

# Proyecto Fin de Grado

## Grado en Ingeniería Civil

### Identificación de obras poligonales derivadas del uso de la Red Andaluza de Posicionamiento

Autora: Estrella Mena Costa

Tutora: Cristina Torrecillas Lozano

**Dpto. Ingeniería Gráfica**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2019





Proyecto Fin de Grado  
Grado en Ingeniería Civil

# **Identificación de obras poligonales derivadas del uso de la Red Andaluza de Posicionamiento**

Autora:

Estrella Mena Costa

Tutora:

Cristina Torrecillas Lozano

Profesora titular

Dpto. de Ingeniería Gráfica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2019



Proyecto Fin de Grado: Identificación de obras poligonales derivadas del uso de la Red Andaluza de  
Posicionamiento

Autora: Estrella Mena Costa

Tutor: Cristina Torrecillas Lozano

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal



*A mi familia y amigos*

*A mis profesores*



# Resumen

---

En la actualidad, una de las tareas más importantes a la hora de realizar estudios de diversa índole, como son los estudios de movilidad, de crecimiento urbano, estadísticos basados en variables geoespaciales o proyectos de obras, es disponer de información cartográfica actualizada. Estas actualizaciones se basan en cambios provocados por el ser humano fundamentalmente (obras civiles, urbanas, hidrológicas o por ejemplo eléctricas) tanto en el ámbito urbano como el rural.

De cara a estas actualizaciones, la información geográfica suele gestionarse en Sistemas de Información Geográfica (SIG), que juegan un papel fundamental en este ámbito, además de las bases cartográficas existentes, de las que se va buscando una mayor eficiencia y agilidad de modelización. Las aplicaciones SIG permiten detectar estos cambios de manera rápida, sobre todo si se hace un correcto uso de las técnicas y herramientas de las que se dispone mediante el uso de ortofotos o imágenes satelitales. La actualización por ortofoto es la más precisa, pero los vuelos de las que se derivan se realizan cada cuatro años, un tiempo demasiado largo. Las imágenes satelitales ofrecen una menor resolución, y las de menor pixel son de pago y no aseguran una continuidad espacial temporal, teniendo que mezclar imágenes de diversas fechas. Desde mediados de 2008 existe la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP), una red de correcciones GNSS cuyo servicio más preciso requiere del envío de la ubicación del usuario. Esta red suele tener un gran porcentaje de usuarios vinculados a la obra y, por tanto, son reflejo de las construcciones que se llevan a cabo en Andalucía. De esas obras, un proyecto anterior se centró en la identificación de la obra lineal, siendo objetivo de este proyecto la validez de esos posicionamientos de usuarios para detectar obras poligonales que permitan actualizar las mismas en un proceso cercano al tiempo real en que se finalizan espacialmente.

La metodología empleada se basa en realizar una limpieza de las conexiones de la RAP para eliminar aquellas que no resulten útiles para su posterior empleo. Esto ha supuesto una media del 70% de coordenadas que se han eliminado. Una vez se han filtrado las conexiones, se unirán siguiendo una serie de criterios para conformar polígonos con ellas. El proceso será validado por dos análisis; el primero de ellos consiste en la contrastación del acierto de los polígonos detectados y el análisis de su superficie, y el segundo consiste en el análisis de la temporalidad de los cambios, estableciendo la fecha de toma de las conexiones y la de la primera ortofoto en la que se ve la construcción mediante los vuelos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea correspondientes o en su defecto, las imágenes de satélite europeo SENTINEL. El estudio se ha centrado en Sevilla, provincia en la que se han analizado todas las conexiones desde 2008 hasta 2016, pero también se han incluido datos de Huelva y Córdoba para llevar a cabo un estudio más completo de las conexiones realizadas en 2016 debido a las ventajas que ofrece el empleo de SENTINEL.

Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto la mayor o menor efectividad del proceso realizado y de los datos e imágenes empleadas, concluyendo la necesidad de aportación de una mayor cantidad de conexiones con la que partir en el proceso. Hay un elevado número conexiones, pero una mínima parte de ellas aporta información útil para la actualización de cambios, pues tan sólo un 2,18% de los polígonos obtenidos corresponden a obras reales, lo que implica que hay muchas de las obras que no están registradas en la Red Andaluza de Posicionamiento.



# Abstract

---

Nowadays, one of the most important tasks when carrying out diverse studies, such as mobility studies, urban growth, statistics studies based on geo-spatial variables or construction projects, is to have updated cartographic information. These updates are based on changes caused by human activity (civil, urban, hydrological or electrical work, for example), both in the urban and rural areas.

Due to these updates, geographic information is usually managed in Geographic Information Systems (GIS), which have a fundamental role in this field, in addition to the existing cartographic databases, which seek greater efficiency and modeling agility. GIS applications make it possible to detect these changes quickly, especially if the techniques and tools available are correctly used through the use of orthophotos or satellite images. The orthophoto update is the most accurate, but the flights from which it is derived are made every four years, a too long time. The satellite images offer a lower resolution, and those with lower pixel size are for payment and do not ensure a temporal spatial continuity, having to mix different dates images. Since mid-2008 there is the Andalusian Positioning Network (RAP), a GNSS corrections network whose more precise service requires the sending of the user's location. This network usually has a large percentage of users tied to the work and, therefore, they are a reflection of the constructions that are made in Andalusia. Of these works, a previous Project focused on the linear works identification and this project purpose is the user positions validation to detect polygonal works that allow them to be updated in a process about the real time in which they are spatially completed.

The methodology used is based on cleaning the connections of the RAP to eliminate those that are not useful for later use. This has meant an average of 70% coordinates that have been eliminated. When the connections have been filtered, they will be joined following some criteria to form polygons with them. The process will be validated by two analyzes; the first one consists in the contrast of the detected polygons success and the area analysis, and the second one consists in the time changes analysis, establishing the date of taking connections and the first orthophoto in which shows the construction through the corresponding National Plan of Aerial Orthophotography flights or, in defect, the European satellite images SENTINEL. The study focused on Seville, province which all connections have been analyzed in, from 2008 to 2016, but Huelva and Cordoba data have also been included to carry out a more complete study of the connections made in 2016 due to the advantages offered by the SENTINEL use.

The results have shown the greater or lesser effectiveness of the process and the data and images used, concluding the need to provide a greater number of connections to start in the process. There are a large number of connections, but a minimum part of them provides useful information for updating changes, since only 2,18% of the polygons correspond to real works, which implies that there are many of them that are not registered in the Andalusian Positioning Network.



# Índice

---

<b>Resumen</b>	<b>ix</b>
<b>Abstract</b>	<b>xi</b>
<b>Índice</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xv</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xvii</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Red Andaluza de Posicionamiento</i>	1
1.2 <i>Softwares empleados</i>	4
1.1.1. QGIS	4
1.1.2. Creador de modelos QGIS	4
1.1.3. ArcGIS	6
1.1.4. Consola de Python	6
1.3 <i>Objetivo</i>	7
<b>2 Datos</b>	<b>9</b>
2.1 <i>Red Andaluza de Posicionamiento</i>	9
2.2 <i>Ortofotografías</i>	10
2.3 <i>DERA</i>	12
2.4 <i>Sentinel</i>	13
<b>3 Metodología</b>	<b>17</b>
3.1 <i>Generación de polígonos derivados de las conexiones de la RAP</i>	17
3.1.1 Limpieza de las conexiones	18
3.1.2 Obtención de polígonos	19
3.2 <i>Verificación de resultados</i>	21
3.2.1 Contrastación de los polígonos obtenidos	22
3.2.2 Análisis temporal de los cambios	23
<b>4 Resultados y discusión</b>	<b>25</b>
4.1 <i>Generación de polígonos desde la RAP</i>	25
4.1.1 Limpieza de las conexiones	25
4.1.2 Obtención de polígonos	27
4.2 <i>Verificación de resultados</i>	35
4.2.1 Contrastación de los polígonos obtenidos	35
4.2.2 Análisis temporal de los cambios	53
4.2.3 Almacenamiento de datos	54
<b>5 Conclusiones</b>	<b>59</b>
<b>Anexo I. Filtrado de conexiones</b>	<b>61</b>
<b>Referencias</b>	<b>63</b>



# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1-1. Identificadores de las estaciones	2
Tabla 2-1. Características de las bandas	14
Tabla 4-1. Número de conexiones tras la limpieza	25
Tabla 4-2. Número de polígonos en el primer método	27
Tabla 4-3. Número de polígonos del segundo método	30
Tabla 4-4. Polígonos resultantes y relación con los reales	36
Tabla 4-5. Polígonos resultantes y relación con los reales	52
Tabla 4-6. Porcentaje de acierto de polígonos	52
Tabla 4-7. Fecha de conexión y primer cambio detectado	53
Tabla 4-8. Análisis del año de la Ortofoto de primer cambio y la de de conclusión de obra	54
Tabla 4-9. Tipología y número de puntos asociados a cada obra	56
Tabla 4-10. Número de obras asociadas a cada tipología	56



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1.1. Estaciones de la RAP	2
Figura 1.2. Versión 2.18 de QGIS	4
Figura 1.3. Creador de modelos. Entradas	5
Figura 1.4. Creador de modelos. Algoritmos	5
Figura 1.5. Logo de ESRI España	6
Figura 1.6. Versión 10.5 de ArcMap	6
Figura 1.7. Consola de Python en el entorno de QGIS	7
Figura 2.1. Número de conexiones por año de la RAP	9
Figura 2.2. Conexiones por año de la RAP	10
Figura 2.3. Zonas de vuelo PNOA por año que contemplen Andalucía (Fuente: IGN)	11
Figura 2.4. Ejemplo de ortofotografía del PNOA	12
Figura 2.5. Capas del DERA empleadas	13
Figura 2.6 Configuración orbital de los satélites de Sentinel-2 (Fuente: ESA)	14
Figura 2.7. Espectro de luz y longitud de onda asociada (Fuente: Google imágenes)	15
Figura 3.1. Esquema general de la metodología	17
Figura 3.2. Esquema del proceso de limpieza de puntos	18
Figura 3.3. Modelo de limpieza de puntos	19
Figura 3.4. Esquema de obtención de polígonos por el método 1	20
Figura 3.5. Ejemplo de envolvente convexa	21
Figura 3.6. Esquema de obtención de polígonos por el método 2	21
Figura 3.7. Esquema general de verificación de resultados	22
Figura 4.1. Conexiones tras la limpieza	26
Figura 4.2. Conexiones tras la limpieza. Sevilla.	26
Figura 4.3. Polígonos obtenidos por el primer método en 2008	27
Figura 4.4. Polígonos obtenidos por el primer método en 2009	28
Figura 4.5. Polígonos obtenidos por el primer método en 2010	28
Figura 4.6. Polígonos obtenidos por el primer método en 2011	28
Figura 4.7. Polígonos obtenidos por el primer método en 2012	29
Figura 4.8. Polígonos obtenidos por el primer método en 2013	29
Figura 4.9. Polígonos obtenidos por el primer método en 2014	29
Figura 4.10. Polígonos obtenidos por el primer método en 2015	30

Figura 4.11. Polígonos obtenidos por el primer método en 2016	30
Figura 4.12. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2008	31
Figura 4.13. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2009	31
Figura 4.14. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2010	32
Figura 4.15. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2011	32
Figura 4.16. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2012	33
Figura 4.17. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2013	33
Figura 4.18. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2014	34
Figura 4.19. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2015	34
Figura 4.20. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2016	35
Figura 4.21. Polígono 1 contrastado sobre Ortofoto 2016	37
Figura 4.22. Polígono 2 contrastado sobre Ortofoto 2016	37
Figura 4.23. Polígono 3 contrastado sobre Ortofoto 2016	38
Figura 4.24. Polígono 4 contrastado sobre Ortofoto 2016	38
Figura 4.25. Polígono 5 contrastado sobre Ortofoto 2016	39
Figura 4.26. Polígono 6 contrastado sobre Ortofoto 2016	39
Figura 4.27. Polígono 7 contrastado sobre Ortofoto 2016	40
Figura 4.28. Polígono 8 contrastado sobre Ortofoto 2016	40
Figura 4.29. Polígono 9 contrastado sobre Ortofoto 2016	41
Figura 4.30. Polígono 10 contrastado sobre Ortofoto 2016	41
Figura 4.31. Polígono 11 contrastado sobre Ortofoto 2016	42
Figura 4.32. Polígono 12 contrastado sobre Ortofoto 2016	42
Figura 4.33. Polígono 13 contrastado sobre Ortofoto 2016	43
Figura 4.34. Polígono 14 contrastado sobre Ortofoto 2016	43
Figura 4.35. Polígono 15 contrastado sobre Ortofoto 2016	44
Figura 4.36. Polígono 16 contrastado sobre Ortofoto 2016	44
Figura 4.37. Polígono 17 contrastado sobre Ortofoto 2016	45
Figura 4.38. Polígono 18 contrastado sobre Ortofoto 2016	45
Figura 4.39. Polígono 19 contrastado sobre Ortofoto 2016	46
Figura 4.40. Polígono 20 contrastado sobre Ortofoto 2016	46
Figura 4.41. Polígono 21 contrastado sobre Ortofoto 2016	47
Figura 4.42. Polígono 22 contrastado sobre Ortofoto 2016	47
Figura 4.43. Polígono 23 contrastado sobre Ortofoto 2016	48
Figura 4.44. Polígono 24 contrastado sobre Ortofoto 2016	48
Figura 4.45. Polígono 25 contrastado sobre imagen Sentinel-2 fecha 21-07-2018	49
Figura 4.46. Polígono 26 contrastado sobre imagen Sentinel-2 fecha 21-07-2018	49
Figura 4.47. Polígono 27 contrastado sobre imagen Sentinel-2 fecha 21-07-2018	50
Figura 4.48. Polígono 28 contrastado sobre imagen Sentinel-2 fecha 21-07-2018	50
Figura 4.49. Polígono 29 contrastado sobre imagen Sentinel-2 fecha 01-08-2018	51

Figura 4.50. Polígono 30 contrastado sobre imagen Sentinel-2 fecha 01-08-2018	51
Figura 4.51. Puntos originales del polígono 1	55
Figura 4.52. Puntos originales del polígono 8	55



# 1 INTRODUCCIÓN

---

En la actualidad, una de las tareas más importantes a la hora de realizar estudios de diversa índole, como son los estudios topográficos, realización de proyectos de obras, investigación de catástrofes naturales o la constante movilidad de la población, es la detección de cambios en el terreno. Estos cambios son la base de posibles actualizaciones cartográficas, que tratan de plasmar constantemente todo lo necesario para mantener actualizada la información que recogen los productos cartográficos, tanto en el ámbito urbano como el rural.

De cara a estas actualizaciones, se hace uso de diversas herramientas, entre las que se encuentran los Sistemas de Información Geográfica, que juegan un papel fundamental en este ámbito, además de las bases cartográficas existentes, de las que se va buscando una mayor eficiencia y agilidad de modelización. Las aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica permiten detectar estos cambios de manera rápida, sobre todo si se hace un correcto uso de las técnicas y herramientas de las que se dispone. En este tema entran en juego varios proyectos y herramientas de los que se hablará detalladamente a lo largo de este documento, como son la Red Andaluza de Posicionamiento, o softwares SIG, así como otro tipo de datos e información útiles, como son el repertorio de bases cartográficas de los datos espaciales de Referencias de Andalucía (DERA) o las Ortofotografías del Plan Nacional de Ortofotos Aéreas.

## 1.1 Red Andaluza de Posicionamiento

La RAP (*Red Andaluza de Posicionamiento*) es un proyecto del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía y conforma una red que consta de 22 estaciones permanentes GPS distribuidas a lo largo de todo el territorio andaluz. Su diseño se inició en 2004 y comenzó a funcionar en 2006, permitiendo obtener un posicionamiento preciso en el mismo mediante servicios de correcciones diferenciales y descarga de archivos RINEX<sup>1</sup> (Redondo Redondo et al. 2007; Torrecillas et al. 2016). Se diseñó para que tuviese uniformidad y homogeneidad en toda la comunidad autónoma, con la máxima cobertura y precisión, y cuyas principales aplicaciones son el establecimiento de bases de replanteo, levantamientos topográficos, establecimiento de puntos de apoyo fotogramétrico, georreferenciación de imágenes satélites, apoyo de actualizaciones catastrales, gestión de ámbitos agrícolas, navegación marítima, terrestre y aplicaciones SIG, entre otras. En el ámbito de este trabajo, los datos de esta red serán tratados dentro de Sistemas de Información Geográfica para buscar una posible futura aplicabilidad.

