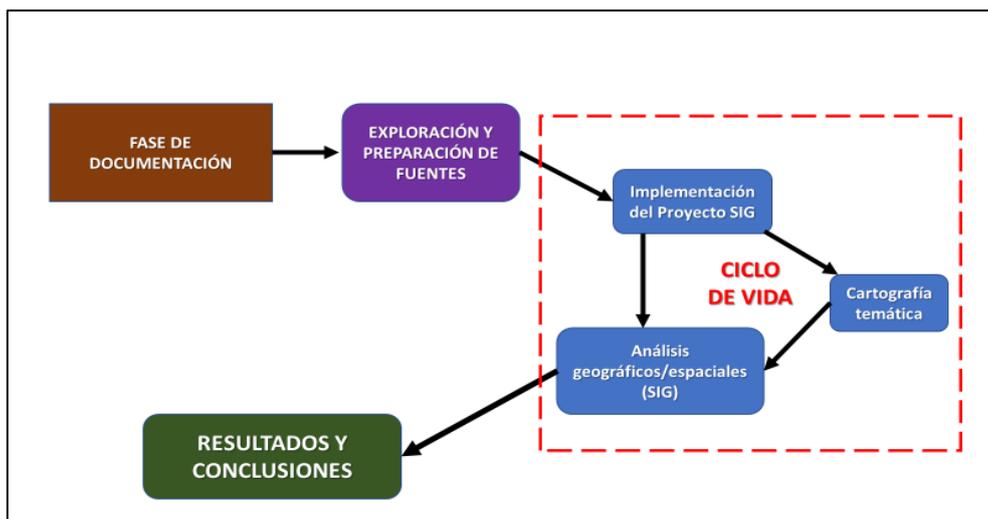
	CODDC	CODSC	CODIGO	CODDCSC	POBLACION
1	01	001	3907501001	01001	
2	01	002	3907501002	01002	
3	01	003	3907501003	01003	
4	01	004	3907501004	01004	
5	01	005	3907501005	01005	
6	01	006	3907501006	01006	
7	01	007	3907501007	01007	

Fuente: Captura de pantalla durante el proceso. Elaboración propia.

4.-Metodología.

Durante el desarrollo del TFG se han empleado varios métodos de trabajo que se pueden clasificar en dos niveles. El primero consiste en una metodología genérica para el TFG relacionada con el SIG y el otro nivel de metodología trata las operaciones y herramientas concretas que se han usado para la elaboración de cartografía, visualización y gestión de información, etc. Aunque un TFG no sigue el mismo procedimiento que un proyecto SIG, si cuenta en su metodología con las etapas de lo que se conoce como el “ciclo de vida” de un proyecto SIG (Glass, 2003) por su peso importante en esta línea de trabajo.

Figura 4.1 - Organigrama de etapas del Trabajo de Fin de Grado



Fuente: Elaboración propia

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

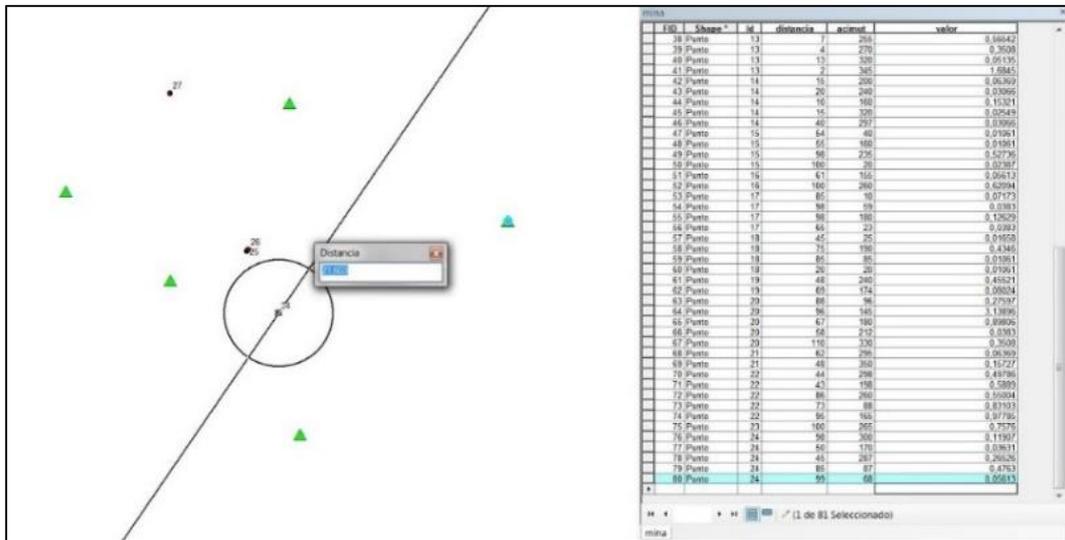
Inicialmente se ha procedido a la búsqueda de información relativa al ámbito temático de las antenas de telefonía móvil por medio de documentación (artículos, libros y manuales) de lo cual se han extraído, por un lado, citas literales de bibliografía interesantes, reflexiones propias sobre las lecturas y, por otro, un listado de conceptos de utilidad para el marco teórico del trabajo. Se ha priorizado la información de los organismos oficiales respecto a otro tipo de documentos y se ha extraído información respectiva al marco legislativo referente a las antenas de telefonía. Así mismo se ha buscado información cartográfica sobre la localización de las antenas y estaciones base de telefonía móvil de la ciudad de Santander. La fuente, mencionada en el apartado fuentes de este trabajo, también contiene información a modo de tabla o esquema que ha sido manejada. Se ha creado un archivo de Excel en el cual se ha tomado el Id (codificación de cada estación según la fuente) y el código para cada estación base de telefonía. Antes de proceder al siguiente paso se realizó una comprobación de la localización de aquellas estaciones de telefonía cuyo emplazamiento según la fuente generaba dudas y se tomaron fotografías; es decir, se realizó un trabajo de campo de comprobación.

A continuación, se procedió a la digitalización de parte de la información obtenida de las fuentes y trabajo de campo. En esta fase (de preparación de fuentes) se han integrado los datos mediante el software QGIS introduciendo la información de las tablas de Excel y de las capas descargadas en el programa mencionado. Durante la digitalización e introducción de datos se comprueba de forma pormenorizada que compartan Ids para que se puedan realizar uniones entre tablas de atributos y posteriores consultas de forma óptima.

Tras digitalizar las estaciones de telefonía móvil según la fuente de Infoantenas, descargar y descomprimir los archivos, se han cargado las capas de ortofoto, SIOSE, catastro, etc. (ya mencionadas en el apartado de fuentes) usando el software QGIS para su posterior trabajo con las mismas. La capa (Figura 4.2) es la base del proyecto junto con la capa de antenas y ha requerido una importante tarea de digitalización, pues se ha hecho específica e íntegramente para el desarrollo del TFG. Para ello se ha representado la localización de la toma de medidas de cada estación base de telefonía móvil. A cada estación se le toman, en diferentes puntos alrededor de la misma, una serie de medidas del valor de la radiación emitida. La digitalización se realiza en ArcGIS ya que es el único software que cuenta con las funciones necesarias para digitalizar correctamente ésta capa.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Figura 4.2 - Empleo de la herramienta de ArcGIS para la digitalización de medidas de radiación de las estaciones de telefonía móvil



Fuente: Elaboración propia.

La herramienta sirve para digitalizar puntos a una distancia y orientación de un punto ya existente, en este caso de la capa de antenas⁴ (el punto sería una estación base de telefonía móvil). Se pincha en la antena y se indica la orientación y después la distancia. Un aspecto a tener en cuenta en el uso de esta herramienta es que los grados que emplea son grados “estándar” en los que la línea horizontal se corresponde con 0°. Los grados de orientación que se utilizan en la fuente son los “acimut” en los que el norte geográfico es el punto 0° por lo que se tiene que aplicar una corrección de 90° a cada medida de la fuente. Por ejemplo, si en la fuente venía una medida tomada a 60° acimut habría que escribir en la herramienta que estaba 30° estándar (90-60) para corregir la dirección.

Con este procedimiento cada vez que se digitalizaba un punto se abría la tabla de atributos y se anotaba para ese punto la estación base a la que pertenece (Id), la distancia de la medida respecto a la estación (distancia), la orientación (acimut) y la cantidad de radiación que se recogió en la medición (valor).

Tras la implementación del proyecto ha sido necesario incorporar diversas herramientas para la fase de análisis básica. Éstas se pueden organizar en 3 tipos diferenciando,

⁴ Para todas las capas de entrada de datos hay que destacar que se ha hecho una reproyección al sistema de referencia “ETRS89-UTM30N 25830”

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

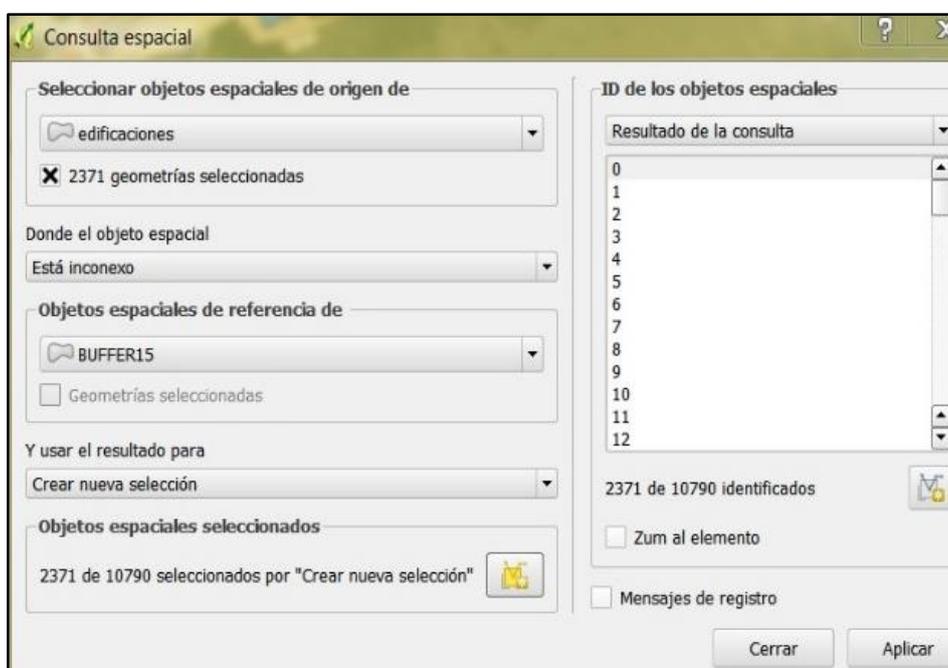
herramientas que gestionen la información, herramientas que analicen distancia y proximidad y herramientas para la realización de análisis estadísticos espaciales.

4.1. Herramientas de gestión de la información:

Consulta espacial

Con la operación de consulta espacial (Figura 4.3) se pueden ver los elementos de una capa de entrada (elegida por el usuario) afectados por una determinada área de influencia. Ésta puede ser un buffer realizado previamente, o cualquier otra capa siempre que sea en formato vectorial (líneas, puntos y polígonos).

Figura 4.3 - Acceso a la función de consulta espacial



Fuente: Elaboración propia.