El Portal de Posicionamiento de Andalucía ([www.ideandalucia.es/portal/web/portal-posicionamiento](http://www.ideandalucia.es/portal/web/portal-posicionamiento), acceso en junio 2019) dispone de un mapa por el que se puede acceder a la información general de las estaciones de la Red, así como a las de otras administraciones con las que se comparte estaciones. Para ello, basta con pasar el cursor sobre los iconos del mismo para acceder a dicha información, ver Figura 1.1.

---

<sup>1</sup> Receiver INdependent Exchange es un formato de ficheros de texto.



Figura 1.1. Estaciones de la RAP

Se dispone de 9 estaciones de primer nivel (tipo 1) y 13 de segundo nivel (tipo 2), permanentemente conectadas a un Centro de Control ubicado en Sevilla. En las de tipo 1, hay una estación por provincia además de otra en el campo de Gibraltar. Las de tipo 2 se sitúan en núcleos más pequeños.

Además, el Portal dispone de una serie de fichas de cada estación en la que se puede ver diversa información acerca de cada una de ellas, como la operatividad, el emplazamiento o las coordenadas (tanto cartesianas como geodésicas o coordenadas UTM). La Tabla 1-1 muestra el identificador de cada estación, incluidos en las fichas.

Tabla 1-1. Identificadores de las estaciones

Estación	Identificador
Algeciras	ALGC 13456M001
Almería	ALM 13437M002
Andújar	ANDU 13477M001
Aracena	ARAC 13467M001
Calar Alto	CAAL 13474M001
Cabra	CABR 13473M001
Cazalla de la Sierra	CAZA 13471M001
Córdoba	CRDB 13461M001
Granada	GRA1 13459M002
Huelva	HULV 13451M002

Huércal-Overa	HUOV 13479M001
Lebrija	LEBR 13466M001
Málaga	MLGA 13460M001
Motril	MOTR 13478M001
Osuna	OSUN 13465M001
Pozo Alcón	PALC 19349M001
Pozoblanco	POZO 13468M001
Ronda	RON1 17002M001
Sevilla (Universidad de Sevilla)	SEV1 17003M001
Sevilla (dada de baja)	SEVI 13457M001
Universidad de Cádiz	UCA1 13455M002
Universidad de Jaén	UJAE 13458M001
Villanueva del Arzobispo	VIAR 13472M001

Una de las principales ventajas que ofrece la RAP es que los servicios que proporciona son gratuitos. Los diferentes tipos de servicios son:

- RAP-IP, que permite el envío de correcciones diferenciales en tiempo real, desde estaciones puntuales o con soluciones de red que proporcionan una corrección óptima dentro de la zona de cobertura, con precisiones de centímetros.
- RAP-FTP, que permite la descarga de ficheros RINEX con observaciones GPS de las estaciones para el cálculo en post-proceso, con precisiones de milímetros.

No obstante, para recibir las correcciones o la consulta y descarga RINEX hay que estar registrado en el Portal de Posicionamiento de Andalucía.

Para acceder a correcciones personalizadas a la ubicación del usuario es necesario enviar la posición al centro de control, quedando la misma almacenada. Desde agosto de 2008, se dispone de un gran número de localizaciones de usuarios clasificadas anualmente hasta el año 2016, lo que permite profundizar en el uso de la red (Páez et al. 2017).

Un primer estudio trató de validar el empleo de dichos datos con el objetivo de mejorar el seguimiento que lleva la Administración sobre las obras públicas, así como llevar un buen control de las obras y de las incidencias que puedan tener lugar en las mismas (Sánchez Fernández 2017).

Posteriormente a éste, y viendo las posibilidades que ofrecía de seguir investigando, se elaboró otro estudio en el que se pretendía determinar un proceso que permitiera identificar obras lineales mediante algoritmos informáticos. Con este procedimiento se obtuvieron unos resultados que permitían categorizar patrones potencialmente útiles para el empleo de técnicas de *Machine Learning*<sup>2</sup>. No obstante, se concluye que continúa habiendo cierta complejidad a la hora de determinar fielmente si las conexiones de la RAP constituyen obras reales o pertenecen a otro tipo de uso de la Red, ya que la clasificación de las mismas mediante algoritmos informáticos depende de la calidad de los datos ofrecidos en origen, así como la cantidad de los mismos, además de la clara importancia que posee el factor humano en la toma y recogida de éstos (Punta de la Herrán 2018).

Además de las obras lineales, cabe destacar la importancia del empleo de los datos la RAP para el análisis de obras urbanas, especialmente en grandes obras de urbanización, ya que permite analizar el crecimiento urbano a partir de estos. Se ha comprobado que se produce un alto porcentaje de acierto de las conexiones respecto a los polígonos de crecimiento en grandes obras de urbanización frente otras de equipamientos o servicios. Este acierto se va reduciendo a medida que se reduce el tamaño de las obras (Ruiz Casana 2017).

La RAP presenta una ventaja fundamental frente a las fotografías aéreas de las que se dispone, ya que la red ofrece datos en tiempo real, mientras que las ortofotos son actualizadas cada cierto periodo de tiempo. Esto lleva a pensar en la posibilidad de actualizar cartografías en las que se representan asentamientos urbanos empleando

<sup>2</sup> Colección de algoritmos y técnicas utilizadas para crear sistemas computacionales que aprenden de los datos para hacer inferencias y predicciones.

estos recursos, debido al avance que supone en rapidez y facilidad respecto a la modelización de las actuales bases cartográficas. Por eso, además de la gran utilidad de los servicios en tiempo real para la realización de las obras, especialmente en la toma de datos en campo y replanteo de las mismas, es importante destacar su papel en actualizaciones catastrales y delimitación de términos municipales y en aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica, entre otras muchas utilidades (Páez et al. 2017).

## 1.2 Softwares empleados

### 1.1.1. QGIS

QGIS es un Sistema de Información Geográfica libre y de código abierto, licenciado bajo GNU - *General Public License*. Constituye un proyecto oficial de *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) y soporta abundantes formatos y utilidades de datos vectoriales, ráster y bases de datos. Posee una gran cantidad de documentación, mayoritariamente en inglés, aunque algunos documentos también están disponibles en otros idiomas.

Uno de los principales motivos de que se haya empleado este software, entre otros, es el hecho de que sea de código abierto, como ya se ha comentado, ya que se busca facilitar el acceso a los datos y el manejo de éstos. De este modo, se ofrecerá una información y un procedimiento muy útil para futuras empresas y para la propia Administración a la hora de trabajar con este tipo de datos. Por ello, se ha tratado de emplear en la mayoría del desarrollo del trabajo este programa en lugar de otros.

Además de contener múltiples herramientas para el tratamiento de los datos en sus diferentes formatos, posee una consola de Python, de la que se hablará posteriormente, con la que se puede implementar el proceso necesario a partir de códigos. Posee la ventaja de que para pasar de una metodología de trabajo a otra no es necesario cambiar de programa.

En el desarrollo de este proyecto se ha empleado la versión 2.18 - Las Palmas de Gran Canaria.



Figura 1.2. Versión 2.18 de QGIS

### 1.1.2. Creador de modelos QGIS

El creador de modelos, como ya se ha comentado, es una herramienta contenida en QGIS que permite realizar modelos de procesamiento más complejos a partir de un conjunto de operaciones más simples mediante una interfaz cómoda y muy intuitiva. Lo que hace el modelo es crear una cadena de procesos que puede ser ejecutada posteriormente en un único paso.

Para localizarlo en QGIS se tiene que acceder a la caja de herramientas de procesos, a un apartado denominado Modelos. Dentro de éste hay varias secciones, entre la que se encuentra *Tools*, que contiene 3 subapartados que son: *add model from file* (para cargar un modelo desde archivo), *create new model* (para crear un nuevo modelo) y *get models from on-line scripts collection* (para cargar modelos de la colección de scripts del programa).

Los modelos creados se pueden exportar como scripts de Python, lo que es muy útil en vistas de un futuro empleo de los mismos en programaciones más complejas en las que se precisen usar herramientas más potentes como es Python.

Una de las mayores ventajas que ofrecen los modelos es que se pueden reutilizar tantas veces como se quiera, variando solo la entrada de datos, de modo que para cada uno de los inputs que se introduzcan, se obtendrán salidas diferentes empleando el mismo procedimiento en todos ellos de una manera muy rápida. Además, al guardar estos modelos, se puede modificar cualquier parte del proceso para volver a ejecutarlo de manera correcta si se desea cambiar alguna de las operaciones o si se ha cometido algún error en el modelo realizado.

Se distinguen dos partes: la primera de ellas, que se puede ver en la Figura 1.3., es la definición de las entradas al proceso, en la que se elige el tipo de parámetro a emplear, que pueden ser capas vectoriales, capas ráster, números, tablas, etc., y la segunda es la definición de los algoritmos, en la que se establece el flujo de trabajo que se va a ejecutar, ver Figura 1.4. En esta segunda parte, se pueden emplear algoritmos ya existentes de diversa procedencia, como son los geolgoritmos de QGIS o las herramientas del propio modelador, entre otras.

Además, para poder guardar el modelo, se debe introducir el nombre del modelo y el nombre del grupo al que pertenecerá el mismo.

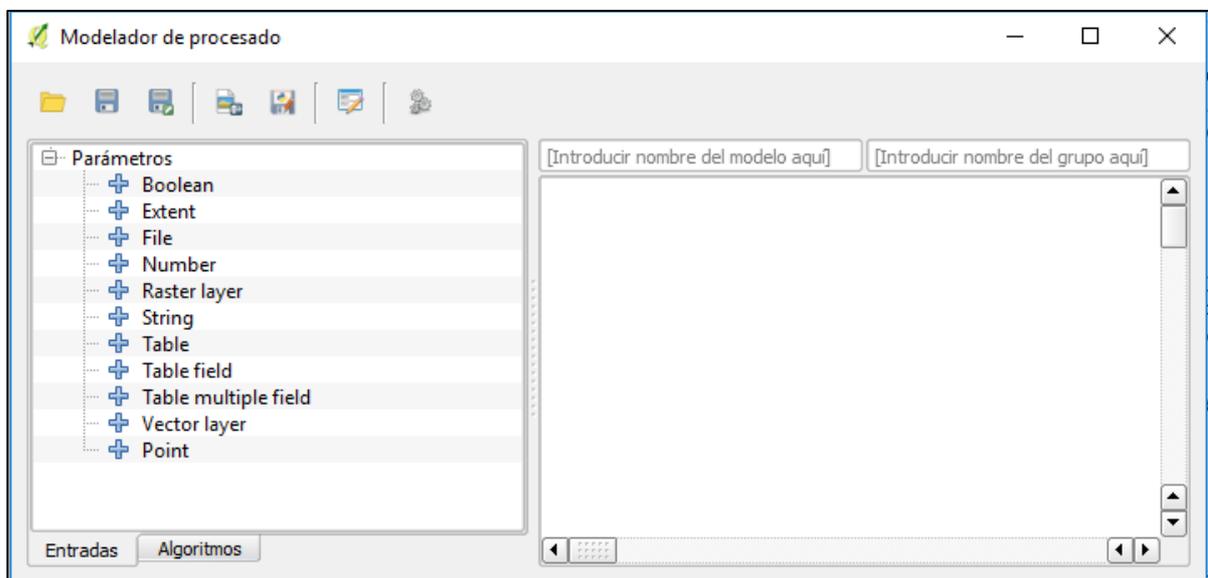


Figura 1.3. Creador de modelos. Entradas

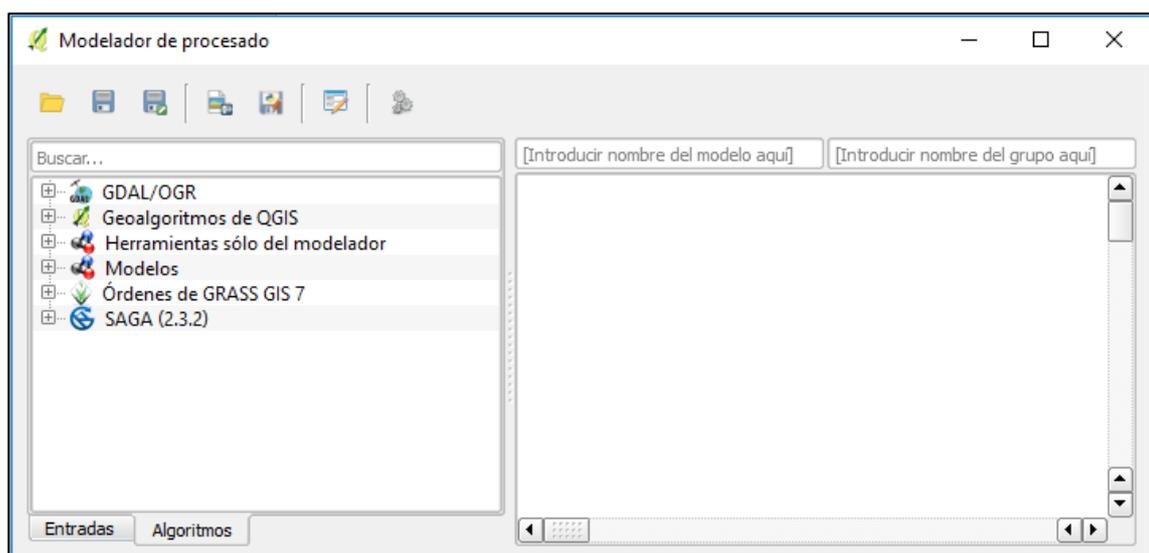


Figura 1.4. Creador de modelos. Algoritmos

### 1.1.3. ArcGIS

ArcGIS es un conjunto de aplicaciones de SIG producido y comercializado por ESRI<sup>3</sup>, con numerosas posibilidades para el tratamiento de información geográfica, por lo que, a diferencia de QGIS, no es libre. Sin embargo, ArcGIS ofrece muchas posibilidades para el manejo de datos, soportando también multitud de formatos y utilidades, e incluye también una consola de Python. Igualmente, presenta un creador de modelos, aunque no se ha empleado éste debido a que se ha utilizado el creador de modelos de QGIS.



Figura 1.5. Logo de ESRI España

En el desarrollo de este trabajo se ha empleado la versión 10.5 de ArcMap.

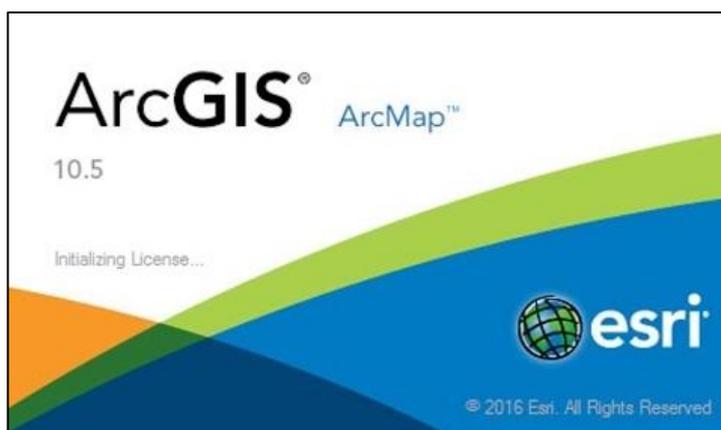


Figura 1.6. Versión 10.5 de ArcMap

### 1.1.4. Consola de Python

Tanto en el entorno de QGIS como en el de ArcGIS, se encuentra una consola de Python, que se trata de una interfaz desde la que se puede programar en lenguaje de programación interpretado. En este lenguaje, a diferencia de los lenguajes de compilación, saltan los errores en tiempo de ejecución en lugar de en tiempo de compilación.

Las ventajas que posee Python es que es un lenguaje multiplataforma y *open source* (gratis), por lo que se facilita el acceso a él. Si se emplea el software QGIS, habrá gratuidad total de este servicio y, por lo tanto, acceso libre al mismo. No obstante, la consola es igual de útil en ambos programas si se tiene disponibilidad de ambos.