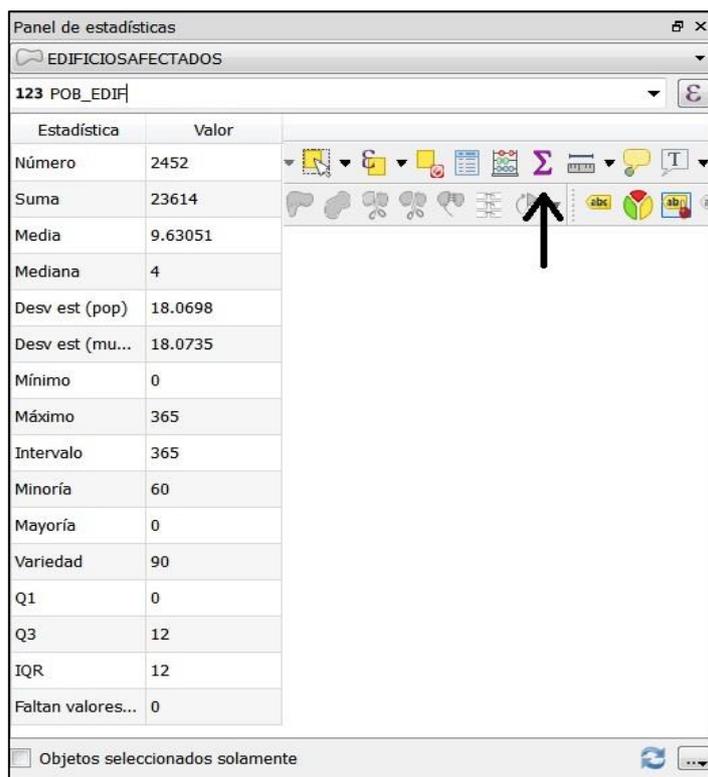
Se pueden dar varias situaciones en las cuales la capa de entrada o de origen esté inconexa, toque la otra capa, que se produzca una intersección, etc. Es importante seleccionar la opción apropiada para que no dé lugar a errores.

Mostrar resumen estadístico

Con la herramienta de QGIS “Mostrar resumen estadístico” se pueden obtener una serie de datos para una capa determinada y para un campo de tabla de atributos de la misma.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Figura 4.4 - Acceso a la herramienta “Mostrar resumen estadístico”



Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la Figura 4.4, se puede obtener información sobre el número de entidades espaciales presentes en la capa (“Número”), el sumatorio (“Suma”) de los valores recogidos en ese campo, el valor máximo y la media entre otros.

Si se marca la casilla de la parte inferior, la herramienta solo mostrará datos sobre una selección previa anterior realizada en la tabla de atributos.

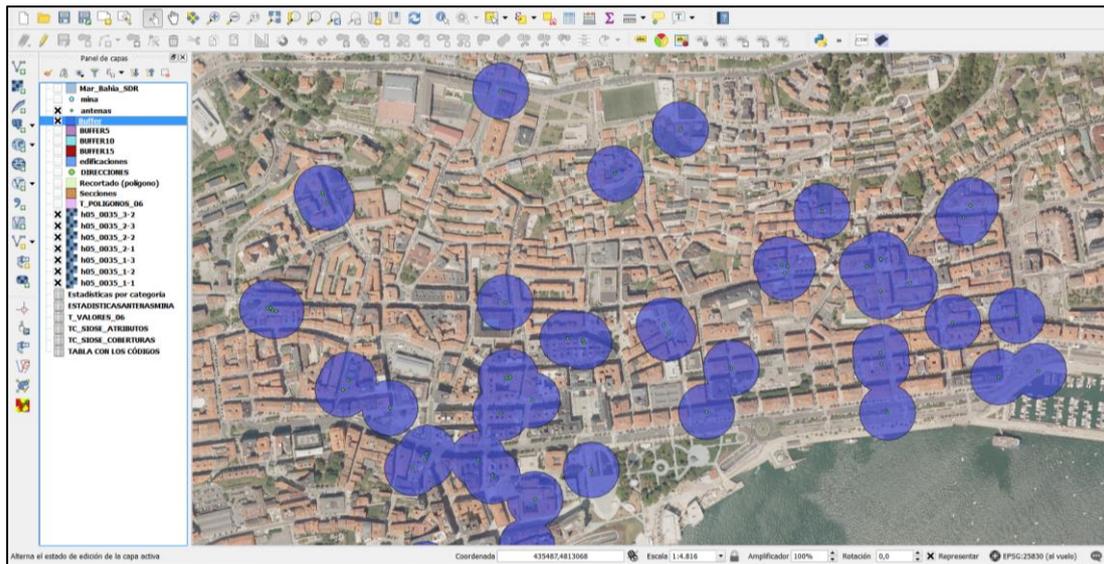
4.2. Herramientas de distancia y proximidad:

Buffer

La función buffer crea polígonos de área de influencia en torno a la cobertura de entrada especificada, que en este caso se corresponde con la capa de las estaciones de telefonía móvil (Figura 4.5).

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Figura 4.5 - Ejemplo de uso de un buffer en el proyecto SIG



Fuente: Elaboración propia.

Distancia euclídea

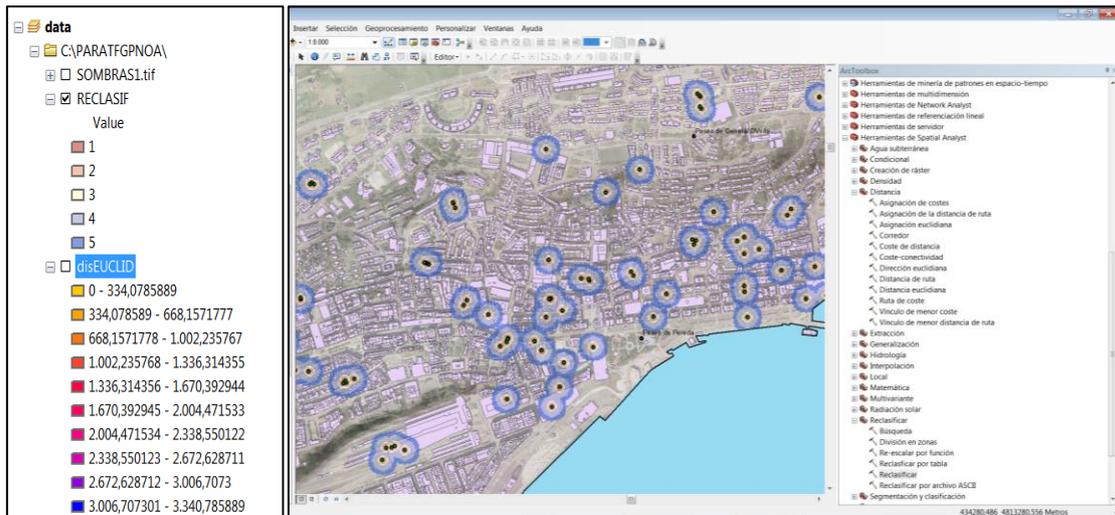
La distancia euclídea proporciona la distancia desde cada celda en el ráster hasta el origen más cercano. También permite calcular la distancia a partir de una capa vectorial de puntos. En este trabajo se emplea la herramienta de ArcGIS “Distancia euclidiana” tomando como capa de entrada las estaciones de telefonía móvil.

El programa asigna de forma automática unos intervalos. Sin embargo, no suelen ser los que se busca para un estudio real, por lo que, mediante la herramienta de “Reclasificar”, se concretan estos intervalos y se le asigna un valor a cada uno. Los valores que no entren en dichos intervalos se pueden omitir del resultado marcando la casilla “cambiar los valores ausentes por NoData”. De esta forma esos valores quedan excluidos en el resultado.

En la Figura 4.6 se puede ver el resultado final de haber aplicado la herramienta. Como se puede apreciar, el resultado son 5 intervalos, cuyos valores han sido especificados previamente.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Figura 4.6 – Resultado final de la aplicación de la herramienta “Distancia euclidiana”



Fuente: Elaboración propia.

4.3. Herramientas de análisis estadísticos espaciales:

Clústeres

Siempre que contemos con una capa de puntos y el objetivo es analizar si su distribución sigue un modelo particular relacionado con una variable, se puede recurrir a la herramienta de clúster. Lo que hace es clasificar los puntos del conjunto en grupos de iguales características.

Centro de gravedad

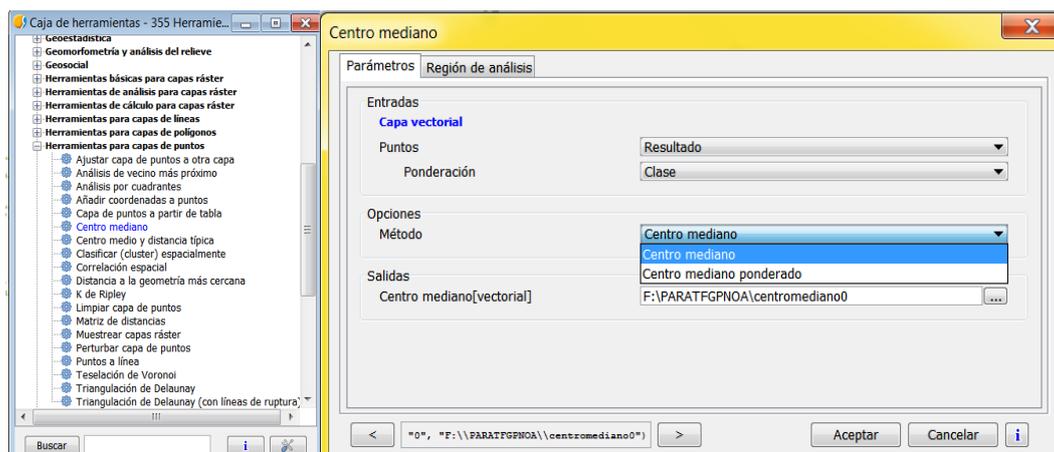
El centro de gravedad (Figura 4.7) calcula el punto medio de un conjunto de puntos. Se lleva a cabo mediante dos métodos:

-No ponderado: se hace el centro de gravedad sobre una serie de puntos (las estaciones base de telefonía móvil) sin haber realizado ninguna clasificación anteriormente, sobre la capa original.

-Ponderado: Consiste en aplicar el mismo procedimiento del centro de gravedad, pero a cada uno de los puntos se le agrega un peso igual a un valor que es intrínseco a cada uno de los datos.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Figura 4.7 - Acceso a la herramienta de cálculo del centro de gravedad



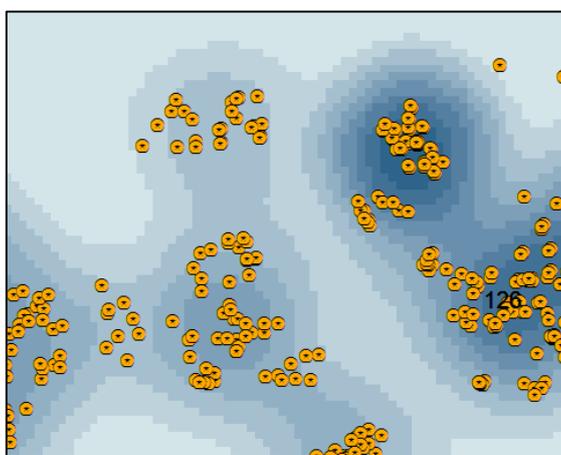
Fuente: elaboración propia.

Análisis de densidad Kernel

El análisis Kernel (Figura 4.8) se utiliza para calcular la densidad de los elementos de una capa (en el caso que nos concierne es la capa de puntos que representa cada medición de la radiación de las estaciones) teniendo en cuenta la vecindad de esos elementos (la distancia entre unos puntos y otros).

Este tipo de análisis tiene diversas utilidades ya que genera patrones espaciales significativos y expresivos. Para utilizar esta herramienta se ha empleado el software ArcGIS.