---

<sup>3</sup> ESRI es una empresa privada con sede en California que desarrolla y comercializa software para SIG, siendo una de las compañías líderes en el sector a nivel mundial.

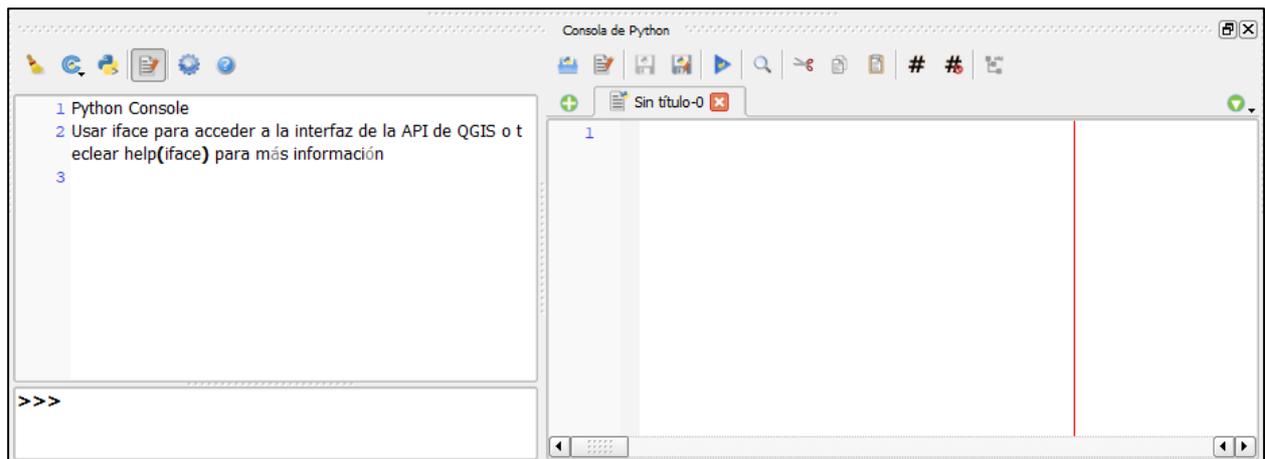


Figura 1.7. Consola de Python en el entorno de QGIS

### 1.3 Objetivo

El objetivo de este estudio es la detección de cambios en el terreno cuyo origen sean obras superficiales ubicadas en áreas urbanas. Para ello, partiendo de los datos que ofrece la RAP, y clasificandolos en tres grandes grupos: no obras, obras lineales y obras urbanas, se obtendrán los puntos de partida, objeto de este trabajo, con lo que intenta establecer una metodología con la que identificar las obras correspondientes con edificaciones para generar el polígono de las mismas y comprobar si ayudaría a una posible actualización cartográfica.

Una vez identificadas las obras urbanas se contrastará su veracidad con la información ofrecida por fotografías aéreas (ortofotos) o satélite, de modo que en primer lugar se verá si son obras reales y en un segundo paso se comprobará el porcentaje de acierto de dichas obras.

Además, para ver la evolución temporal de los cambios, se compararán las diferentes ortofotografías, asignando a cada obra el año del vuelo en el que aparece por primera vez para así analizar la ventaja de esta metodología frente a la tradicional.

Este estudio se realizará sólo sobre algunas provincias andaluzas, que son Sevilla, Huelva y Córdoba, recayendo el peso principal en Sevilla, en la que se profundizará al análisis en cada año de los que se dispone información. De Huelva y Córdoba se estudiará solo el año 2016 para profundizar un poco en el empleo de las imágenes satelitales.



**E**n este apartado se van a analizar los diferentes datos que se van a emplear a lo largo de la metodología seguida, de forma que en este documento se van a tratar tres categorías distintas: datos procedentes de la Red Andaluza de Posicionamiento, datos procedentes del DERA, fotografías aéreas e imágenes satélite.

### 2.1 Red Andaluza de Posicionamiento

Como se ha comentado previamente, la RAP proporciona información de las conexiones realizadas en el periodo de tiempo en estudio. Ha sido necesario hacer un tratamiento previo a estos puntos, además del procedimiento propio del ámbito de este trabajo, que se explica a continuación.

La información ofrecida por la RAP viene en formato \*.log y, tras una serie de pasos, se han convertido a archivos shapefile de ESRI, para su posterior uso en los diversos softwares de SIG con los que se ha trabajado durante el proceso de elaboración.

Con los datos en formato shape, se ha realizado un filtrado previo de los datos para hacer una limpieza de puntos y queden los que puedan ofrecer información útil posteriormente. Para ello, se ha empleado el creador de modelos del programa QGIS.

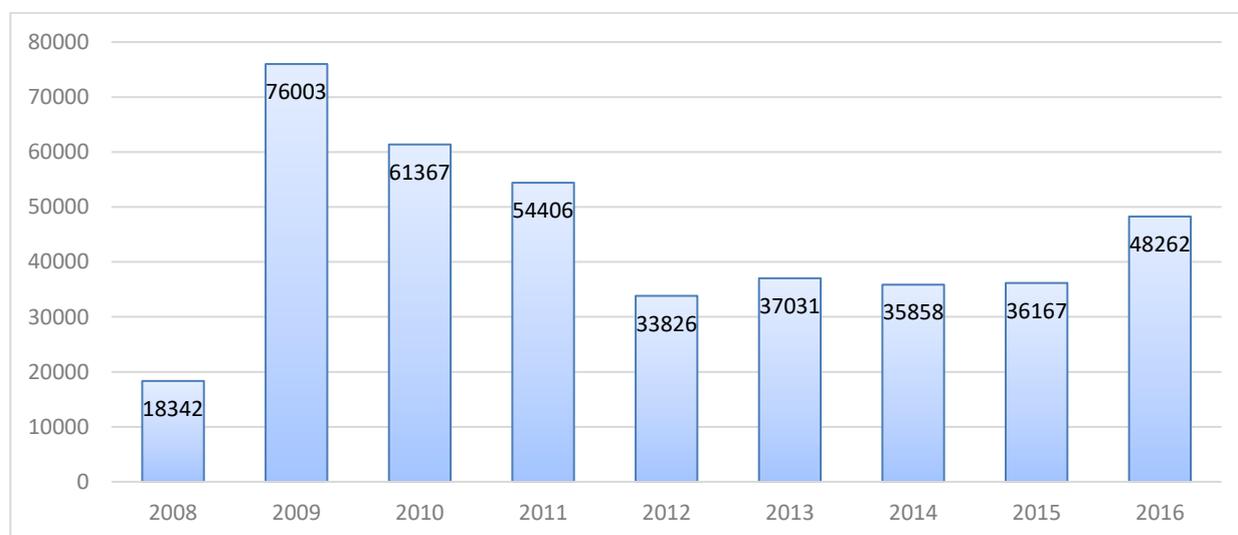


Figura 2.1. Número de conexiones por año de la RAP

Se dispone de las conexiones anuales de la Red desde agosto de 2008 (de ahí su bajo número de conexiones) hasta 2016, con las que se va a trabajar. Estas conexiones tienen los campos siguientes: ID, duración, fecha de inicio de conexión, fecha final, hora de inicio, hora final, latitud, longitud y coordenadas  $x$  e  $y$  en el sistema de referencia que se emplee. Principalmente se van a emplear los campos de ID, fecha y hora de inicio de toma de las conexiones y las coordenadas geográficas.

Además, se debe tener en cuenta que estas conexiones se corresponden con la ubicación de la conexión inicial del usuario, renovándose si existiera pérdida de la conexión o se hubiera reinicializado la misma.

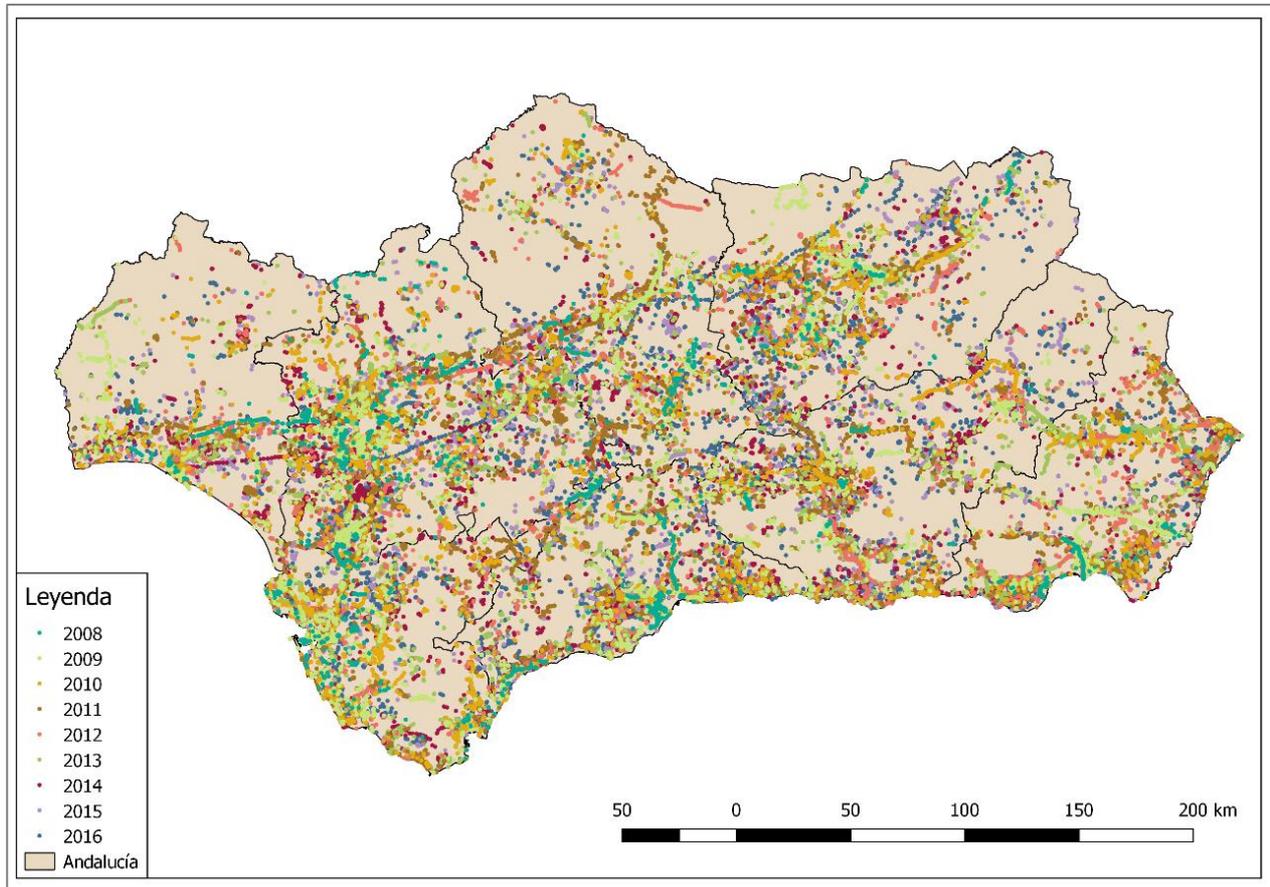


Figura 2.2. Conexiones por año de la RAP

Al igual que la Figura 2.2, en la que se muestran todas las conexiones realizadas en Andalucía por año, desde 2008 hasta 2016, todas las figuras se han realizado en el sistema de referencia de coordenadas ETRS89<sup>4</sup> UTM<sup>5</sup> 30, que es el sistema de referencia geodésico en España con sistema de coordenadas universal que divide la Tierra en husos. La península ibérica se encuentra en los husos 29, 30 y 31, pero se ha empleado en el desarrollo de este trabajo el huso 30, que es el que abarca la mayor parte de la Comunidad Autónoma Andaluza.

## 2.2 Ortofotografías

Las fotografías aéreas permiten hallar en el espacio multitud de obras, como son las obras objeto de estudio en este trabajo. En este caso, se van a emplear las ortofotografías por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), ya que son fotografías aéreas georreferenciadas y corregidas, de modo que mantienen la información de las fotografías y permite la medición a escala de superficies y distancias reales.

<sup>4</sup> European Terrestrial Reference System 1989.

<sup>5</sup> Universal Transversa Mercator.

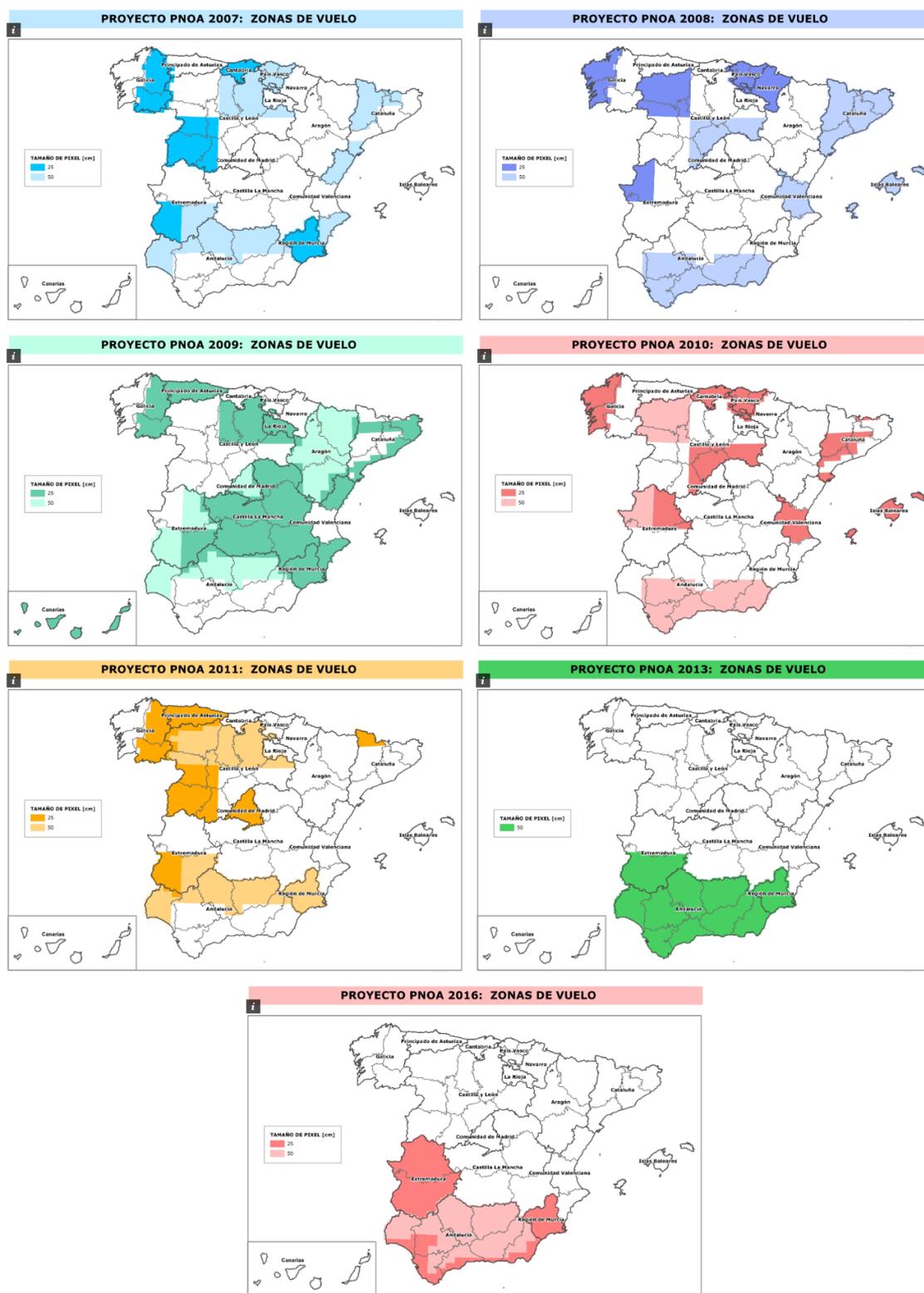


Figura 2.3. Zonas de vuelo PNOA por año que contemplan Andalucía (Fuente: IGN)

La Dirección General del IGN junto con el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), pertenecientes al Ministerio de Fomento, coordinados con los demás Ministerios y con cada Comunidad Autónoma, asumen la dirección de un proyecto cooperativo y cofinanciado entre la Administración General del Estado y las

Comunidades Autónomas, denominado PNOA<sup>6</sup>. El objetivo de este proyecto es la obtención de ortofotografías aéreas digitales con resolución de 25 ó 50 cm y MDE<sup>7</sup> de alta precisión en todo el territorio español, con un periodo de actualización de 2 ó 3 años, según las zonas (pnoa.ign.es acceso en octubre 2018). La Figura 2.3. muestra las diferentes zonas de vuelo del proyecto desde el año 2007 hasta 2017.