Figura 4.8 - Ejemplo de Análisis Kernel en las mediciones de radiación de las estaciones de telefonía



Fuente: Elaboración propia.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

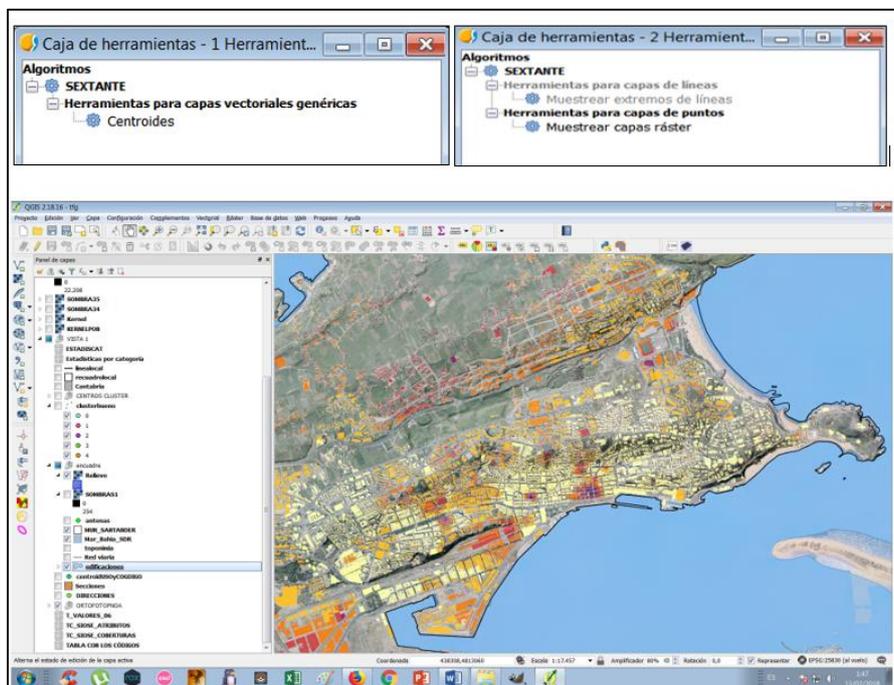
Potencia estimada por entidad espacial

Con el fin de obtener el dato de la potencia de radiación para cada vivienda del área de estudio se llevan a cabo una serie de pasos que se describen a continuación.

En primer lugar, mediante el programa GvSIG se rasteriza la capa vectorial de los valores medidos de cada estación de telefonía móvil. En segundo lugar, se emplea la herramienta “rellenar celdas sin datos” en la capa rasterizada para obtener el valor estimado de potencia del resto de celdas del entorno. En tercer lugar, se emplea la herramienta “Muestrear capas ráster” para obtener los valores de potencia de cada vivienda. La herramienta necesita de una capa vectorial de puntos para realizar el cálculo. Como las viviendas son una capa vectorial de polígonos es necesario calcular los centroides de las mismas previamente con la herramienta “Centroides”.

La capa resultado será de puntos y contendrá la información que se necesita para unirla a la capa vectorial de edificaciones. De esta forma el proceso está terminado y solo queda aplicar una gama de colores y clasificación apropiada (Figura 4.9).

Figura 4.9 – Herramientas de “Centroides” y “Muestrear capas ráster” de GvSIG y resultado final



Fuente: Elaboración propia.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Cálculo de población estimada por vivienda

Durante el desarrollo de este TFG ha sido necesario estimar la población residente en cada vivienda para un análisis complejo.

Las capas de partida son las secciones censales, en la que se dispone del campo con la población total de cada una de ellas, y las edificaciones del Catastro, donde se tiene información sobre el uso de cada vivienda. En primer lugar, mediante un join espacial, se asigna a cada una el código de la sección censal. Después se calcula el área habitable, en nuevo campo de la tabla de atributos de las edificaciones, para cada vivienda, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Área habitable = 0, en viviendas de uso no residencial.
- Área habitable = área del polígono * nº de plantas, en viviendas de uso 100% residencial.
- Área habitable = área del polígono * nº de plantas residenciales, en viviendas que cuenten con más de un uso aparte del residencial.

Una vez se sabe el área habitable se calcula en otro campo nuevo de la tabla, el sumatorio del área habitable por sección, agrupado por el código de la sección censal mediante la expresión “sum(expression, group_by)”.

- Expression → campo objetivo. En este caso sería el área habitable.
- Group_by → el campo por el cual se agrupará el sumatorio, el código de la sección censal.

Se obtiene la superficie habitable de la sección y se une a la tabla de secciones censales. A continuación, se calcula el ratio habitable de cada sección censal. Para ello se divide la población de la sección censal entre la superficie habitable de la misma. Posteriormente, se une el ratio obtenido a las viviendas y se calcula la población en otro campo nuevo multiplicando el ratio habitable por el área habitable de cada vivienda.

Es preciso destacar que los resultados son estimaciones. Sin embargo, con el método aplicado, el total de población repartida entre las viviendas de una sección determinada tiene que ser prácticamente igual a la de la sección. Hay varias viviendas cuya estimación de población residente es 0 ya que su área habitable se fijó en 0.

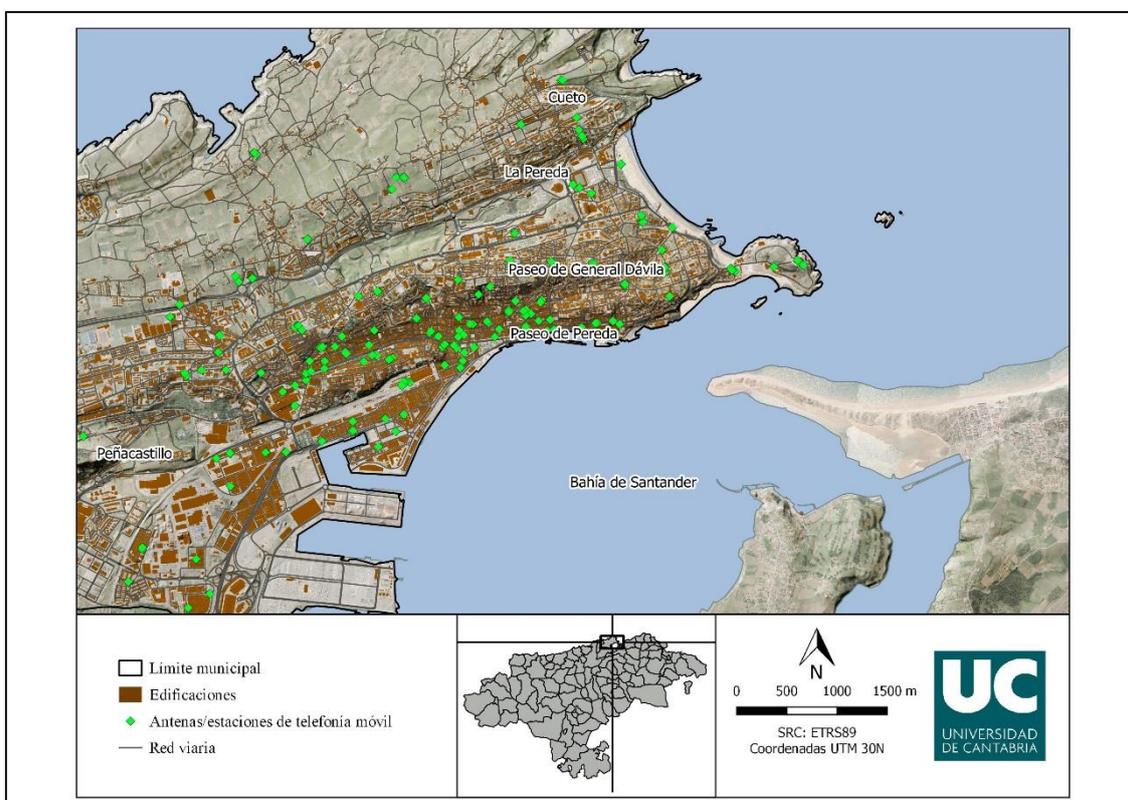
Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

5. Análisis

5.1 - Pautas de distribución de las antenas en el municipio de Santander.

En este apartado se analiza la distribución de las antenas de telefonía móvil en el municipio de Santander, por lo que es preciso señalar ciertos aspectos del área de estudio a modo de introducción.

Figura 5.1 – Mapa de encuadre del municipio de Santander y distribución de las estaciones de telefonía móvil



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenas, los datos del Catastro y la ortofoto del PNOA 2014.

La ciudad de Santander se sitúa en el norte de la Península Ibérica, en la Comunidad Autónoma de Cantabria, de la que es capital. Cuenta con una población de 171.951 habitantes, según los datos más actualizados del INE del año 2017 y con una superficie de alrededor de 35 Km². Santander conforma un área metropolitana por los alrededores de la bahía y de la que es cabecera comarcal.

Respecto al relieve del área de estudio, Santander se emplaza en una especie de sima o terreno irregular. Las pendientes más elevadas del espacio urbano consolidado se

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

encuentran en el área comprendida desde Valdecilla hasta Paseo del General Dávila y acabando en Canalejas con alturas superiores a los 80 metros sobre el nivel del mar en algunos casos. También destaca el área de Cueto y La Pereda con alturas máximas en torno a 75 metros. Sin embargo, la cota máxima se encuentra en Peñacastillo a 139 metros sobre el nivel del mar. Como es de esperar en un municipio costero, las cotas mínimas (de 2 a 4 metros sobre el nivel del mar) se encuentran en torno a la bahía, especialmente en el puerto y la zona del Paseo de Pereda.

Respecto al espacio edificado, según los datos de Catastro, Santander cuenta con más de 73.000⁵ viviendas, de las cuales un total de 72.021 forman parte del área acotada de estudio. De esta última cifra, 64.686 son de uso residencial, 1.772 presentan un uso industrial o derivado de la actividad industrial, 3.806 tienen un uso agrícola, 2.804 se destinan a servicios públicos (uso sanitario, educativo, de transporte y comunicaciones, producción de energía, etc.) y 735 al uso comercial y de oficinas.

Por otro lado, desde un punto de vista económico, la población activa por sectores económicos sigue la tónica general de España. El sector terciario tiene una alta ocupación con un 76,1% de la población activa empleada en él. A éste le sigue el sector secundario con un 12,9% en la industria y un 9,8% en la construcción. El sector primario solo cuenta con un 1,2% de ocupación.

En cuanto a la evolución de la población, según los datos de INE del Padrón municipal, en el año 1996 la población de Santander era de 185.410 habitantes. Con el paso de los años experimentó pequeños descensos y repuntes; pero por lo general se mantuvo estable en torno a 183.000 habitantes hasta en el año 2009. A partir de ese año, la población ha ido descendiendo progresivamente hasta la última cifra registrada de 171.951 habitantes.

Después de esta breve introducción al ámbito de estudio, pasamos a analizar las pautas de distribución de las antenas de telefonía móvil. Para ello se recurre a diferentes métodos de análisis espacial presentados en el apartado metodológico de este TFG.