Se presentan en formato WMS, que son servicios de mapas en web, lo que permite cargarlas en los programas empleados añadiendo una capa WMS directamente al espacio de trabajo.

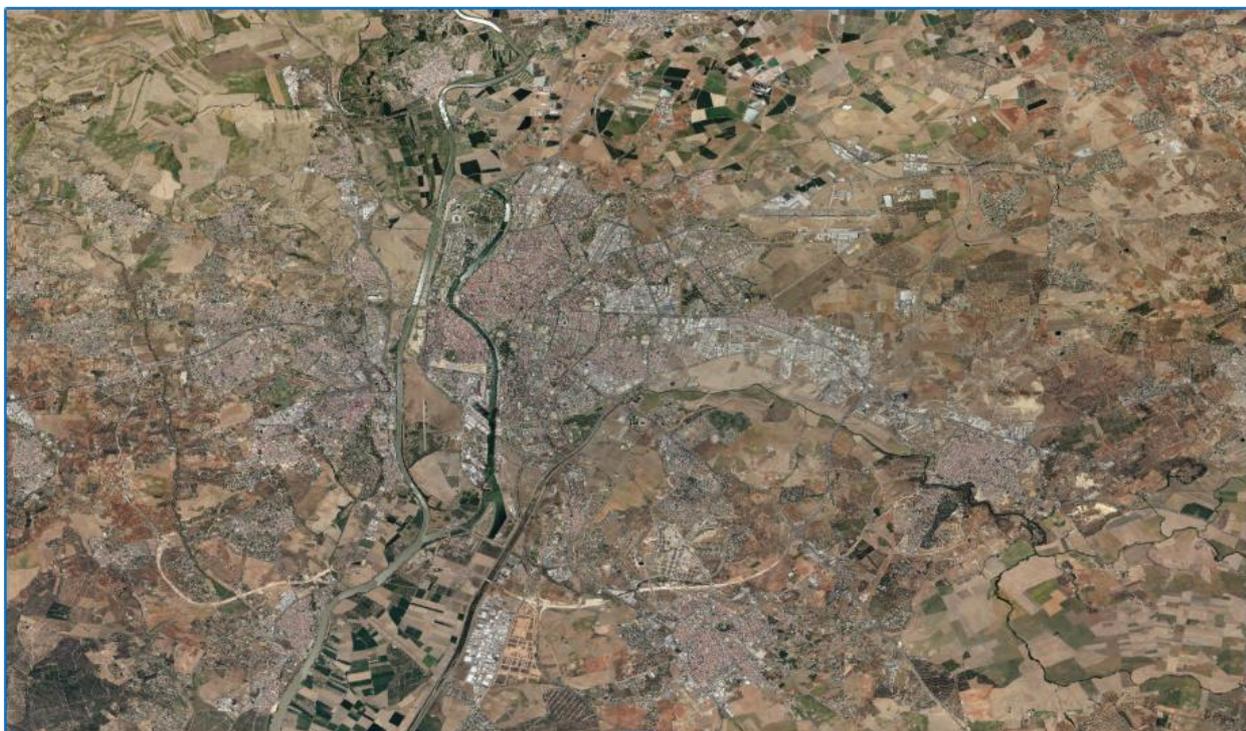


Figura 2.4. Ejemplo de ortofotografía del PNOA

## 2.3 DERA

El DERA (*Datos Espaciales de Referencia de Andalucía*) es un repertorio de bases cartográficas del IECA<sup>8</sup>, que se representa por bloques temáticos y cuya información se encuentra en formato shapefile, en sistema de referencia geodésico ETRS89 y proyectadas UTM huso 30.

Este repertorio sustituye al antiguo DEA100, que era la Base de Datos Espaciales de Andalucía para Escalas Intermedias publicado en el año 2009. El DEA100 es un producto que continuaba al Mapa Topográfico de Andalucía a escala 1:100.000 (MTA100), que recopilaba una amplia información geográfica cuyo origen tuvo lugar en el Atlas de Andalucía y representaba de forma continua el territorio con alta precisión geométrica, con una gran variedad de capas temáticas de información.

Los bloques que ofrece el DERA son los 20 siguientes: relieve, infraestructura geográfica, hidrografía, medio físico, medio marino, usos del suelo, sistema urbano, tejido económico-productivo, infraestructuras de transportes, viario, infraestructuras energéticas, infraestructuras hidráulicas, infraestructuras de comunicaciones, instalaciones de tratamiento de residuos sólidos urbanos, patrimonio, servicios, divisiones administrativas, toponimia, contexto España y mundo.

Para la realización del presente documento se han empleado dos bloques temáticos principales: el de sistema

<sup>6</sup> Plan Nacional de Ortofotografía Aérea.

<sup>7</sup> Modelo Digital de Elevaciones es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la cota del terreno en relación a un sistema de referencia concreto.

<sup>8</sup> Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía.

urbano (G07) y el de división administrativa (G17). El primero de estos bloques está conformado por diez capas relativas a la población y sistema urbano, de las cuales se han cargado en el proceso de tratamiento de los datos las capas correspondientes a los núcleos poligonales (su02\_1\_nucleo\_pol), que incluye solo aquellos núcleos de población que han sido catalogados y codificados como tal en el Nomenclátor de Entidades de Población que se publica en el INE<sup>9</sup>, y a los asentamientos (su01\_asentamiento), que incluye la información asociada a los asentamientos urbanos de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

El segundo bloque contiene cuarenta y tres capas relativas a diferentes subdivisiones administrativo-funcionales existentes en Andalucía, de las cuales se han empleado las capas de provincias (da03\_provincias), que incluye la delimitación de las distintas provincias andaluzas, y las de municipios (da02\_term\_munic), que obtiene la delimitación de los municipios andaluces, y son útiles para analizar los puntos de una forma más exhaustiva mediante la determinación de zonas concretas más reducidas.

En la Figura 2.5 pueden verse las capas del DERA que se han empleado.

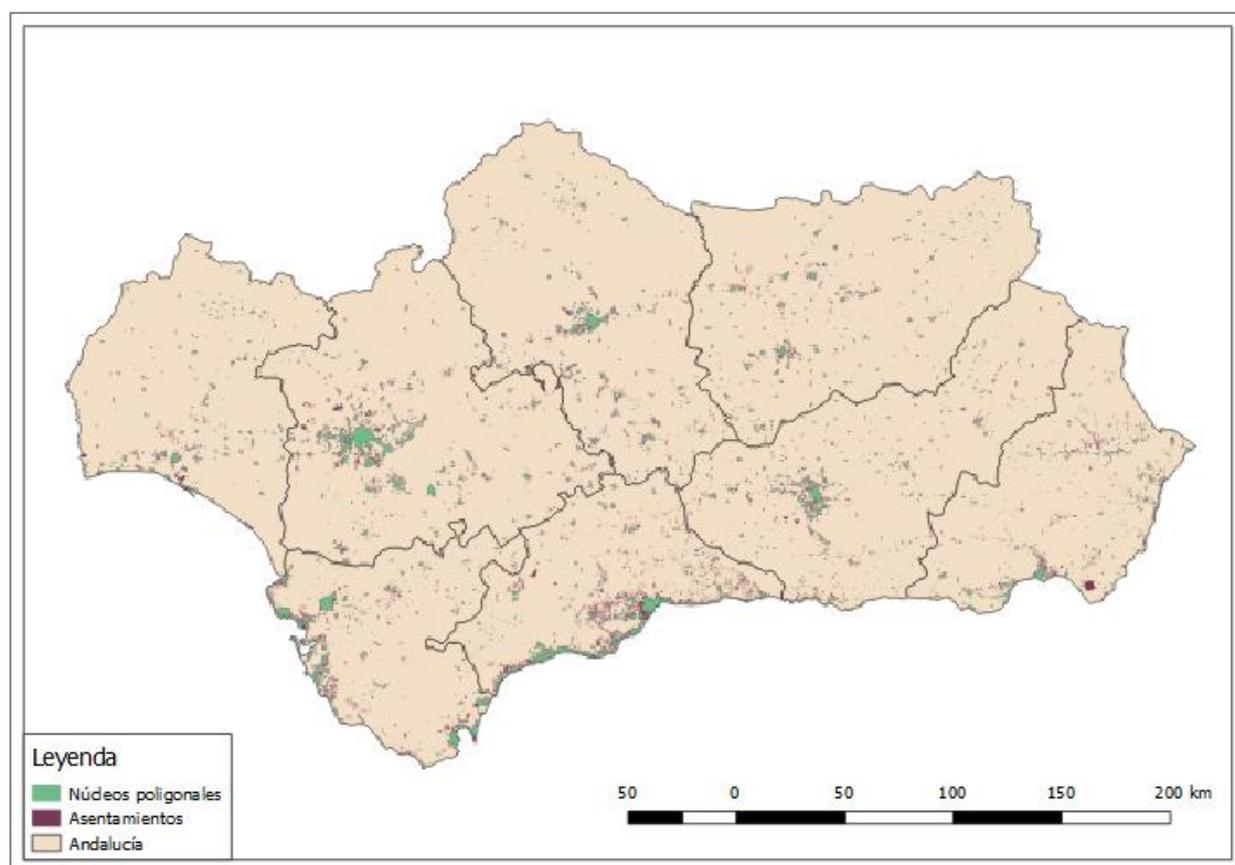


Figura 2.5. Capas del DERA empleadas

## 2.4 Sentinel

Sentinel abarca una familia de misiones de la Agencia Espacial Europea (*European Space Agency*, ESA), pertenecientes al programa Copernicus<sup>10</sup>. Cada misión (Sentinel-1, Sentinel-2 y Sentinel-3) consta de dos satélites que cuentan con una serie de tecnologías, como radar o instrumentos de imágenes para el monitoreo de la tierra. En concreto, la misión Sentinel-2 se basa en generación de imágenes multispectrales de alta resolución (resolución de 10-60 m) en órbita polar, colocados en la misma órbita en fase a 180° entre sí, con el fin de monitorizar la variabilidad de las condiciones de la superficie terrestre, proporcionando, entre otras cosas,

<sup>9</sup> Instituto Nacional de Estadística.

<sup>10</sup> Copernicus Open Access Hub (anteriormente conocido como Sentinels Scientific Data Hub) proporciona acceso completo, gratuito y abierto a los productos de usuario Sentinel a partir de la revisión de puesta en marcha en órbita (IOCR).

imágenes de cubierta vegetal, del suelo, del agua o zonas costeras, así como ofrecer información para servicios de emergencia. Ambos satélites (Sentinel-2A y Sentinel-2B) han sido lanzados con el lanzador europeo VEGA y tienen una vida útil de 7.25 años, lo que incluye una fase de puesta en servicio en órbita de 3 meses. La fecha de lanzamiento de Sentinel-2A tuvo lugar el 23 de junio de 2015 y la de Sentinel-2B en marzo de 2017.

Sentinel-2 fue desarrollado por un consorcio industrial liderado por Astrium GmbH (Alemania), siendo Astrium SAS (Francia) responsable del Instrumento Multiespectral (MSI: MultiSpectral Instrument), que funciona de forma pasiva recogiendo la luz solar reflejada desde la Tierra. El haz de luz entrante se divide en un filtro y se enfoca en dos conjuntos separados dentro del instrumento; uno para bandas visibles y casi infrarrojas (VNIR: Visible and Near-Infra-Red) y otro para bandas de onda corta de infrarrojos (SWIR: Short Wave Infra-Red). En la parte superior de los detectores separa los espectros de cada banda en longitudes de onda individuales.

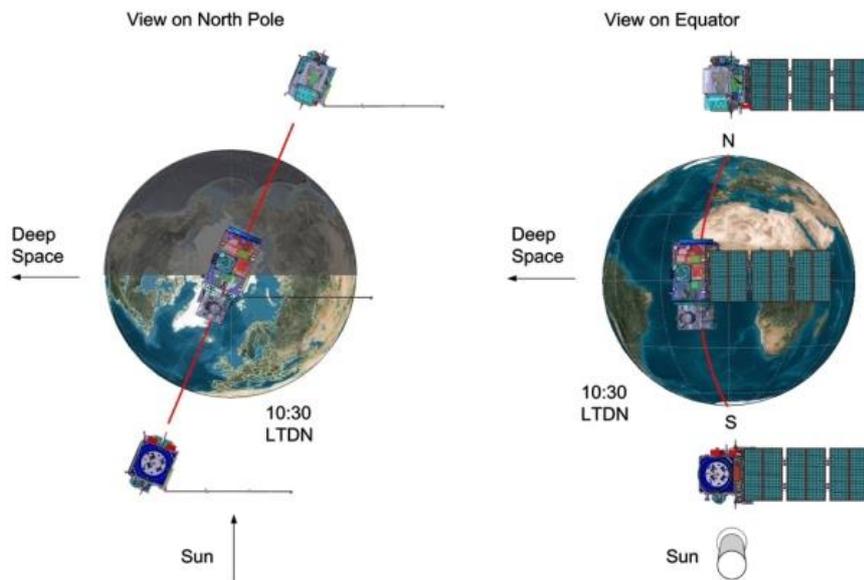


Figura 2.6 Configuración orbital de los satélites de Sentinel-2 (Fuente: ESA)

Dispone de trece bandas espectrales, siendo las doce primeras las que van desde los espectros visibles (violeta) hasta infrarrojos (ver Tabla 2-1) y la banda número trece una combinación de bandas que ofrecen el color real.

Tabla 2-1. Características de las bandas

Banda	Longitud de onda (nm)	Tamaño de pixel (m)
1	443	60
2	490	10
3	560	10
4	665	10
5	705	20
6	740	20
7	783	20
8	865	20
9	940	60
10	1375	60
11	1610	20
12	2190	20

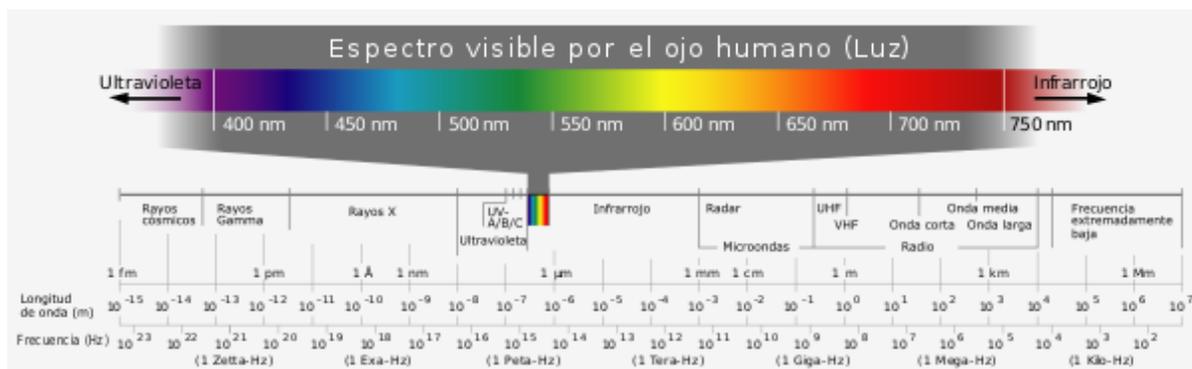


Figura 2.7. Espectro de luz y longitud de onda asociada (Fuente: Google imágenes)

Esta misión es la que se va a emplear para la verificación de las obras encontradas y se puede acceder a ella en el portal de la ESA. Para la descarga de imágenes que se emplearán en el posterior procesamiento en QGIS, es necesario estar registrado en el servidor del programa Copernicus.