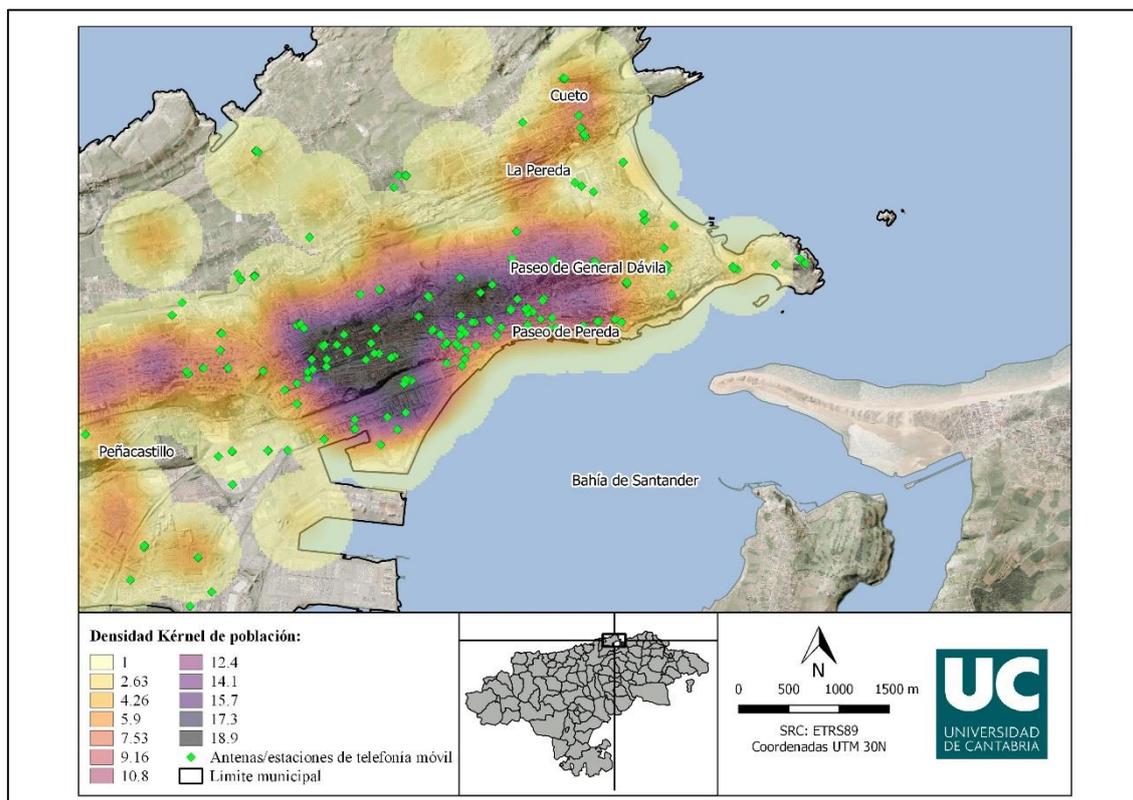
En el mapa anterior (Figura 5.1) se muestra la localización de las 195 antenas existentes en el área de estudio. Como se puede apreciar en su distribución, la mayor concentración de antenas de telefonía móvil se encuentra en el área más urbanizada de Santander, en la

⁵ Ésta cifra es de 73.803, que queda reducida a 72.021 al acotar el área de estudio. Son varios los casos en los que hay viviendas con más de un uso por lo que en el párrafo se enumeran por su uso principal o mayoritario.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

parte central. Al ser la zona más ocupada se necesita de un mayor abastecimiento de cobertura móvil para garantizar una buena conexión para toda la población que frecuenta este área. Esto también se puede comprobar aplicando la herramienta de densidad Kérnel (Figura 5.2), mediante la cual se calcula la densidad de población a partir de los centroides⁶ de las secciones censales.

Figura 5.2 – Relación de la densidad de población con la distribución de las estaciones de telefonía móvil (método de densidad Kérnel)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenas, los datos del Catastro y la ortofoto del PNOA 2014.

La menor concentración de antenas se encuentra en la franja norte, área que se corresponde con Cueto, La Pereda y Monte. Es una zona con un poblamiento más disperso y de menor densidad, por lo que la demanda de línea es menor.

Ocurre de la misma forma con el sector suroeste el cual, al ser una zona industrial consolidada sin apenas viviendas con uso residencial, no requiere de la presencia de

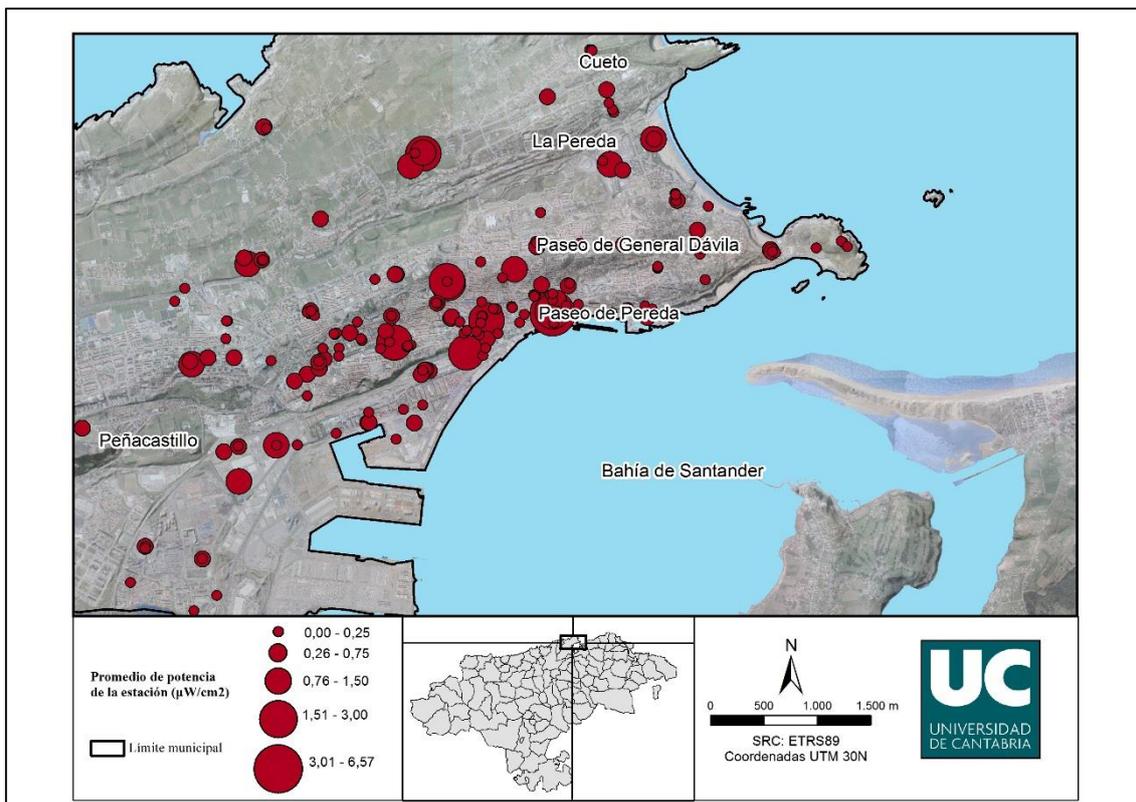
⁶ Dentro de los polígonos, el punto donde intersecan las líneas que unen un vértice con el punto medio de lado opuesto.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

antenas de telefonía móvil. Sin embargo, según los datos de las estaciones de telefonía móvil, estas localizaciones alejadas y dispersas suelen contar con antenas de mayor potencia, o se corresponden con una estación de telefonía con una cantidad notable de antenas asociada a la misma.

Estas estimaciones de relación de la potencia con la ocupación residencial se pueden contrastar mediante dos mapas. En el primero (Figura 5.3) se representa la potencia de la antena con símbolos proporcionales y en el segundo (Figura 5.4) se emplea de nuevo la densidad Kernel utilizada anteriormente. Los valores de potencia de cada estación de telefonía se han calculado mediante el promedio de las mediciones de las potencias presentes en los datos de la fuente de Infoantenas.

Figura 5.3 – Potencia de las estaciones de telefonía móvil



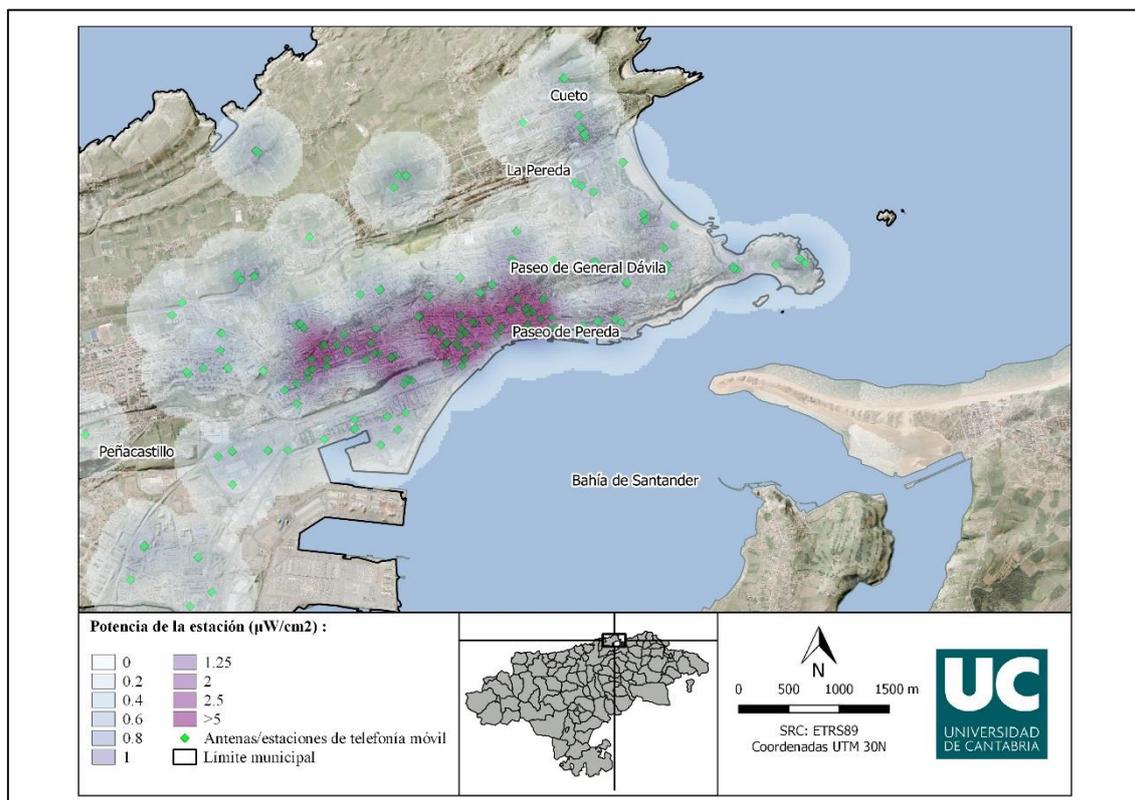
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenas, los datos del Catastro y la ortofoto del PNOA 2014.