# 3 METODOLOGÍA

En este apartado se va a tratar de explicar la metodología seguida en la detección de los polígonos y su posterior utilización para verificar si son obras urbanas. Para ello, se tomarán las conexiones de la RAP y se llevarán a cabo una serie de procedimientos mediante el empleo de varios softwares y de imágenes satélite.

La metodología empleada se basa en realizar una limpieza de las conexiones para eliminar aquellas que no resulten útiles para su posterior empleo. Una vez se han filtrado las conexiones, se unirán siguiendo una serie de criterios para conformar polígonos con ellas.

El proceso será validado por dos análisis; el primero de ellos consiste en la contrastación del acierto de los polígonos detectados y el análisis de su superficie, y el segundo consiste en el análisis de la temporalidad de los cambios, estableciendo la fecha de toma de las conexiones y la de la primera ortofoto en la que se ve la construcción mediante los vuelos del PNOA correspondientes.

## 3.1 Generación de polígonos derivados de las conexiones de la RAP

Como bien se ha introducido en el apartado de datos, a partir de la información de la Red Andaluza de Posicionamiento, se va a proceder a trabajar con ellos para, en primer lugar, hacer un filtrado previo de los puntos para trabajar con un menor número de datos, permitiendo así tener una ventana de trabajo más limpia y reduciendo el tiempo de ejecución de las tareas que se lleven a cabo con los mismos. A continuación, se llevará a cabo la obtención de los polígonos a partir de los puntos resultantes de esta limpieza. Todo este procedimiento será explicado paso a paso.

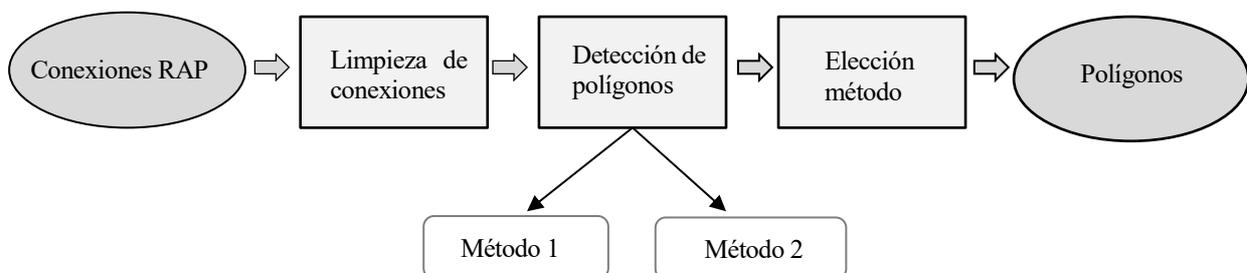


Figura 3.1. Esquema general de la metodología

### 3.1.1 Limpieza de las conexiones

Para realizar la limpieza de las conexiones, se ha empleado el creador de modelos del programa QGIS. En primer lugar, se ha llevado a cabo un filtrado de puntos para eliminar los que estén fuera de los núcleos urbanos, ya que lo que interesa es obtener las obras urbanas. Para ello, se han cargado las capas de núcleos poligonales (su02\_1\_nucleo\_pol) y asentamientos (su01\_asentamientos) del DERA que se encuentran en el apartado de sistema urbano (G07\_SistemaUrbano). Se han unido ambas capas y se les ha hecho un *buffer* de distancia fija de 1 km, que es un área de influencia, para incluir así posibles obras poligonales que se hallen tanto en los núcleos como en sus contornos.

A continuación, se ha realizado otra área de influencia de 1km a los puntos resultantes del proceso anterior para eliminar puntos aislados. Tras este paso, se han dividido las conexiones resultantes en dos capas, una que contiene todos los puntos filtrados de la comunidad autónoma y otra que solo contenga las conexiones limpias de la provincia en estudio, para reducir la zona de estudio. Esta última se obtiene cortando las conexiones resultantes de todo el proceso anterior con la provincia necesaria, en este caso Sevilla, Huelva y Córdoba, de la capa de provincias (da03\_provincia) del apartado de división administrativa del DERA (G17\_Division\_administrativa).

El siguiente paso es eliminar las conexiones correspondientes a las compañías que contengan menos de 3 puntos por compañía al día. Para ello, se ha creado un nuevo campo resultante de la unión de los campos de compañía y fecha de inicio de toma de conexiones. A esta unión se le ha hecho un resumen con el software ArcGIS para contar los puntos que contengan el mismo valor. Este resumen se guarda en un archivo \*.txt que será abierto posteriormente en QGIS como capa de texto delimitado, la cual se unirá con la capa de conexiones con la que se está trabajando mediante un *join*.



Figura 3.2. Esquema del proceso de limpieza de puntos

Después de todo este procedimiento, se habrán conseguido las conexiones filtradas listas para su uso en el proceso de obtención de polígonos que determinarán las obras urbanas en el ámbito de estudio de este trabajo. El código extraído de este modelo se adjunta al final del documento en el Anexo I.

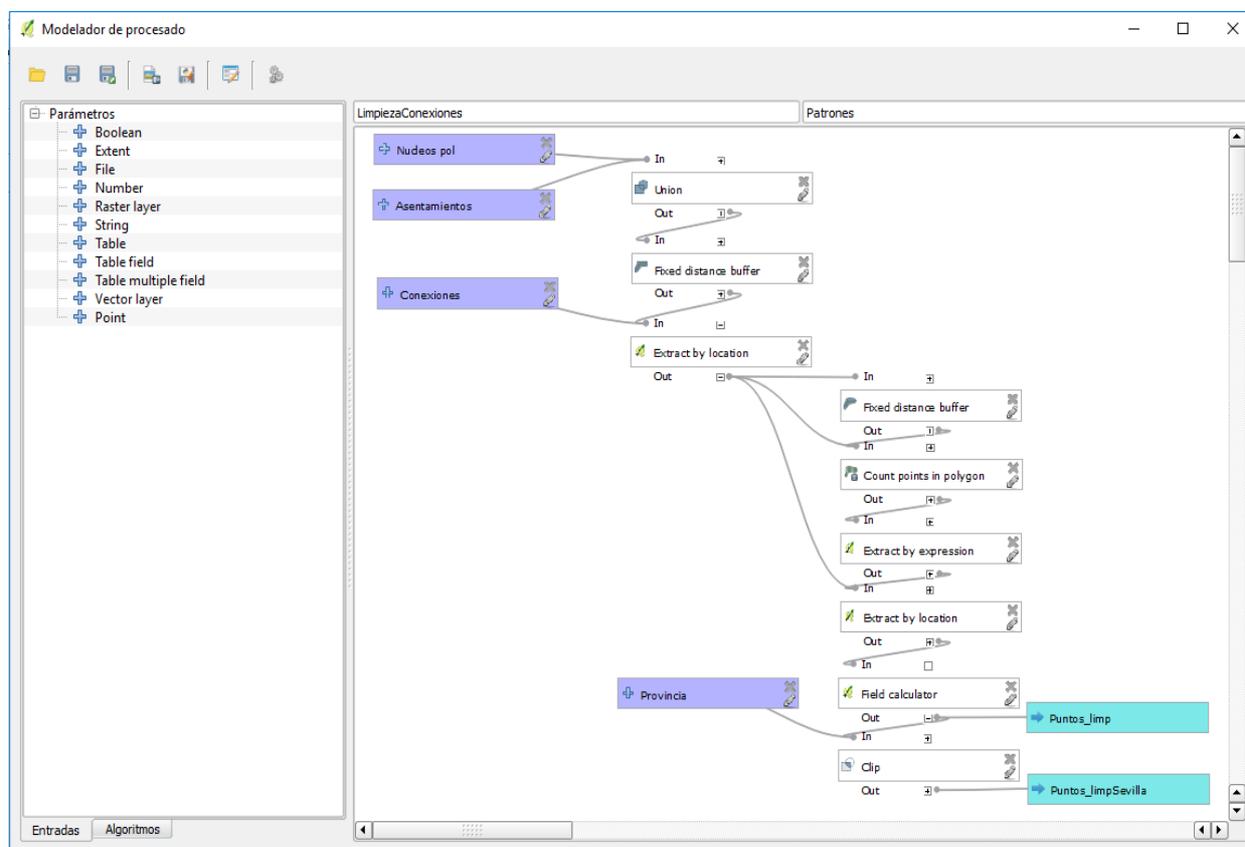


Figura 3.3. Modelo de limpieza de puntos

### 3.1.2 Obtención de polígonos

Para la obtención de polígonos se empleó inicialmente un proceso que no dio el resultado esperado, por lo que se optó por realizar un segundo método que resultó más útil. Ambos métodos se explican a continuación.

#### 3.1.2.1 Método 1: Unión de puntos por Id de usuario y fecha

Este método se ha empleado tomando la hipótesis de que un mismo usuario es el encargado de tomar todos los puntos de una obra concreta en el mismo día o en días sucesivos para el control de la misma, de modo que cada polígono se podrá formar uniendo esas localizaciones.

Para la obtención de polígonos se ha empleado el software ArcGIS, en concreto un complemento de ArcMap denominado ET GeoWizards. Este complemento permite realizar numerosas conversiones de los datos, pudiendo transformar capas de puntos en líneas o polígonos, o hacer el proceso inverso, entre otras muchas utilidades. En este caso, se han realizado dos conversiones, una primera conversión de puntos a multipuntos, para poder después hacer una segunda de esta capa de multipuntos a polígonos.

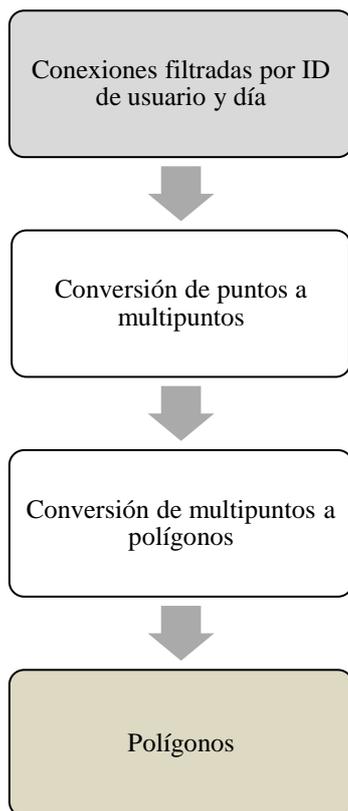


Figura 3.4. Esquema de obtención de polígonos por el método 1

### 3.1.2.2 Método 2: Unión de puntos por latitud, longitud y compañía

Mediante este método, se van a obtener polígonos mediante la unión de puntos por latitud (“Lat”), longitud (“Lon”) y el identificador numérico de usuario (“Comp”). Para ello, se empieza truncando latitud y longitud para que tengan una cifra decimal mediante la orden *to\_int* que calcula la parte entera de un número mediante la conversión de una cadena a número entero, no devolviendo nada si un valor no se puede convertir a entero. Para poder obtener una cifra decimal se ha multiplicado previamente dicho valor por 10. Posteriormente al truncamiento, se divide el resultado entre 10 para llegar así al valor deseado.

Una vez hecho esto, se convierten estos valores numéricos en cadena de texto mediante la orden *to\_string* y se unen la latitud y la longitud resultantes con el identificador de usuario mediante la siguiente orden:

$$to\_string(to\_int("Lat"*10)/10) || to\_string(to\_int("Lon"*10)/10) || Comp.$$

A este nuevo campo creado se le ha denominado “Ident” y será de tipo texto (cadena).

A continuación, se va a aplicar a la capa de puntos un proceso denominado *Single parts to multipart* que une múltiples entidades en una sencilla en base a un campo identificador único, que en este caso será el campo “Ident” anteriormente creado.

El siguiente paso es obtener los polígonos, que se realizan en este método mediante una envolvente convexa de los puntos obtenidos en el proceso anterior del mismo campo empleado para realizar la multiparte. Lo que hace este algoritmo es, especificando un campo, dividir las características en clases basadas en ese campo y calcular una envolvente convexa separada para las características en cada clase.

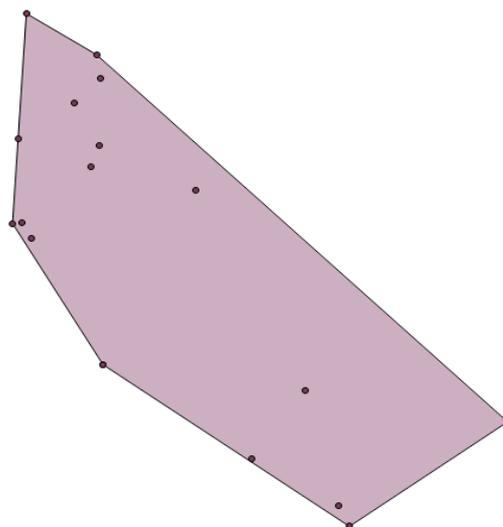


Figura 3.5. Ejemplo de envolvente convexa

Una envolvente convexa de los puntos contenidos en un plano es un polígono cuyos vértices se corresponden con los puntos más externos, de modo que todos los puntos se encuentren dentro o sobre dicho polígono, como puede verse en la Figura 3.5.

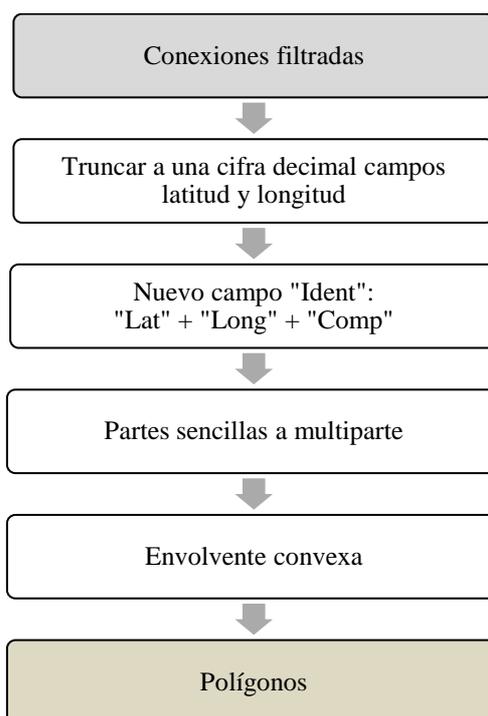


Figura 3.6. Esquema de obtención de polígonos por el método 2

## 3.2 Verificación de resultados

Obtenidos los polígonos, se contrastarán con las ortofotos para ver si son o no son obras. Si lo son, se comprobará el porcentaje de área que coincide con el real para validar su uso en la actualización cartográfica automatizada.

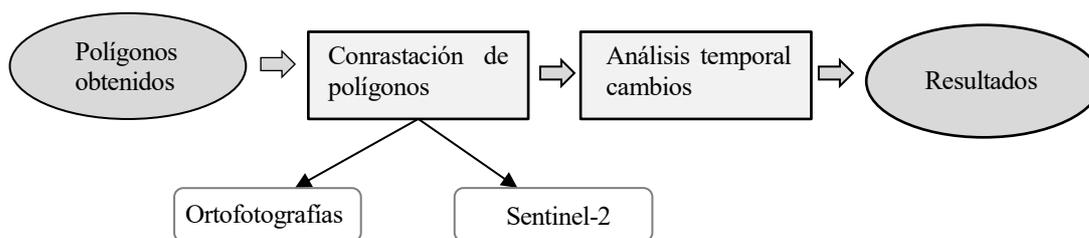


Figura 3.7. Esquema general de verificación de resultados

### 3.2.1 Contrastación de los polígonos obtenidos

Para realizar este primer análisis, se han empleado ortofotografías obtenidas del IECA para las conexiones comprendidas entre los años 2008 y 2015, además de imágenes de Sentinel-2 para las conexiones de 2016, dado que hasta mediados de 2015 no comienza funcionar este satélite. Con ellas, se han comparado los polígonos obtenidos con las posibles construcciones reales que aparecen en las imágenes aéreas.

Una vez analizadas las diferentes imágenes para contrastar los cambios, se guardan en una nueva capa los polígonos seleccionados y, en otra capa los polígonos reales que aparecen en las imágenes asociados a los anteriores. A los polígonos de ambas capas se les calcula la superficie para asignar una comparación entre ambos y el porcentaje de acierto de los mismos. La correspondencia de ambas capas se establece mediante un *join* que relaciona los polígonos de cada una.

#### 3.2.1.1 Ortofotografías

Las ortofotografías empleadas han sido las correspondientes a los años 2008-09, 2010-11, 2013 y 2016. Se han comparado los polígonos obtenidos con las posibles construcciones reales que aparecen en las fotografías aéreas, de modo que para cada polígono se han empleado al menos dos ortofotos distintas para ver los cambios que hay en el terreno correspondiente al mismo.

#### 3.2.1.2 Sentinel-2

En el caso de los polígonos del año 2016, no se pueden emplear ortofotografías ya que la última con utilidad para la provincia de Sevilla es la correspondiente a ese mismo año, por lo que no es posible hacer la comparación con imágenes de años posteriores como se ha hecho con el resto de polígonos. A pesar de que se puedan haber comenzado las obras correspondientes a las conexiones tomadas en el mismo año, es muy probable que comenzaran en años posteriores, sobre todo en el caso de conexiones tomadas en los últimos meses de 2016. Por eso, lo que se realiza con ellos es una comparación con las imágenes que ofrece la misión Sentinel-2.

Además, profundizando en el empleo de estas imágenes satélite, se han estudiado los polígonos obtenidos en 2016 en las provincias de Huelva y Córdoba.

Para descargar las imágenes, se selecciona la zona en la que se desee localizar las mismas y establecer los criterios de búsqueda. Estos criterios son, al menos, la misión a la que pertenezcan las imágenes necesarias (en este caso Sentinel-2) y el periodo de tiempo en estudio, así el servidor ofrecerá todas las imágenes contenidas en ese tramo. El periodo de búsqueda puede ser de dos tipos; *ingestion period*, que es la fecha en la que se subió la imagen al servidor, o *sensing period*, que es la fecha en la que se tomó la foto y es el criterio de búsqueda empleado en este trabajo. Además, se puede establecer el porcentaje de cobertura de nubes que se tenía en el momento de toma de la imagen.

Estas imágenes contienen doce bandas de color, de las cuales serán necesarias sólo tres de ellas, que son las correspondientes a la combinación de color natural RGB (*red, green and blue*), que son B04, B03 y B02 de la carpeta en la que se hallan las doce bandas descargadas. Para realizar esta composición es necesario combinarlas en QGIS en la sección de ráster, yendo al apartado *miscelánea* y eligiendo *combinar*. De esta forma se cargan las tres bandas, que se unirán y se guardarán en un único archivo de imagen.

El orden de estas bandas se establece en el estilo de las propiedades de la capa y es:

- Banda 1: rojo
- Banda 2: verde
- Banda 3: Azul

Además, se puede variar los valores máximos y mínimos de las mismas, así como el renderizado de color (brillo, o por ejemplo saturación) para mejorar su visión.

No obstante, las fotos descargadas de Sentinel-2 incluyen en esa misma carpeta un archivo de imagen que contiene las tres bandas RGB mezcladas y modificadas para que se vea el color real de la fotografía corrigiendo los efectos de luz, que será la imagen que se empleará finalmente para la contrastación de los polígonos con este método.

### 3.2.2 Análisis temporal de los cambios

Para realizar el análisis temporal de los cambios, se ha aprovechado los resultados obtenidos de la contrastación de imágenes aéreas, para que, una vez detectados los cambios en el terreno y seleccionados los polígonos útiles, se pueda asociar el año en el que aparece el primer cambio. Esto se hace comparando las diferentes ortofotografías entre sí en la zona correspondiente a los polígonos hallados para establecer el año de vuelo del PNOA.

En el caso de los polígonos analizados con Sentinel, se ha realizado un estudio más exhaustivo, estableciendo una aproximación más detallada de la fecha en la que comienzan los cambios, estimando al menos el mes en el que comenzaron las obras en lugar del año, como se hizo con los polígonos estudiados con las ortofotos. De esta forma, se podrá intuir una estimación media del tiempo que pasa entre que se tomó los puntos por el topógrafo y el comienzo de los cambios en el terreno.



# 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se van a mostrar los resultados obtenidos de la metodología realizada, de modo que se irán explicando los mismos en el orden en que se ha elaborado el procedimiento seguido, aportando datos numéricos y gráficos para apoyar estos resultados.

## 4.1 Generación de polígonos desde la RAP

### 4.1.1 Limpieza de las conexiones

Una vez realizada la limpieza de puntos, se ha reducido el número de conexiones al 70,5 % del total, habiendo pasado de 401.262 a 282.887 puntos en el periodo 2008-2016 para toda Andalucía.

Tras seleccionar las conexiones de la provincia de Sevilla, se ha reducido el número de puntos a 48.521, lo que supone un 12,09 % de los puntos iniciales disponibles de la RAP y un 17,15 % de las conexiones de toda la comunidad autónoma tras la primera limpieza, ver Tabla 4-1.

Tabla 4-1. Número de conexiones tras la limpieza

Año	Puntos RAP	Puntos limpieza	Porcentaje	Puntos limp Sevilla	Porcentaje Sevilla
2008	18342	14801	80,69%	2926	15,95%
2009	76003	62578	82,34%	11621	15,29%
2010	61367	47634	77,62%	11651	18,99%
2011	54406	38515	70,79%	7111	13,07%
2012	33826	22442	66,35%	2281	6,74%
2013	37031	24507	66,18%	2228	6,02%
2014	35858	22680	63,25%	2877	8,02%
2015	36167	24840	68,68%	4399	12,16%
2016	48262	24890	51,57%	3427	7,10%
<b>Total</b>	<b>401262</b>	<b>282887</b>	<b>70,50%</b>	<b>48521</b>	<b>12,09%</b>

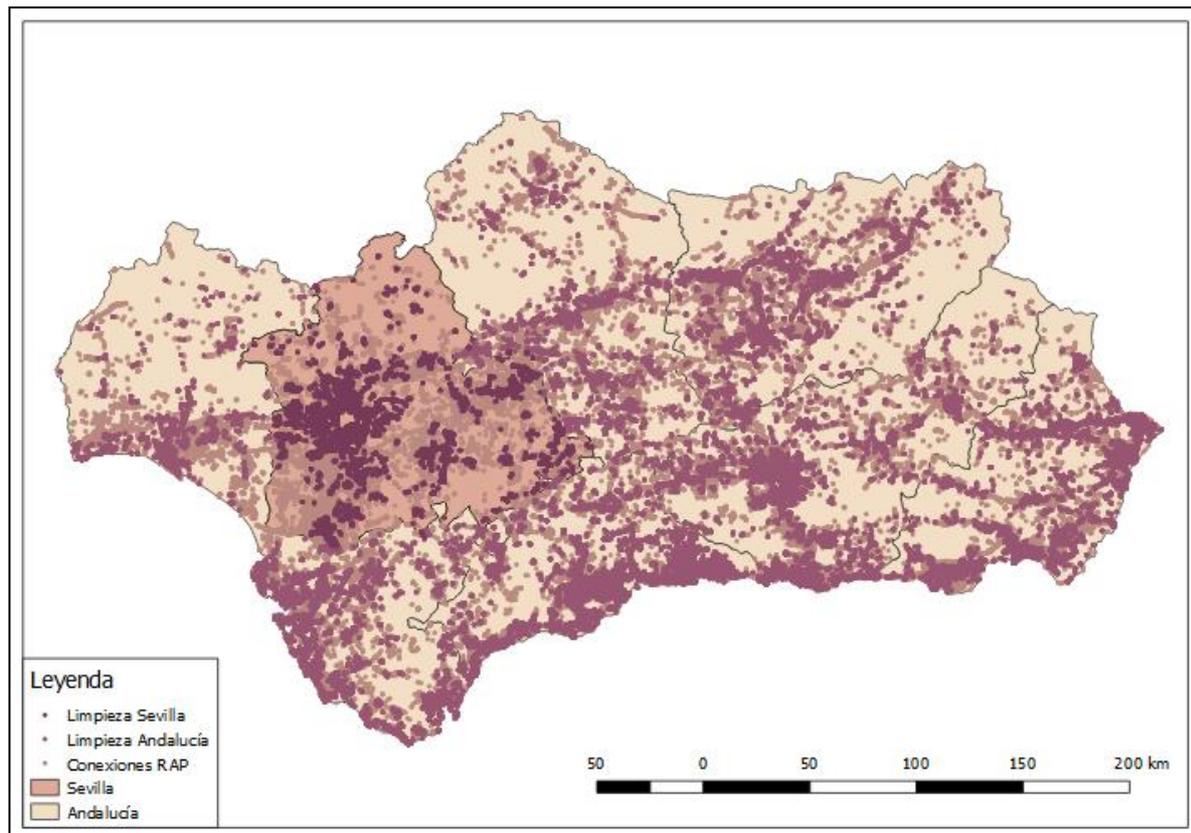


Figura 4.1. Conexiones tras la limpieza

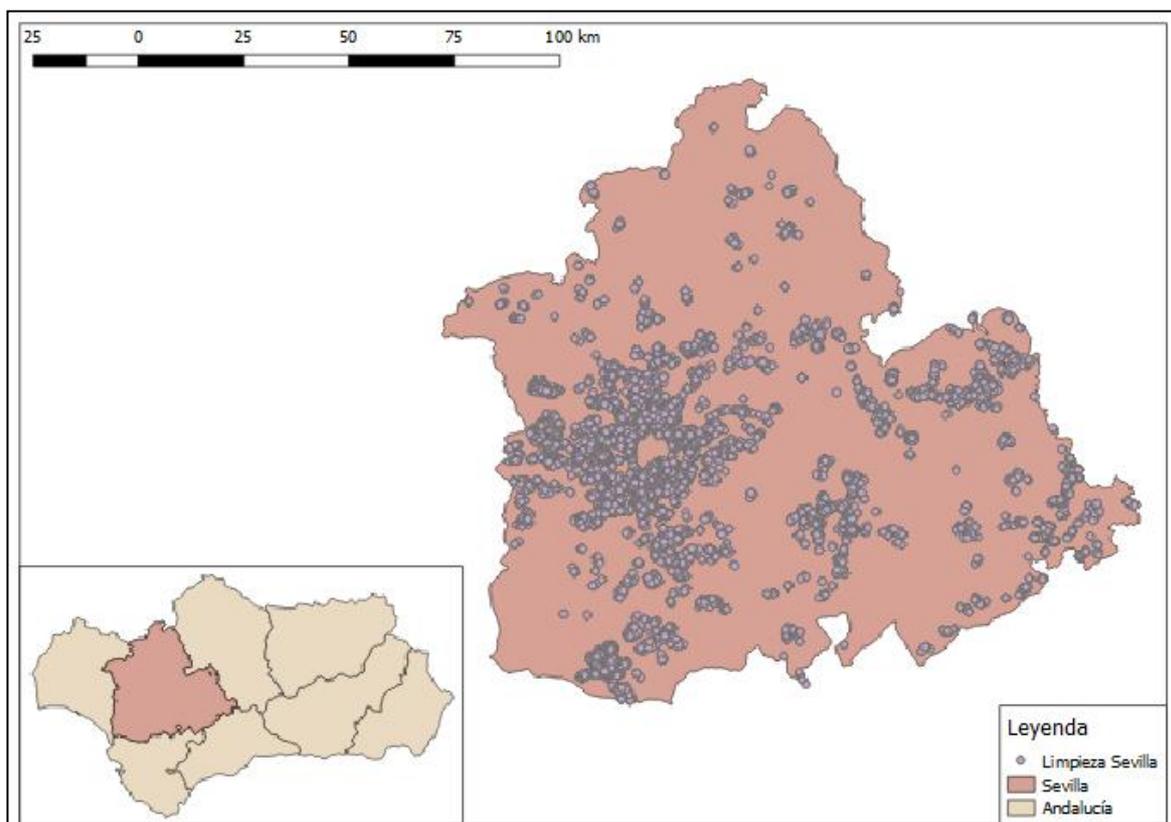


Figura 4.2. Conexiones tras la limpieza. Sevilla.

## 4.1.2 Obtención de polígonos

### 4.1.2.1 Método 1: Unión de puntos por Id de usuario y fecha

Al realizar este método se han obtenido 12.204 polígonos, lo que supone un número muy elevado a la hora de analizarlos y establecer la verificación o el descarte de los mismos. En la Tabla 4-2 se encuentran los datos obtenidos por cada año.

Tabla 4-2. Número de polígonos en el primer método

Año	Polígonos
2008	619
2009	2642
2010	2596
2011	1695
2012	373
2013	486
2014	749
2015	1745
2016	1299
<b>Total</b>	<b>12204</b>

El principal problema que surge de aplicar este método, además de la cantidad de polígonos ya comentada, es la forma y tamaño de los mismos. Muchos de ellos tienen una superficie muy elevada, lo que lleva a la evidente conclusión de que no serán polígonos útiles y habrá que descartarlos. Esto hace pensar que la primera hipótesis que se hizo de que las conexiones que tengan misma fecha y compañía conllevarán a una obra concreta no es cierta, al menos en un gran porcentaje de los casos, ya que hay polígonos que atraviesan la provincia de Sevilla o unen varias ciudades, lo que quiere decir que, en un día concreto, una compañía ha tomado puntos de obras independientes o han usado el mismo usuario.

En relación a la forma, hay polígonos que se superponen entre sí y toman formas estrelladas que llevan a descartar la idea inicial de que las conexiones se hayan tomado por orden siguiendo la forma final que tendría la posible obra.

A continuación, se muestran los resultados por año con los polígonos obtenidos (Figuras 4.3 a 4.11).