En la Figura 5.3 se representa la potencia de cada antena de telefonía móvil mediante símbolos de diferente tamaño. La mayor parte de las antenas presentan una potencia de entre 0 y $0,25 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ y se encuentran repartidas por el área de estudio.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

En menor medida, y próximas a éstas últimas, están las antenas del siguiente rango de potencia, entre 0,26 y 0,75 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ y entre 0,76 y 1,50. Por la zona central de la ciudad se encuentran 4 antenas que entran en el rango de 1,51 y 3,00 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ de potencia y finalmente, en el mismo área se encuentran un par de antenas cuya potencia supera los 3,01 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ aproximándose en un caso a los 7 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Figura 5.4 – Modelo Kérnel de distribución de la potencia de las estaciones de telefonía móvil



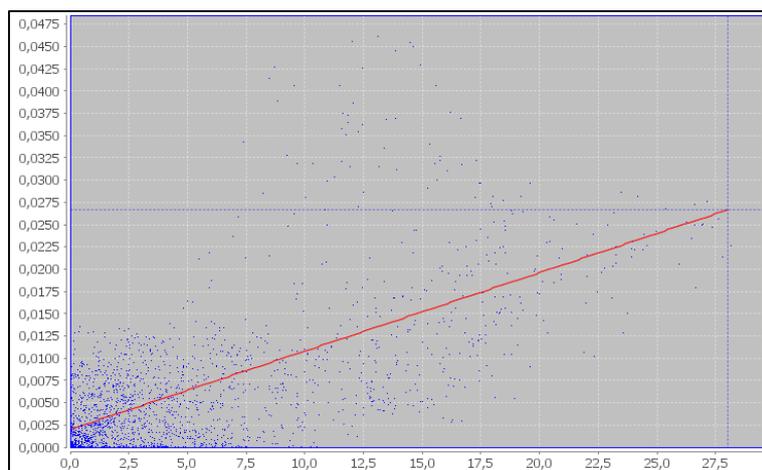
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenas, los datos del Catastro y la ortofoto del PNOA 2014.

Continuando con el análisis, en la Figura 5.4 mediante el modelo de densidad Kérnel se aprecia una mayor concentración de las altas potencias superiores a 1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ en el centro urbano y la periferia consolidada y donde la presencia de estaciones de telefonía es mayor. De igual manera, en los sectores más alejados como puede ser en Cueto, se aprecian pequeñas áreas cubiertas por un número reducido de estaciones, pero con una potencia considerable. Las menores potencias se localizan en el sector suroeste de Santander, en la zona industrial.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Si cruzamos la información de la densidad de población con la potencia mediante la correlación de los dos modelos Kernel presentados, obtenemos la recta de regresión (Figura 5.5) y un valor de correlación R de 0,442. Ese valor implica que la correlación es positiva, con una intensidad media-baja. Este resultado es interesante ya que, si tenemos en cuenta la generalización que supone la sección censal en las zonas menos pobladas, eso explicaría el hecho de que en otras zonas la correlación fuese más elevada.

Figura 5.5 – Correlación entre la densidad de población y la potencia de las estaciones de telefonía móvil – Recta de regresión



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenas y los datos del Catastro.

La densidad Kernel, tanto de potencia como de población, se calcula desde el centroide de las secciones censales. Las secciones exteriores del centro urbano, al tener una mayor superficie, la localización de su centroide es menos representativa, pues la densidad obtenida calculada desde ese punto no es expresiva de la localización de las zonas ocupadas por la población. Por el contrario, en las secciones censales más pequeñas, especialmente en las del centro, el resultado será más preciso o representativo al contar con una menor superficie, a la par que una mayor concentración de antenas y población.

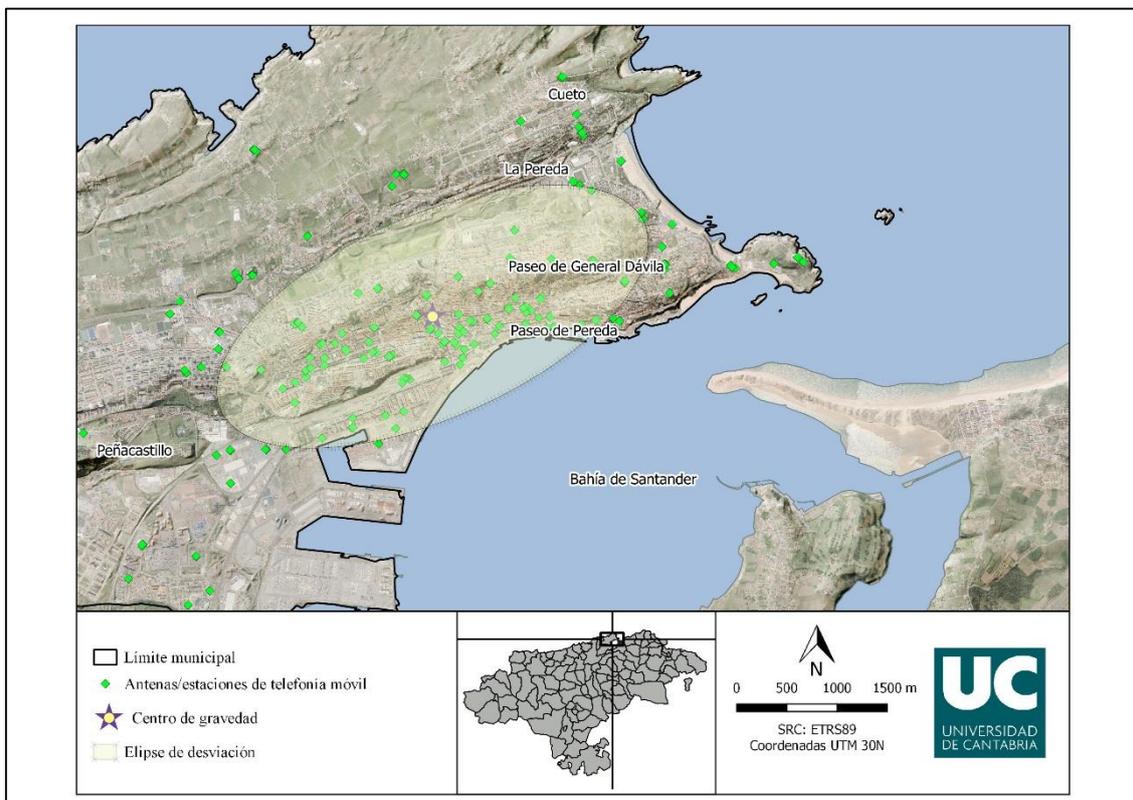
Para profundizar en el estudio de los patrones de distribución espacial de las antenas, el siguiente análisis que se presenta es el centro de gravedad, cuya función es calcular el punto medio de una nube de puntos, que en este caso representan las estaciones de telefonía móvil. Como se puede ver en la Figura 5.6, el centro de gravedad o centro medio se sitúa en el centro del área más urbanizada de Santander, entre los dos grupos más concentrados de estaciones de telefonía. Resulta de especial interés que el resultado de la

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

aplicar esta función es el área del ayuntamiento de Santander, que se identifica con el centro urbano la ciudad.

Esto podría demostrar que se cumple el principio de equidad o justicia espacial en la distribución de las antenas para dar respuesta a las necesidades de la población. La presencia de estaciones de telefonía móvil está ligada a la densidad de la edificación, por lo que, a mayor densidad, mayor presencia de éstas.

Figura 5.6 – Centro de gravedad y elipse de desviación de las estaciones de telefonía móvil en la ciudad de Santander



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenas y la ortofoto del PNOA 2014.

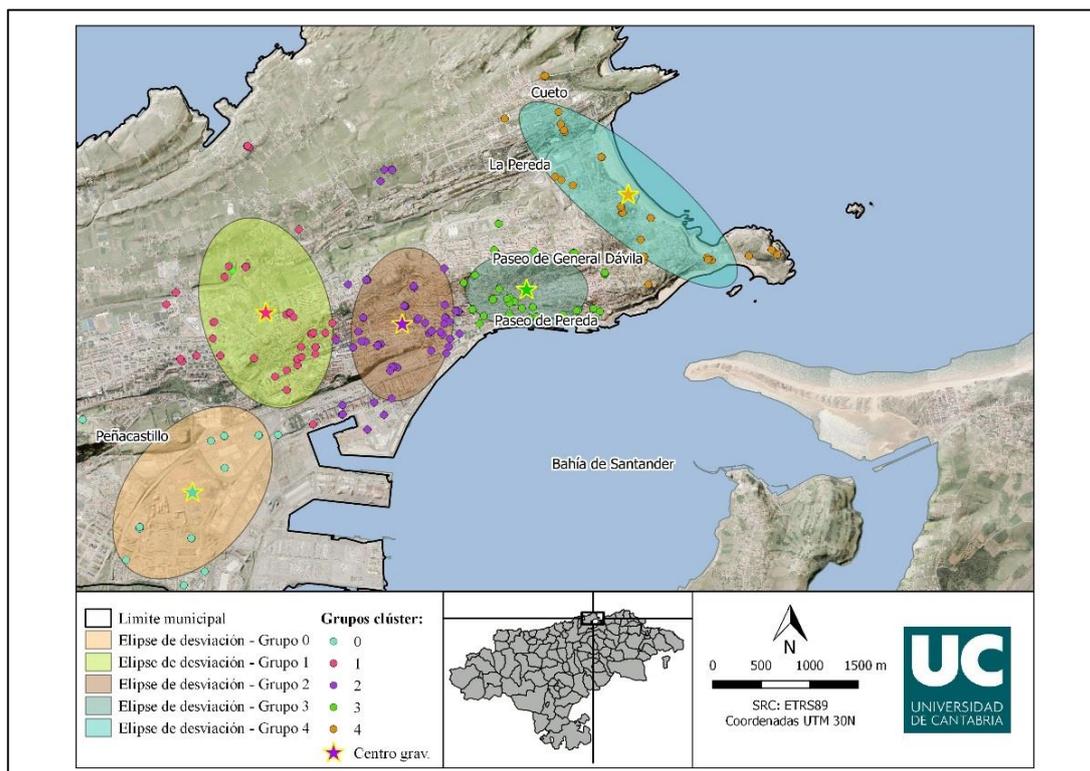
Otro método de interés para abordar la distribución espacial en la zona de estudio es un análisis clúster (Figura 5.7). Con este tipo de análisis se generan grupos de datos con similares características de distribución; así comprobamos si las estaciones de telefonía se reparten bajo un determinado patrón espacial.

Como resultado de aplicar la operación contamos con 5 grupos de estaciones en el área estudiada.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

En primer lugar, tenemos los dos grupos localizados en el sector más urbanizado. El primero se corresponde con el área de Ayuntamiento de Santander y la Calle Jesús del Monasterio (encontrándose en ella el centro de gravedad), cuenta con 66 estaciones de telefonía móvil e incluye parte de las estaciones dispersas de la franja norte. Estas calles son de las más transitadas en la ciudad y con mayor densidad de edificación.

Figura 5.7 – Distribución de las estaciones de telefonía móvil en la ciudad de Santander (método de agrupación clúster, elipse de desviación estándar y centro de gravedad)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenas y la ortofoto del PNOA 2014.

El segundo clúster cuenta con 42 estaciones de telefonía y abarca el Paseo de Pereda y General Dávila. Su centro de gravedad está en el final de la Calle del Sol. Este área, además de contar con las características de la anterior, destaca por la presencia del uso terciario, que se manifiesta en una elevada concentración locales de hostelería. Ambos grupos dividen la zona centro de Santander en dos.

Tanto al este y oeste, como al suroeste de estos dos grupos, se encuentran tres grupos clúster que se podrían considerar como grupos de estaciones periféricos ya que, o se

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

encuentran próximos a las zonas de salida/acceso de la ciudad o forman parte del sector que rodea al área de mayor densidad de edificación.

De estos tres últimos grupos, el que se encuentra al sureste de Peñacastillo cuenta con 16 estaciones de telefonía móvil y se localiza en la zona donde predomina un uso industrial (pudiéndose apreciar una concentración de naves industriales notable), su centro de gravedad se encuentra en un punto medio entre la salida de Santander, la dársena sur del Polígono de Raos y el área de Nueva Montaña – Peñacastillo. La elipse de desviación se extiende por buena parte del área en cuestión.

Al norte de éste se configura el siguiente grupo periférico que cuenta con 42 estaciones de telefonía móvil que se reparten en un área que comprende la zona de Cuatro Caminos, el Hospital Marqués de Valdecilla, la Avenida Pedro San Martín y la Avenida de los Castros. Su centro de gravedad se localiza en el comienzo de esta última. Las estaciones de telefonía que rodean su localización ofrecen servicio a residencias de mediana y baja densidad.