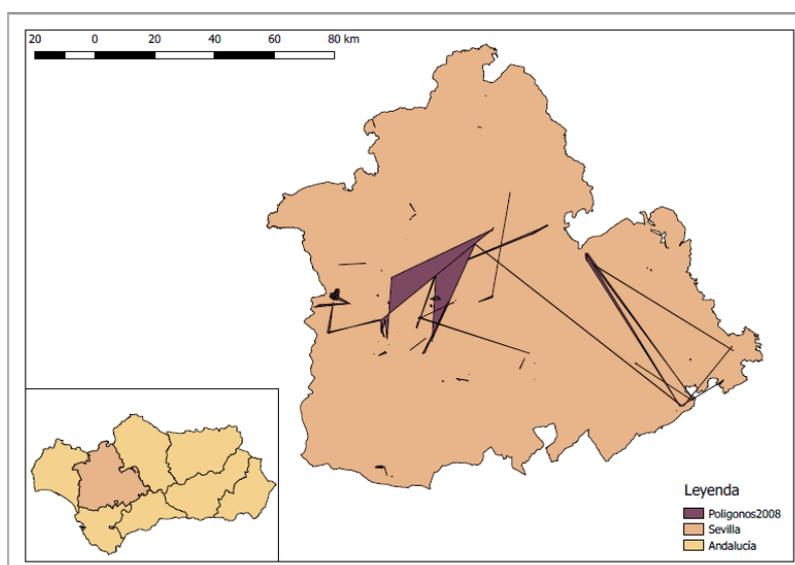


Figura 4.3. Polígonos obtenidos por el primer método en 2008

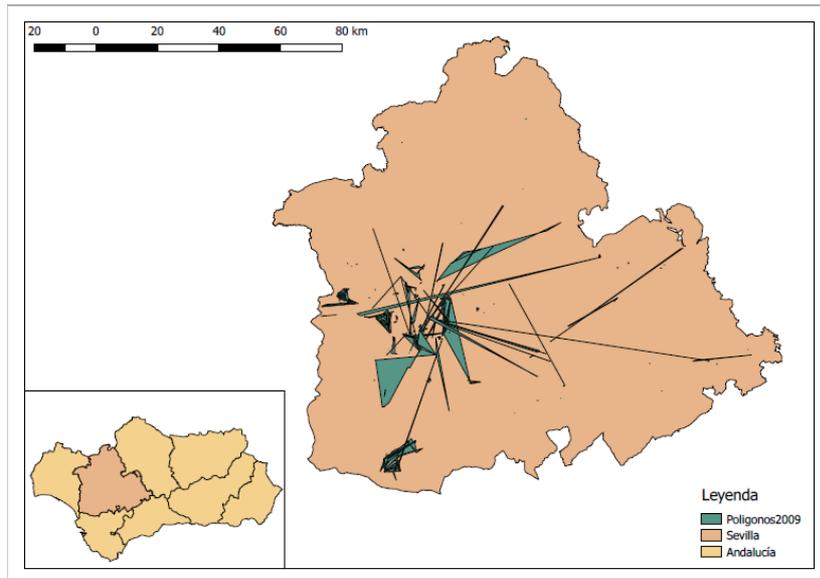


Figura 4.4. Polígonos obtenidos por el primer método en 2009

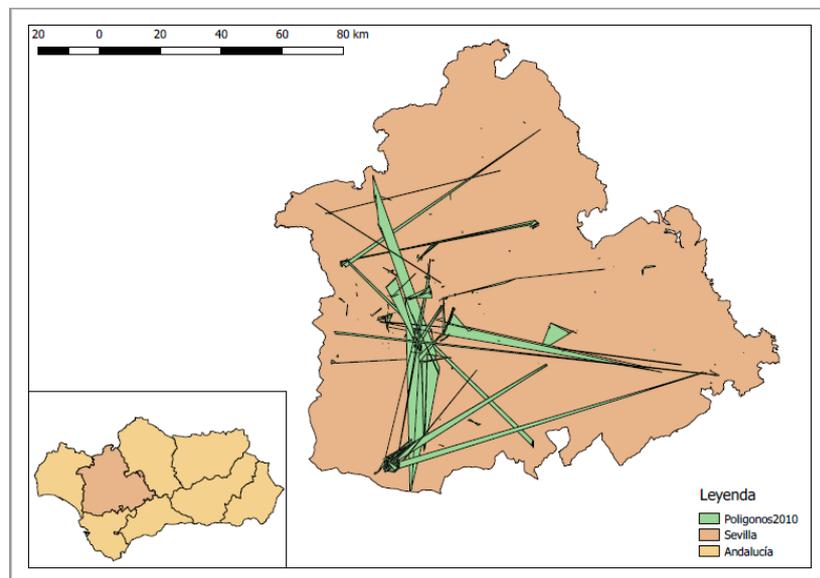


Figura 4.5. Polígonos obtenidos por el primer método en 2010

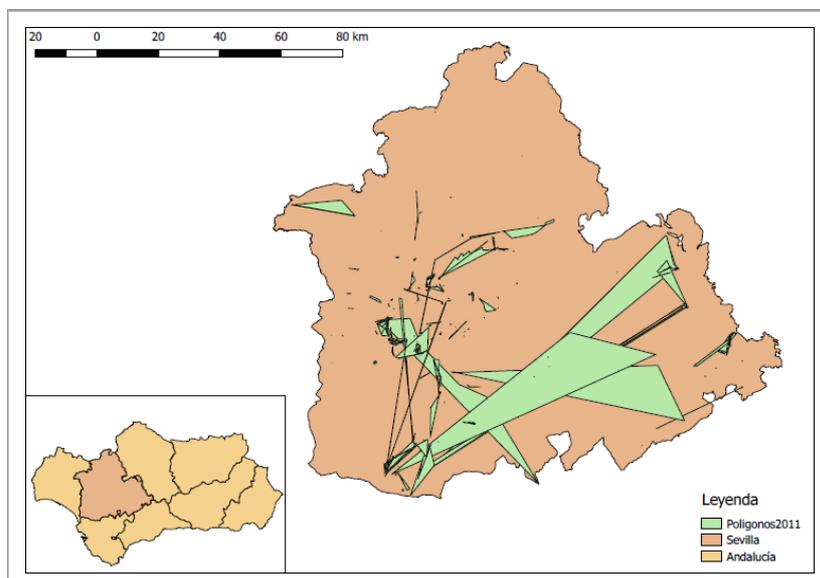


Figura 4.6. Polígonos obtenidos por el primer método en 2011

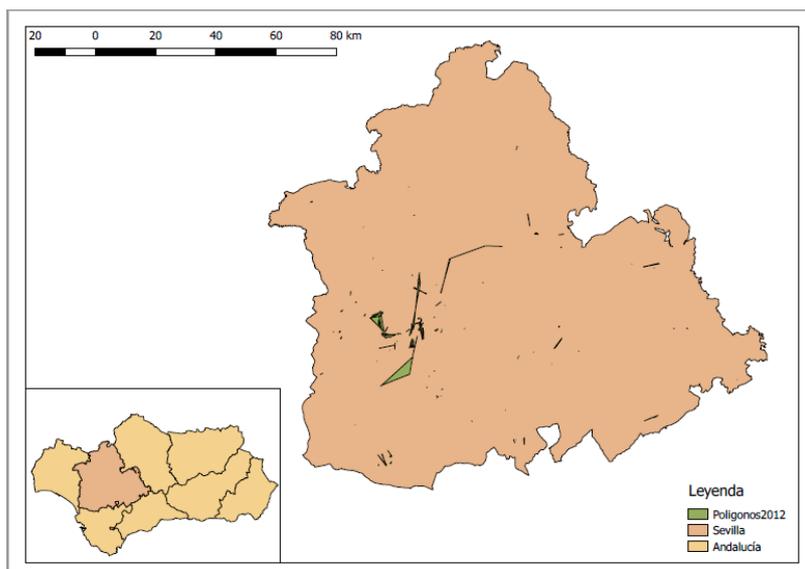


Figura 4.7. Polígonos obtenidos por el primer método en 2012



Figura 4.8. Polígonos obtenidos por el primer método en 2013

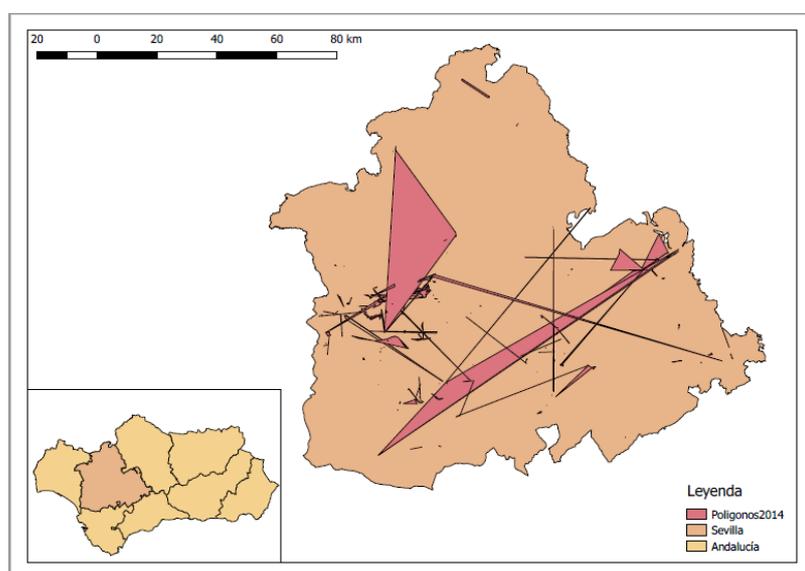


Figura 4.9. Polígonos obtenidos por el primer método en 2014

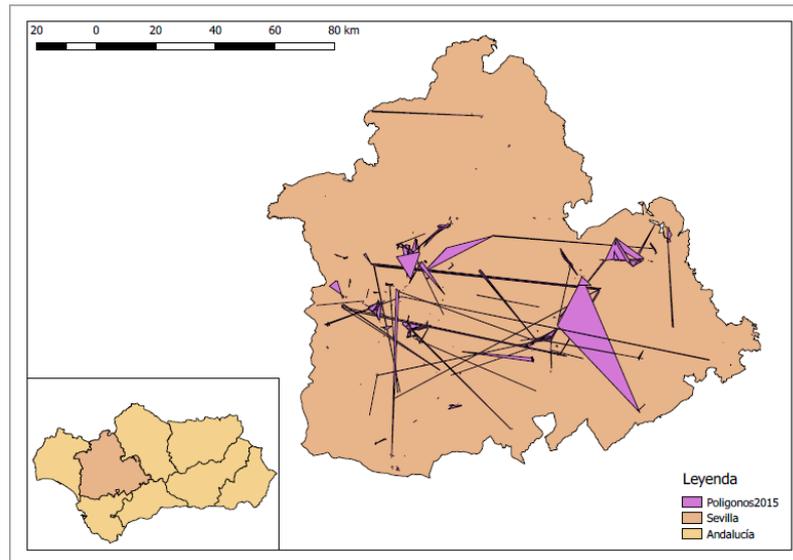


Figura 4.10. Polígonos obtenidos por el primer método en 2015

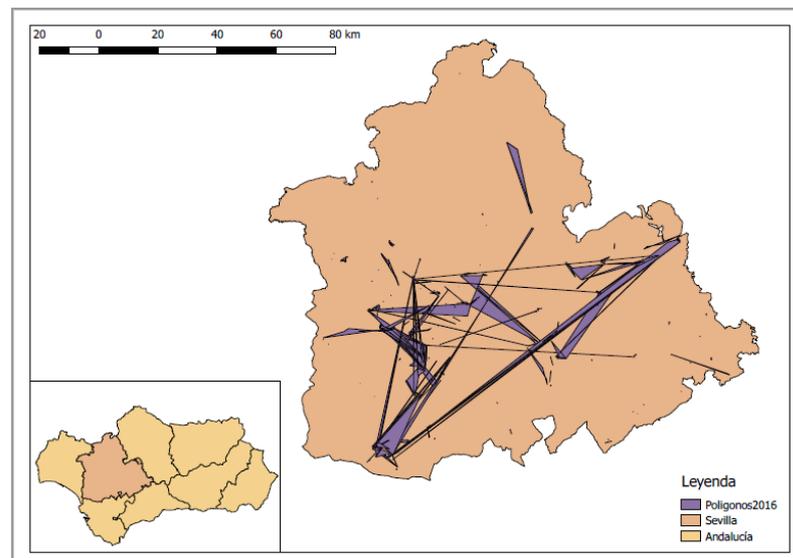


Figura 4.11. Polígonos obtenidos por el primer método en 2016

#### 4.1.2.2 Método 2: Unión de puntos por latitud, longitud e Id usuario

A diferencia del primer método, con el que se obtenían una gran cantidad de polígonos, con éste se obtienen sólo 1.225, lo que permite analizarlos de una forma más rápida y con mayor posibilidad de encontrar polígonos realmente útiles. En la Tabla 4-3 se resume el número de puntos final obtenido al pasar de parte sencilla a multiparte y los polígonos hallados por este método.

Tabla 4-3. Número de polígonos del segundo método

Año	Multiparte	Polígonos
2008	92	64
2009	192	137
2010	248	172
2011	290	189
2012	164	105
2013	183	120
2014	108	88

2015	267	186
2016	213	164
<b>Total</b>	<b>1757</b>	<b>1225</b>

Estos polígonos obtenidos se pueden ver en las Figuras 4.12 a 4.20.