Por último, aparece un grupo localizado en la costa este del municipio, cuyas 32 antenas dan servicio al área turística y de veraneo del Sardinero, Magdalena y Cueto - Mataleñas. El centro de gravedad se encuentra en el parque de Piquío, que separa la primera y segunda playa del Sardinero.

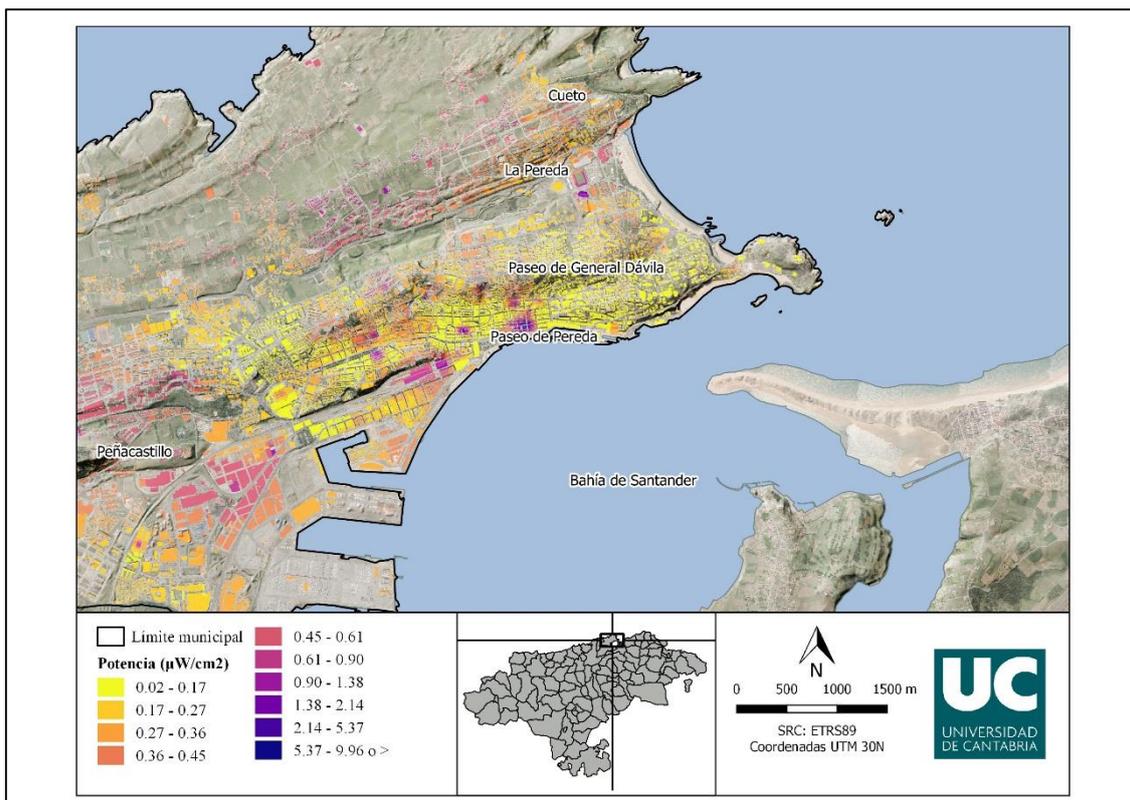
Se puede concluir que la distribución de las antenas es acorde a la densidad edificatoria y a los usos del suelo y, por lo tanto, a la demanda de la población dentro de esos grupos de estaciones resultado.

5.2 – Modelización de la afección de las antenas sobre el espacio edificado

Una vez realizado el análisis de las pautas de distribución de las estaciones de telefonía entramos a estudiar la afección de las antenas sobre el espacio edificado de Santander, e indirectamente sobre la población.

El mapa de afección de la potencia de las antenas a las viviendas (Figura 5.8) muestra la potencia estimada de la radiación electromagnética que recibe cada vivienda del área de estudio. Para ello se rasterizan los valores de potencia medidos de cada antena, se interpolan y se muestrea la capa resultado con las viviendas (véase proceso en apartado 4 de Metodología).

Figura 5.8 – Modelo de potencia estimada por vivienda.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenass, la ortofoto del PNOA 2014 y los datos obtenidos del Catastro.

Como se puede apreciar (Figura 5.8), el sector central de la ciudad, en términos generales, está sometido a potencias bajas pero constantes de radiación electromagnética, que no superan los $0,45 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Sin embargo, hay ciertas zonas del área central que están sometidas a los valores máximos de potencia registrados.

Éstas se corresponden con las calles Santa Clara y Juan de Herrera. El valor más alto (entre $2,14 - 5,37 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) afecta a una edificación pública de uso religioso, la Parroquia de la Anunciación. Otro espacio afectado se encuentra en la Calle Lope de Vega, en el punto en el que se produce el cruce con la Calle San Francisco. En las viviendas más próximas a esta intersección, se registran los valores más altos de radiación de las estaciones de telefonía, desde $5,37$ a $9,96 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ e incluso superando estos valores, ya que en los datos absolutos de partida de la fuente de Infoantenass, se puede encontrar un valor de $20 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Según los valores de potencia se puede afirmar que es el área más afectada por la irradiación de las estaciones de telefonía móvil.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Otras zonas con valores de potencia altos, entre 2,14 y 5,37 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, son la Calle Vía Cornelia Inferior, las proximidades del Mirador Río de la Pila y una vivienda en la parte sur del Estadio El Sardinero (Calle Real Racing Club).

En el arco periférico aparecen potencias que se podrían calificar de intermedias, con valores entre 0,45 y 1,38 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. Éstas se reparten en las zonas de edificación dispersa de Cueto y La Pereda, Peñacastillo y el área de naves industriales mencionada en el apartado de análisis anterior.

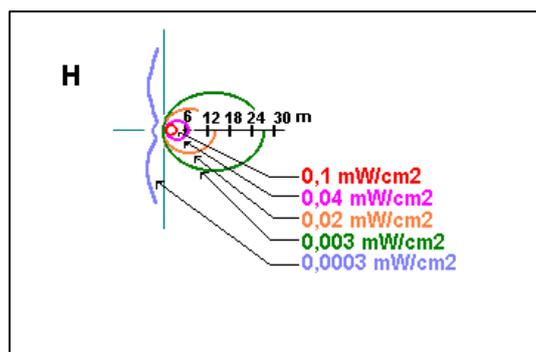
Con ello, salvo los casos expuestos, las zonas más transitadas de la ciudad correspondientes al centro urbano comprenden los valores de radiación más bajos. Al haber una mayor concentración de estaciones de telefonía móvil, no necesitan una alta potencia ya que la comparten con las estaciones más próximas. Por lo tanto, parece que se ha sabido gestionar la potencia de las estaciones de telefonía móvil con el fin de que la radiación en las zonas más frecuentadas por peatones no suponga peligro alguno. Así mismo, hay que plantear que se podría mejorar esta gestión, pues la potencia llega a valores elevados en lugares puntuales.

Terminado este análisis de base sobre la radiación soportada por vivienda, se desarrolla un segundo análisis mediante el método de la distancia euclídea. Como se ha explicado en el marco teórico del trabajo, existe cierta controversia con la radiación electromagnética y las consecuencias que puede tener en la salud, pues no hay estudios científicos concluyentes que relacionen los efectos en la salud con la presencia de estaciones de telefonía móvil. Los ejemplos anteriormente expuestos recurren más a modelos estadísticos, sin llegar al punto de demostrar que existe una relación entre proximidad de estaciones y aparición de malestares y enfermedades de diversa consideración.

Aunque éste sea un tema delicado del que todavía hay poca información, o no se ha concretado del todo su fiabilidad, y abordarlo excedería las competencias de este trabajo, existen distancias y potencias recomendadas. Según el Consejo de Naciones Unidas se recomienda evitar exposiciones a densidades de potencia superiores a 0,45-0,9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. Además, para la CA de Madrid, desde la Dirección General de Ordenación e Inspección y la Consejería de Sanidad, se establecieron unos umbrales de seguridad para las estaciones de telefonía móvil de sus poblaciones.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Figura 5.9 – Umbrales de seguridad establecidos por la CA de Madrid



Fuente: *10 cuestiones básicas sobre telefonía móvil*, Dirección General de Ordenación e Inspección - Consejería de sanidad. Comunidad de Madrid, junio de 2012.

A continuación, se toman estos umbrales como base para establecer los propios para la elaboración de la cartografía y las tablas del análisis. Los intervalos de radiación y las distancias han sido elaborados con criterio propio, basado en la recomendación existente de evitar la instalación de antenas de telefonía móvil cerca de edificaciones sensibles (hospitales, centros educativos, parques recreativos, etc.).

Tabla 5.1 – Umbrales de radiación asignados al área de estudio y número de viviendas y población que los soportan.

POTENCIA ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	N.º DE VIVIENDAS	POBLACIÓN TOTAL AFECTADA
< 0,45	8.931	16.146
0,45 - 0,9	353	910
0,91 - 2	129	284
> 2	62.554	153.476

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenas, los datos del Catastro y Padrón Municipal.

En la tabla 5.1 se han establecido 4 intervalos. Valores de potencia o radiación inferiores a $< 0,45 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, intervalo del Consejo de Naciones Unidas entre $0,45$ y $0,9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, otro intervalo para valores por encima de $0,91$ hasta $2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ y aquellos valores superiores a $2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Según los sumatorios realizados en las tablas de atributos se puede concluir que la mayoría de las viviendas del área de estudio superan los valores recomendados por Naciones Unidas y más de 62.500 soportan una potencia superior a $2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. De las más de 72.000 viviendas que entran dentro de la zona estudiada, solo 8.931 van a cumplir con las recomendaciones de la ONU. En datos de población se estima que más de 153.476 habitantes van a estar afectados por estas potencias de radiación y

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

poco más del 10% de la población se va estar afectada por intervalos recomendados de radiación.

Después de realizar la distancia euclídea desde las estaciones de telefonía móvil, se ha obtenido como resultado que, de las viviendas del área de estudio, son 92 las edificaciones de uso sanitario incluidas dentro de las distintas distancias determinadas y 63 aquellas de uso educativo. Las primeras están sometidas como máximo valores de radiación cercanos a $0,7 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ mientras que las 63 edificaciones de uso educativo se encuentran afectadas como máximo a valores próximos a $1,43 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Ninguno de los parques recreativos del área de estudio va a estar dentro de las distancias acotadas en el proceso.

Tabla 5.2 – Edificaciones sensibles afectadas dentro de la distancia euclídea y potencias máximas registradas

USO	Nº DE EDIFICACIONES	Potencias máximas registradas
Sanitario	92	$< 0,7 \mu\text{W}/\text{cm}^2$
Educativo	63	$< 1,43 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

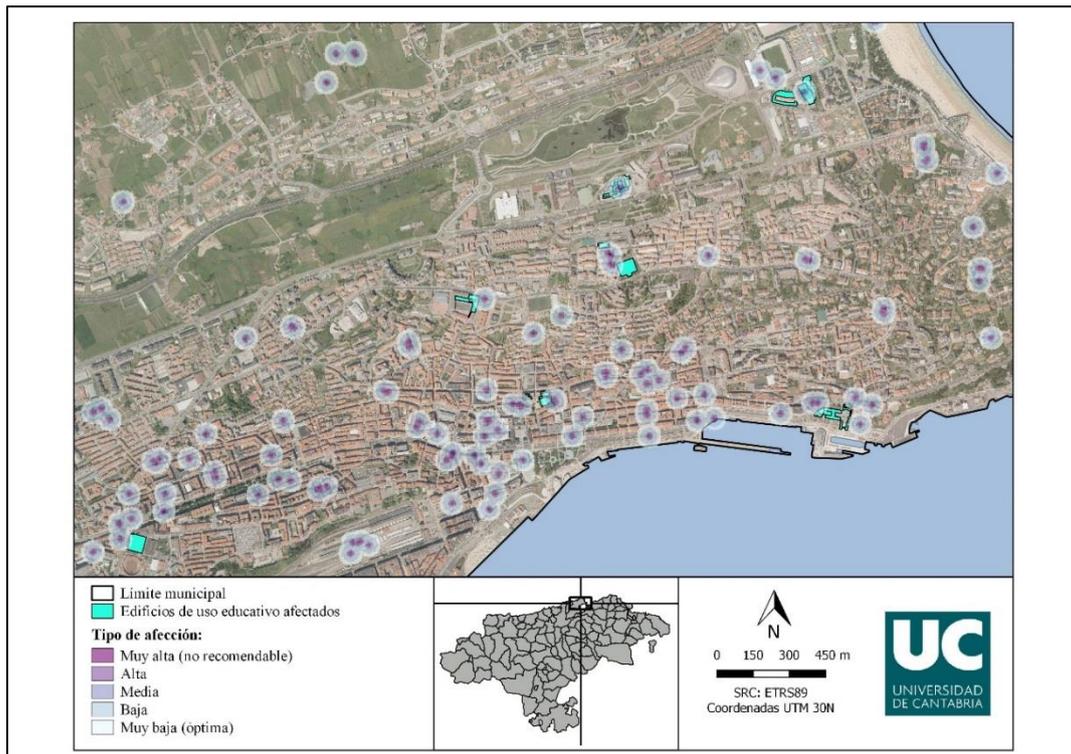
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenas, los datos del Catastro y Padrón Municipal.

En las figuras 5.10 y 5.12 se aprecian las viviendas o edificaciones afectadas por las distancias desde las antenas. Se elaboran por separado para apreciar mejor las diferencias pues algunas edificaciones de uso sanitario incluían el uso educativo, como en el caso del Hospital Universitario Marqués de Valdecilla.

Las distancias asignadas van desde los 6 metros hasta los 50 metros. A cada distancia se le asigna un valor, denominado como umbral de distancia, y se le ha calificado de una forma determinada en relación con el nivel de afección considerado para la edificación. Esta afección será más alta cuanto más cerca se encuentre la estación de telefonía de la edificación. Estos niveles son “muy alto o no recomendable”, “alto”, “medio”, “bajo” y “muy bajo u óptimo”.

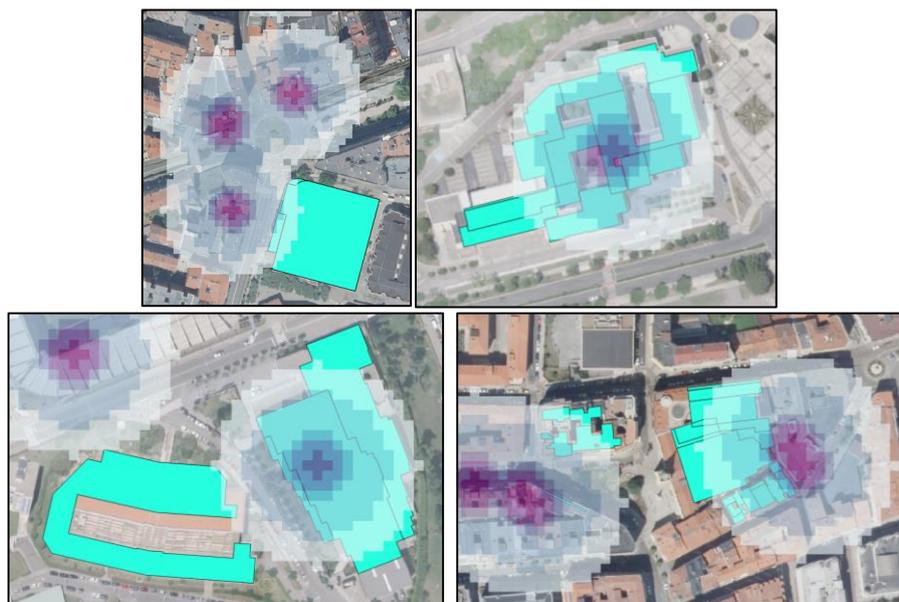
Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Figura 5.10 – Edificaciones de uso educativo afectadas dentro de la distancia euclídea



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenas, los datos del Catastro y la ortofoto del PNOA 2014.

Figura 5.11 – Zum a edificaciones de uso educativo afectadas dentro de la distancia euclídea



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenas, los datos del Catastro y la ortofoto del PNOA 2014.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

De las 63 edificaciones de uso educativo, como se puede apreciar en la Tabla 5.3, sólo un número reducido de ellos se encuentran dentro de un nivel de afección que se considera muy alto o no recomendable. El resto se ubican a una distancia buena u óptima de las antenas, por lo que evitarán en mayor medida los posibles efectos negativos de la radiación.

Si se aplica un zoom a determinadas edificaciones afectadas se puede ver que en la mayoría de los casos se sitúan a una distancia segura de la posición de la antena. Si bien hay casos como el de la Facultad de Ciencias, en que la estación de telefonía afecta a toda la edificación. Es importante recordar que la radiación de las antenas apenas tiene repercusión en el plano vertical y, en ese caso, la antena está ubicada cerca del centroide de la construcción, y en el tejado, por lo que la afección de ésta a las partes colindantes se vería reducida.

Tabla 5.3 – Edificaciones de uso educativo afectadas dentro de la distancia euclídea – datos absolutos y relativos

EDIFICACIONES DE USO EDUCATIVO				
Nº	Distancia (metros)	Umbral de distancia	Tipo de afección	% del total
1	6	1	Muy alta (no recomendable)	1,58
1	12	2	Alta	1,58
2	18	3	Media	3,17
12	36	4	Baja	19,04
47	50	5	Muy baja (óptima)	74,60

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenas, los datos del Catastro y el Padrón Municipal.

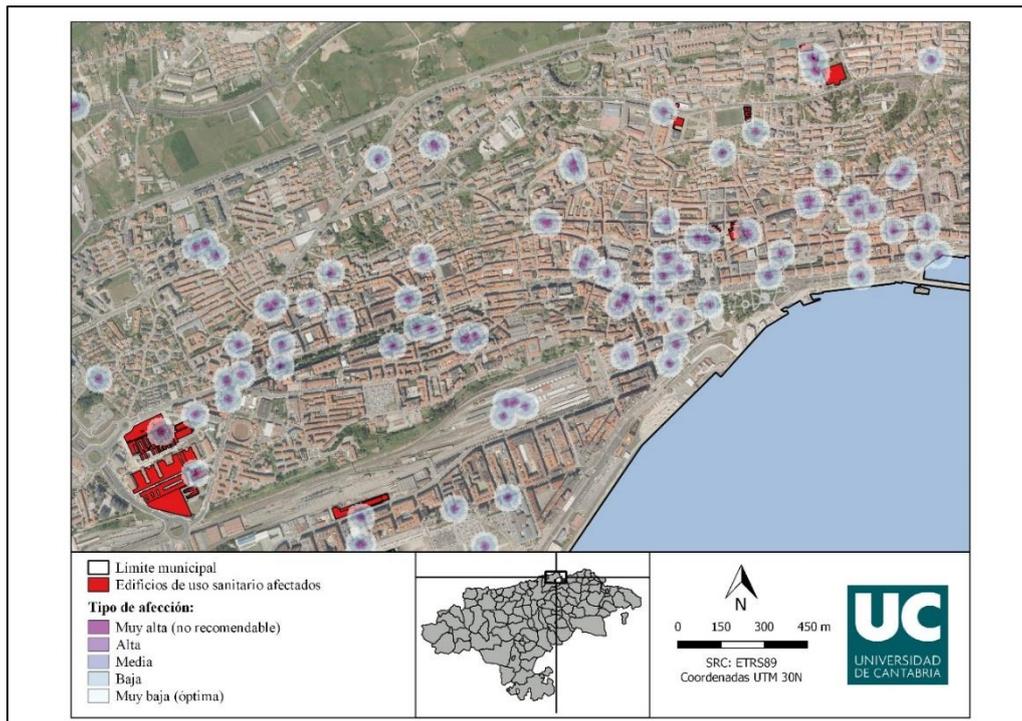
De igual forma que con las edificaciones de uso educativo, de las 93 de uso sanitario, como se puede apreciar en la Tabla 5.4, sólo 5 de ellas van a estar dentro de un nivel de afección que se considera muy alto o no recomendable, alto y medio:

- Dos edificaciones en la Calle Arrabal.
- Una edificación en la Calle San José.
- Una edificación en la Calle Fernando de los Ríos.
- Una parte de la edificación Hospital Marqués de Valdecilla (Valdecilla Norte)

Los demás se encontrarán a una distancia lo suficientemente amplia para que el nivel de afección de las antenas en éstos sea muy bajo, es decir, el óptimo.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Figura 5.12 – Edificaciones de uso sanitario afectadas dentro de la distancia euclídea



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenas, los datos del Catastro y la ortofoto del PNOA 2014.

Un caso para destacar de las edificaciones de uso sanitario afectadas es el del Hospital Marqués de Valdecilla (Figura 5.13), pues se puede considerar como el equipamiento de uso sanitario más importante no sólo de la ciudad, sino del conjunto de la CA de Cantabria.

Figura 5.13 – Zum a la edificación de uso sanitario afectada “Hospital Marqués de Valdecilla”



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenas, los datos del Catastro y la ortofoto del PNOA 2014.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Como se puede observar, hay dos antenas que afectan cada una a Valdecilla Norte y a Valdecilla Sur. Además, en los primeros umbrales de distancia, se incluye en ambos casos una parte considerable de la edificación.

Si visualizamos los valores de radiación medidos alrededor de las antenas, hay un dato de $1,23 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ que supera el intervalo de radiación de la ONU ($0,45$ a $0,9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$). Es un dato llamativo al tratarse de una edificación cuyas funciones van destinadas a la salud.

Tabla 5.4 – Edificaciones de uso sanitario afectadas dentro de la distancia euclídea – datos absolutos y relativos

EDIFICACIONES DE USO SANITARIO				
Nº	Distancia (metros)	Umbral de distancia	Tipo de afección	% del total
1	6	1	Muy alta (no recomendable)	1,08
2	12	2	Alta	2,17
2	18	3	Media	2,17
24	36	4	Baja	26,08
63	50	5	Muy baja (óptima)	68,47

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenas, los datos del Catastro y Padrón Municipal.

Para finalizar el análisis se ha elaborado la Tabla 5.5 en la que se concreta el número total de viviendas a las que afecta cada umbral de distancia, así como el total de población⁷ residente en éstos. La suma total de viviendas o edificaciones afectadas por los umbrales de distancia es de 2452. De ese total, 45 se localizan a unos 6 metros de distancia de estaciones de telefonía, 153 a unos 12 metros, 119 a unos 18 metros y 725 a 36 metros. Los 1.410 restantes se encuentran a una distancia de 50 metros, considerada como la más segura u óptima.

La población total afectada es de 23.614 habitantes, de los cuales 120 son los más influenciados por la radiación al estar más próximos a las estaciones de telefonía, mientras que la gran mayoría (15.609) se encuentran a una distancia ideal con el nivel de afección más bajo, y por lo tanto en una situación óptima.

⁷ La población se estima a través de un proceso en el que intervienen varias tablas de información y mediante el cálculo del ratio habitable (véase proceso en apartado 4 Metodología).

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Tabla 5.5 – Viviendas afectadas por umbral de distancia – datos absolutos

Umbral de distancia	Distancia (metros)	Tipo de afección	Nº total de viviendas afectadas	Nº total de habitantes afectados
1	6	Muy alta (no recomendable)	45	120
2	12	Alta	153	1.211
3	18	Media	119	896
4	36	Baja	725	5.778
5	50	Muy baja (óptima)	1.410	15.609

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del servidor web de Infoantenas, los datos del Catastro y Padrón Municipal.

6. CONCLUSIONES

Este Trabajo de Fin de Grado ha sido resultado de un largo proceso metodológico bajo la coordinación de la Dra. Olga De Cos, en el cual se ha demostrado la utilidad los SIG para los estudios geográficos aplicados.

Estas posibilidades que nos ofrecen los SIG han hecho posible cumplir el objetivo de este TFG: realizar un análisis de la afección territorial de las estaciones de telefonía móvil en el área central y la periferia externa de Santander. Dentro de las pautas de distribución de las estaciones de telefonía, se hace evidente su equidad y “justicia” espacial, manifestándose su grado de concentración en áreas de densidad edificatoria y poblacional: mayor en las zonas más edificadas del centro de la ciudad y menor en la periferia, cuyo poblamiento es disperso y menos denso. En lo que respecta a la afección de las estaciones de telefonía móvil sobre el entorno, se observa un especial cuidado en las zonas centrales de la ciudad, donde las antenas, en términos generales, poseen bajos niveles de radiación, aunque garantizan una plena cobertura del espacio urbano. Sin embargo, los análisis más detallados sacan a la luz varios casos en los que la radiación excede los niveles recomendados, cuya relevancia ha quedado plasmada mediante la cartografía y los datos numéricos. De esta forma se obtienen unos resultados que concluyen que las antenas cubren homogéneamente todo el espacio y que, a pesar de determinados casos puntuales, parece cumplirse una pauta de especial cuidado en la potencia o radiación emitida por las estaciones de telefonía, con el fin de que las áreas con mayor densidad edificatoria y de población no se vean afectadas.

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

A modo de valoración personal, he de señalar que no fue sencillo escoger una línea para el Trabajo de Fin de Grado, ya que la gran mayoría de los temas suscitaban mi interés. Finalmente me decidí por “El Uso de los Sistemas de Información Geográfica en el Estudio del Territorio”. Cuando centré la línea temática en un trabajo dirigido a las antenas de telefonía móvil y empecé a consultar información, en un principio, la diversidad de temas y la mencionada controversia respecto a los efectos de la radiación en la población me causaron cierta confusión e incertidumbre. Hubo ciertas etapas del trabajo en las que me supuso un reto implementar el proyecto SIG y relacionar los resultados pareciéndome, incluso, complicado llegar a una conclusión. Haber llegado a este punto supone un importante avance en mi formación académica. He podido enfrentarme al desafío que supone un trabajo geográfico aplicado como éste y me ha servido de preparación para retos futuros. Respecto a la rama del manejo de los SIG y, en general, el uso de las Tecnologías de la Información Geográfica, espero que en un futuro siga creciendo tal y como lo está haciendo actualmente y que llegue a tantas personas como sea posible. Que se pierda el miedo a las nuevas tecnologías y se cierre la brecha digital es un paso que ayudará a que esto sea posible.

7. BIBLIOGRAFÍA

BUZAI, G. D. (2001): “Paradigma Geotecnológico, Geografía Global y CiberGeografía, la gran explosión de un universo digital en expansión”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 1, p. 24-48.

CONFEDERACIÓN DE EMPRESARIOS DE ANDALUCÍA (C.E.A), 2010 *Sistemas de Información Geográfica, tipos y aplicaciones empresariales, ¿Cómo funcionan?* Disponible en: http://sig.cea.es/como_funcionan

CRUZ ORNETTA, V. (2005): *Marco ambiental sectorial de telecomunicaciones: Análisis y propuesta*. Disponible en: <http://www.inictel.gob.pe/dit/radiaciones/MEDICIONES%20A%20NIV%20NACIONAL.HTM>

CRUZ ORNETTA, V. (2005): *Evaluación del riesgo a la salud de los campos electromagnéticos de la telefonía móvil*. Disponible en: <http://www.inictel.gob.pe/dit/radiaciones/MEDICIONES%20A%20NIV%20NACIONAL.HTM>

Campoy, J.A.: “Las antenas de telefonía móvil sí son peligrosas”. *Revista mensual de salud y medicina Discovery DSalud*, nº 36, 2002. Disponible en: <https://www.dsalud.com/reportaje/las-antenas-de-telefonía-movil-si-son-peligrosas/>

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Geoportal Infoantenas, *Folletos Divulgativos*, Gobierno de España, Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, disponible en:
www.minetad.gob.es/TELECOMUNICACIONES/ESPECTRO/.../Paginas/niveles.aspx

GLASS, R. (2003): *Facts and Fallacies of Software Engineering*, Addison-Wesley, ISBN 0321117425

GOMEZ PIÑEIRO, F.J. (1995): *Análisis Geográfico, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente*, Lurralde nº 18, INGEBA, Donostia - San Sebastián.

GUTIÉRREZ PUEBLA, J. y GOULD, M. (1994): *SIG: Sistemas de Información Geográfica*. Madrid, ed. Síntesis.

MORENO JIMÉNEZ, A. (2001): *Geomarketing con Sistemas de Información Geográfica*, Madrid, ed. Cantoblanco.

MORENO JIMÉNEZ, A. (2008): *Análisis y planificación de servicios colectivos con Sistemas de Información Geográfica*, 1º edición, Madrid, ed. Cantoblanco.

OLAYA, V. (2014): *Sistemas de Información Geográfica*, Versión Revisada Octubre, 2014, Disponible en: <http://volaya.github.io/libro-sig/>

PENSADO SEJAS, A. (2014): “Evolución de la normativa reguladora comparada de las antenas de telefonía móvil en España”, *Revista Jurídica de Castilla-La Mancha*, nº 56, pp. 71-114.

PENSADO SEJAS, A. (2015): “Regulación jurídica actual de las antenas de telefonía móvil: de la ley 33/2003, de 3 de noviembre, a la ley 9/2014, de 9 de mayo, general de telecomunicaciones”, *Revista Jurídica de Castilla y León*, nº 36, pp. 45.

PÉREZ VEGA C., ZAMANILLO J M.^a, GARCÍA J L. et al (2002): *Estadística de niveles de radiación electromagnética en la ciudad de Santander*, Departamento de Ingeniería de Comunicaciones, Universidad de Cantabria.

SECCIÓN DE VIGILANCIA DE RIESGOS AMBIENTALES, SERVICIO DE SANIDAD AMBIENTAL, Dirección General de Ordenación e Inspección, Consejería de Sanidad - Comunidad de Madrid. (2012), *10 cuestiones básicas sobre telefonía móvil*. Disponible en:
<http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application/pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1310976306680&ssbinary=true>

SERVICIO DE ASESORAMIENTO TÉCNICO E INFORMACIÓN del MITYC (2009): *Antenas de telefonía móvil: Preguntas frecuentes*. (Consultado en octubre de 2017) Disponible en:
<http://femp.femp.es/files/3580-109-fichero/Folletos%20Aytos.-Ciudadanos%20SATIFEMP%20Individual.cdr.pdf>

Índice de figuras y tablas

Figuras

Figura 1.1 - Esquema de los objetivos del TFG.	4
Figura 2.1 - Radio de acción de la radiación electromagnética de una antena genérica y distancias de seguridad convenidas.	9
Figura 2.2 - Comparación de radiofrecuencias, por objeto y tipo de radiación.	11
Figura 3.1 - Información estructurada de una estación de telefonía móvil.	13
Figura 3.2 - Versión cartográfica del Geoportal de Infoantenas, vista aérea de un sector urbano de Santander.	14
Figura 3.3 - Ejemplo de Folleto Divulgativo “Indicaciones sobre el uso adecuado del teléfono móvil”.	15
Figura 3.4 - Uso de la fórmula de Excel “concatenar”.	18
Figura 3.5 - Exportación de resultados al software QGIS y unión en tabla.	19
Figura 4.1 - Organigrama de etapas del Trabajo de Fin de Grado.	19
Figura 4.2 - Empleo de la herramienta de ArcGIS para la digitalización de medidas de radiación de las estaciones de telefonía móvil.	21
Figura 4.3 - Acceso a la función de consulta espacial.	22
Figura 4.4 - Acceso a la herramienta “Mostrar resumen estadístico”.	23
Figura 4.5 - Ejemplo de uso de un buffer en el proyecto SIG.	24
Figura 4.6 – Resultado final de la aplicación de la herramienta “Distancia euclidiana”.	25
Figura 4.7 - Acceso a la herramienta de cálculo del centro de gravedad.	26
Figura 4.8 - Ejemplo de Análisis Kernel en las mediciones de radiación de las estaciones de telefonía.	26
Figura 4.9 - Herramientas de “Centroides” y “Muestrear capas ráster” de GvSIG y resultado final.	27
Figura 5.1 - Mapa de encuadre del municipio de Santander y distribución de las estaciones de telefonía móvil.	29
Figura 5.2 - Relación de la densidad de población con la distribución de las estaciones de telefonía móvil (método de densidad Kernel).	31
Figura 5.3 - Potencia de las estaciones de telefonía móvil.	32
Figura 5.4 - Modelo Kernel de distribución de la potencia de las estaciones de telefonía móvil.	33

Los SIG como herramienta para el análisis del impacto territorial de las Instalaciones de Telefonía Móvil. Estudio de caso aplicado al Área Urbana de Santander.

Figura 5.5 - Correlación entre la densidad de población y la potencia de las estaciones de telefonía móvil – Recta de regresión.	34
Figura 5.6 - Centro de gravedad y elipse de desviación de las estaciones de telefonía móvil en la ciudad de Santander.	35
Figura 5.7 - Distribución de las estaciones de telefonía móvil en la ciudad de Santander (método de agrupación clúster, elipse de desviación estándar y centro de gravedad).	36
Figura 5.8 – Modelo de potencia estimada por vivienda.	38
Figura 5.9 - Umbrales de seguridad establecidos por la CA de Madrid.	40
Figura 5.10 - Edificaciones de uso educativo afectadas dentro de la distancia euclídea.	42
Figura 5.11 - Zum a edificaciones de uso educativo afectadas dentro de la distancia euclídea.	42
Figura 5.12 - Edificaciones de uso sanitario afectadas dentro de la distancia euclídea.	44
Figura 5.13 - Zum a la edificación de uso sanitario afectada “Hospital Marqués de Valdecilla”.	44

Tablas

Tabla 5.1 – Umbrales de radiación asignados al área de estudio y número de viviendas y población que los soportan.	40
Tabla 5.2 – Edificaciones sensibles afectadas dentro de la distancia euclídea y potencias máximas registradas.	41
Tabla 5.3 – Edificaciones de uso educativo afectadas dentro de la distancia euclídea -datos absolutos y relativos.	43
Tabla 5.4 – Edificaciones de uso sanitario afectadas dentro de la distancia euclídea -datos absolutos y relativos.	45
Tabla 5.5 – Viviendas afectadas por umbral de distancia – datos absolutos.	46