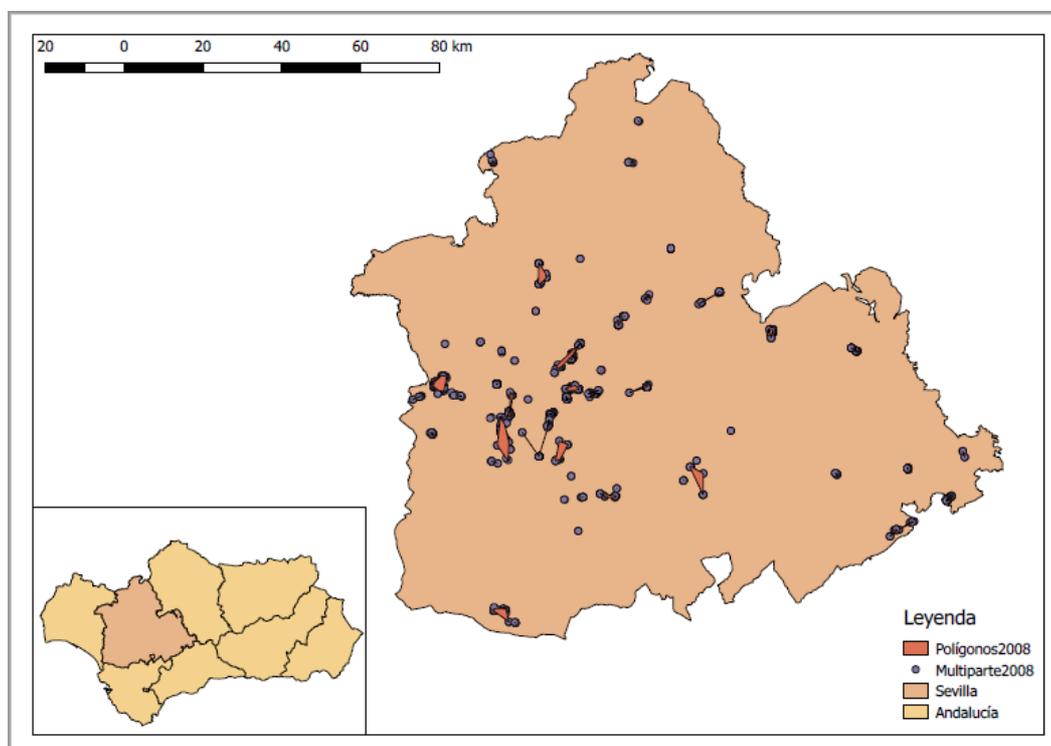


Figura 4.12. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2008

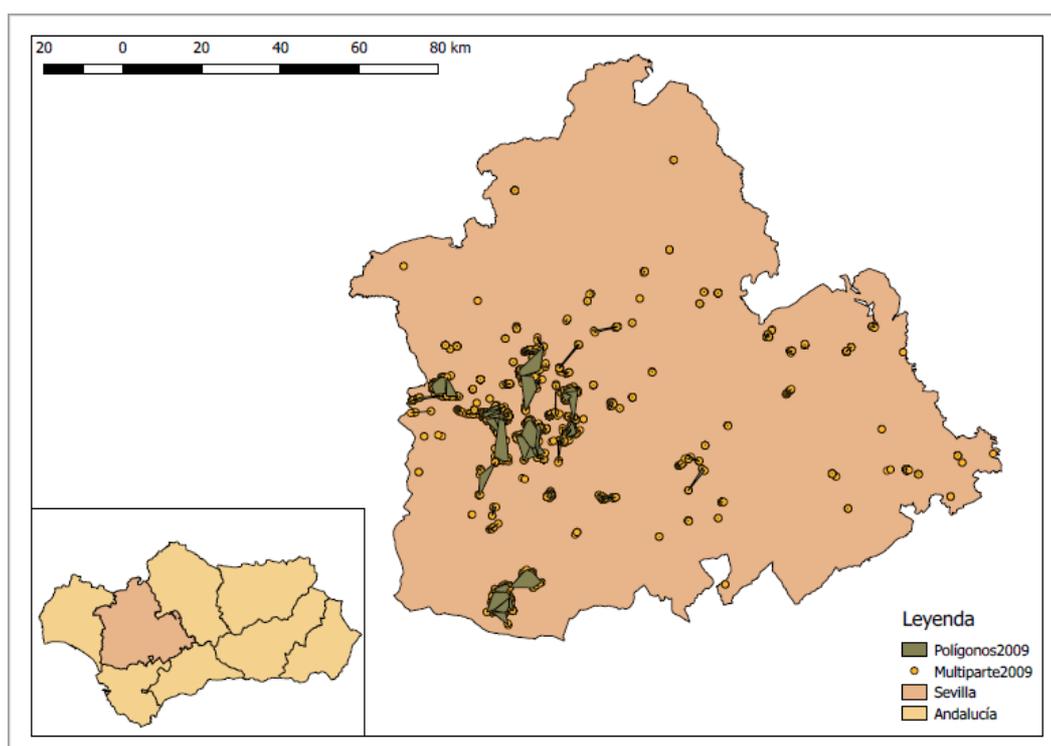


Figura 4.13. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2009

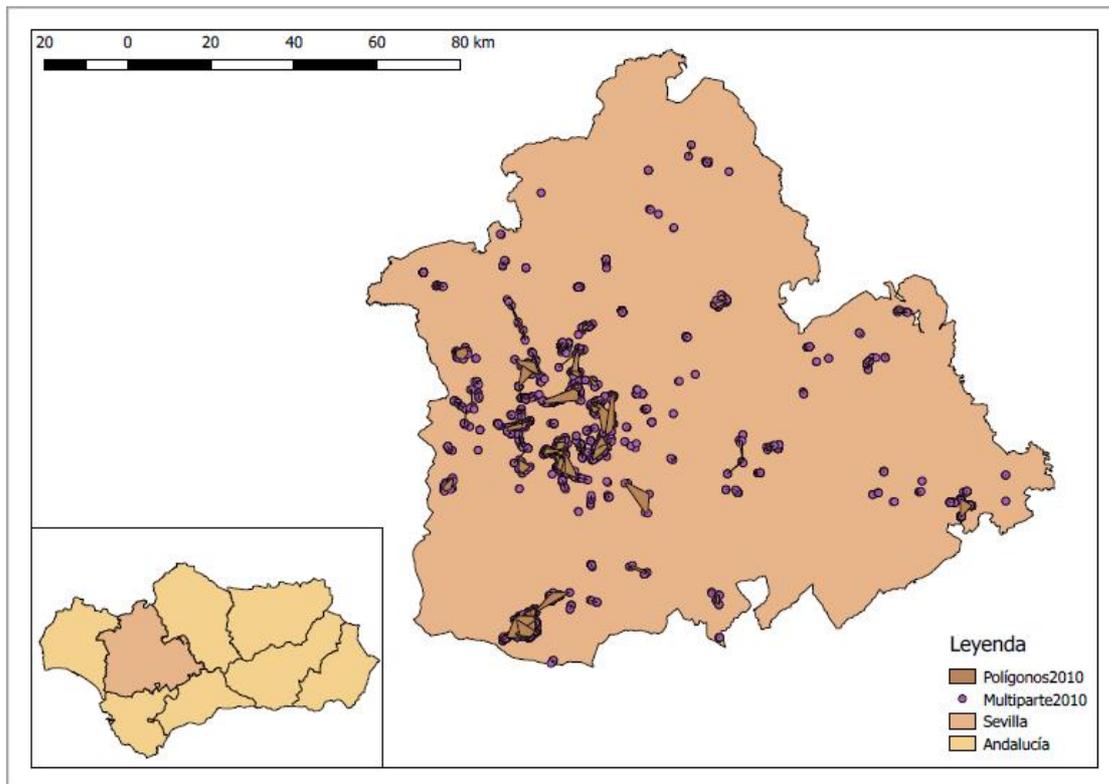


Figura 4.14. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2010

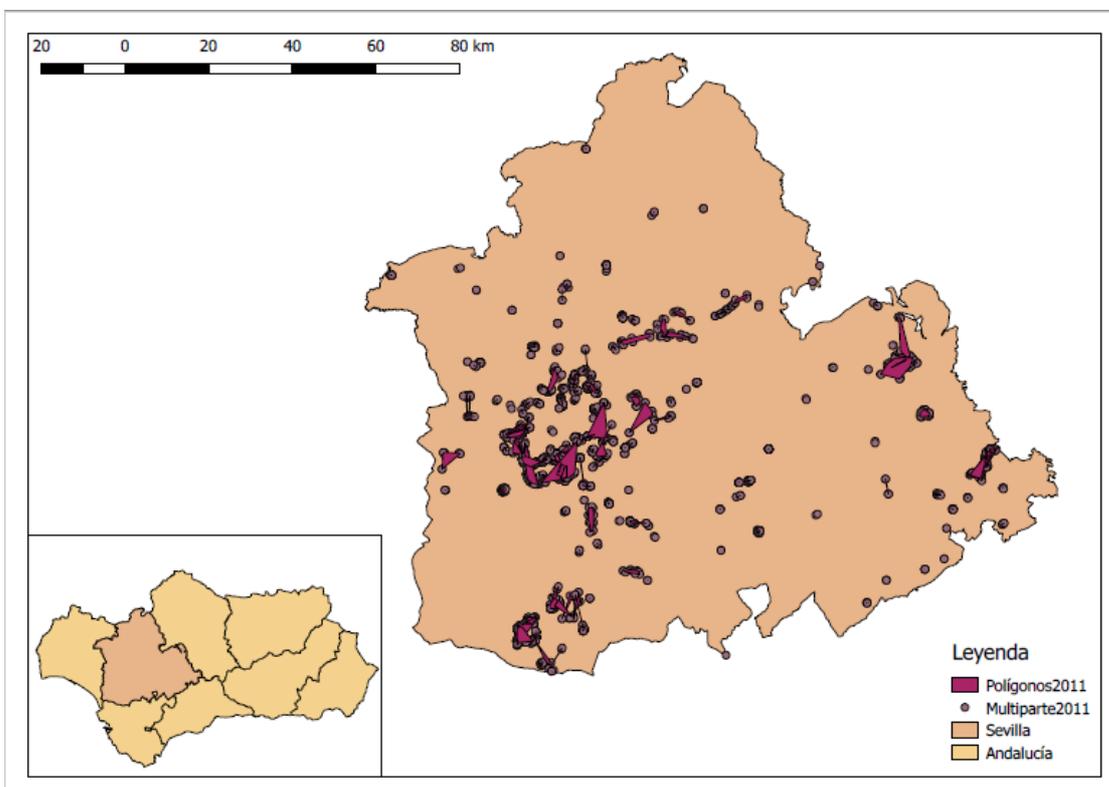


Figura 4.15. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2011

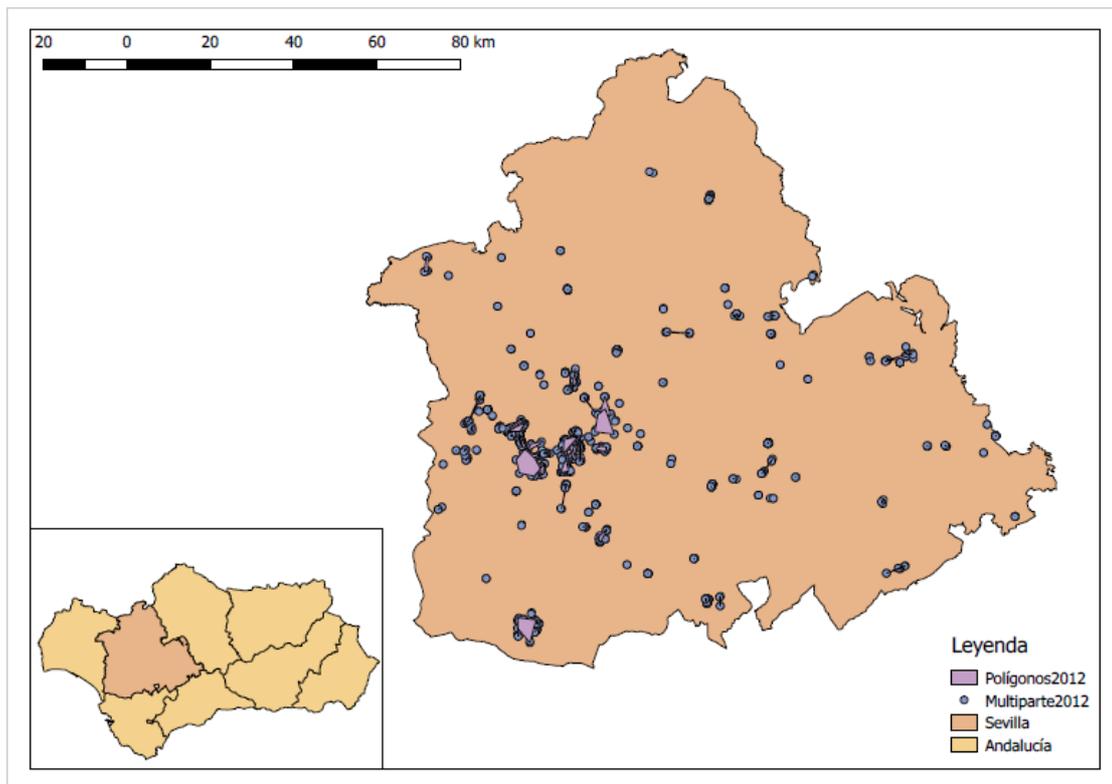


Figura 4.16. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2012

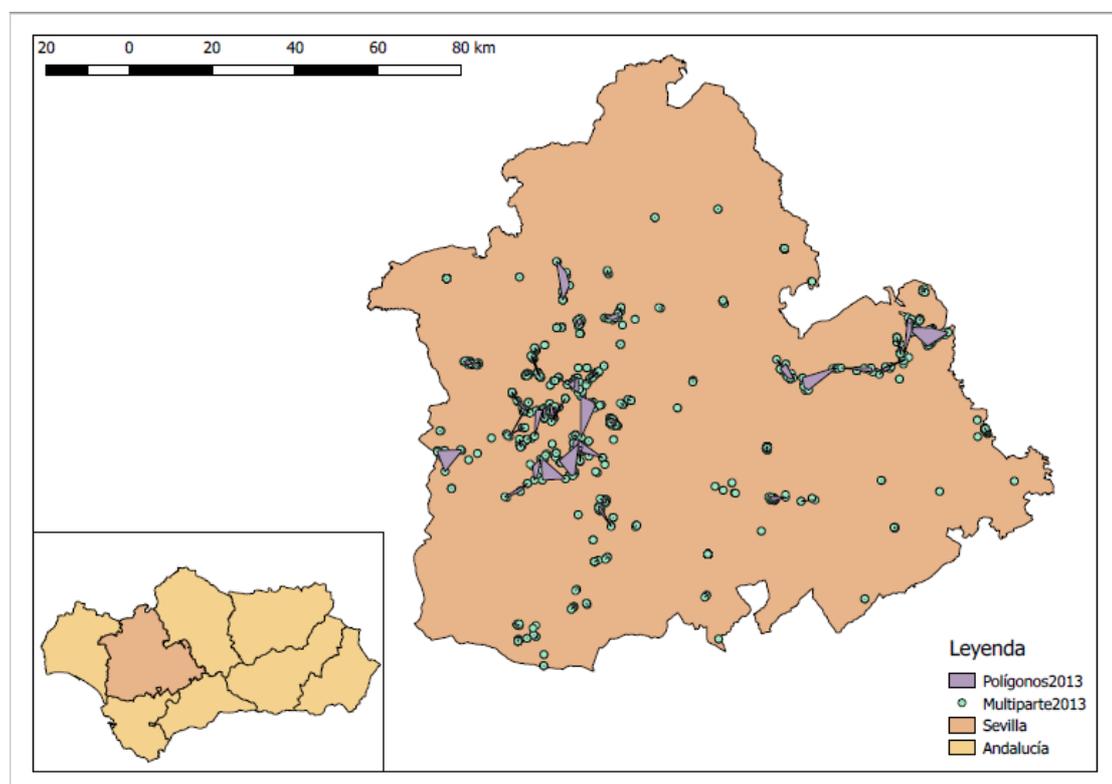


Figura 4.17. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2013

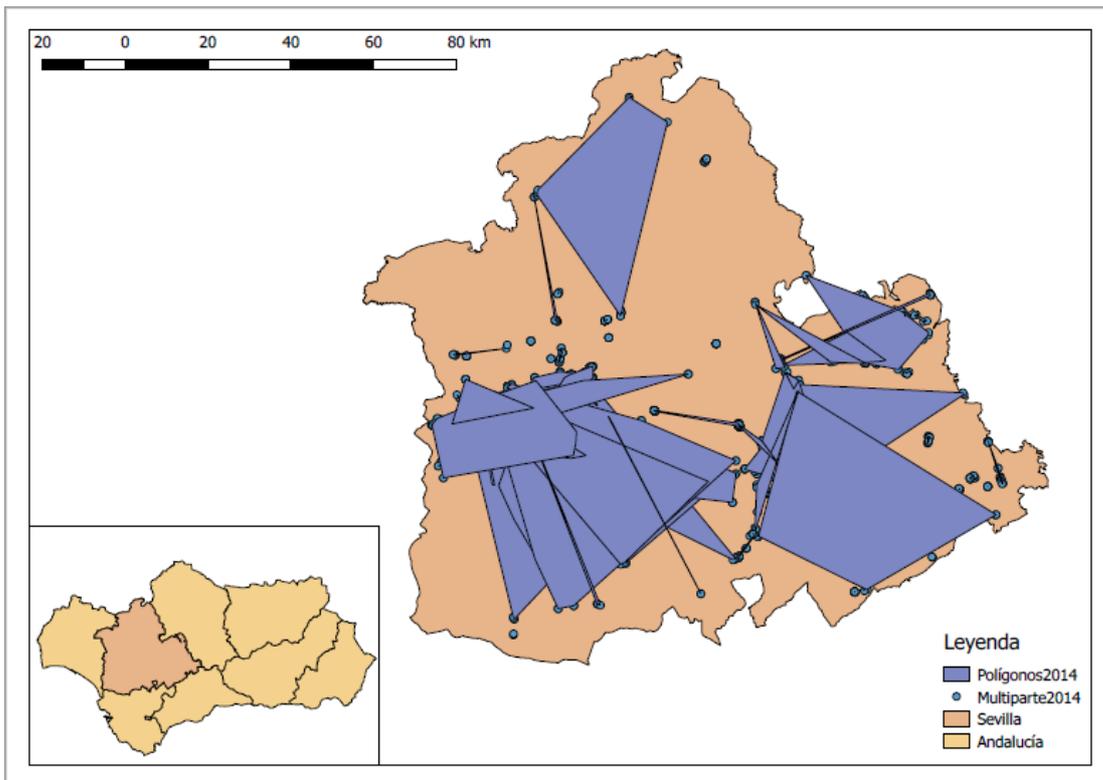


Figura 4.18. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2014

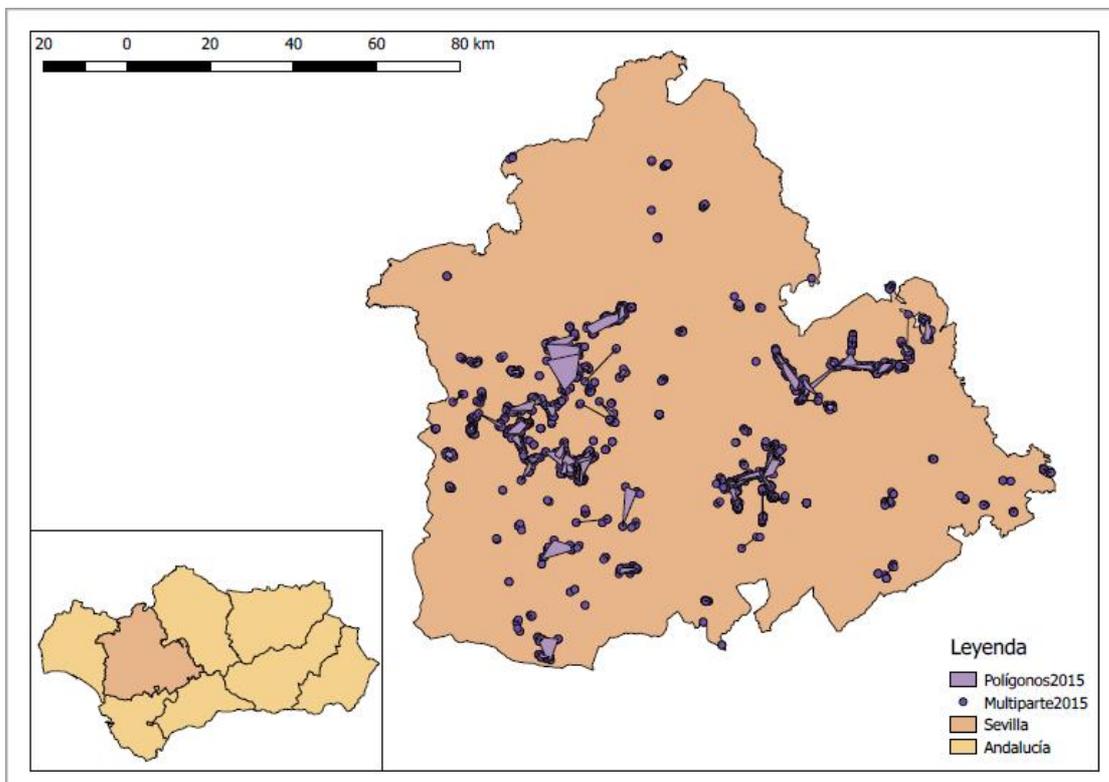


Figura 4.19. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2015

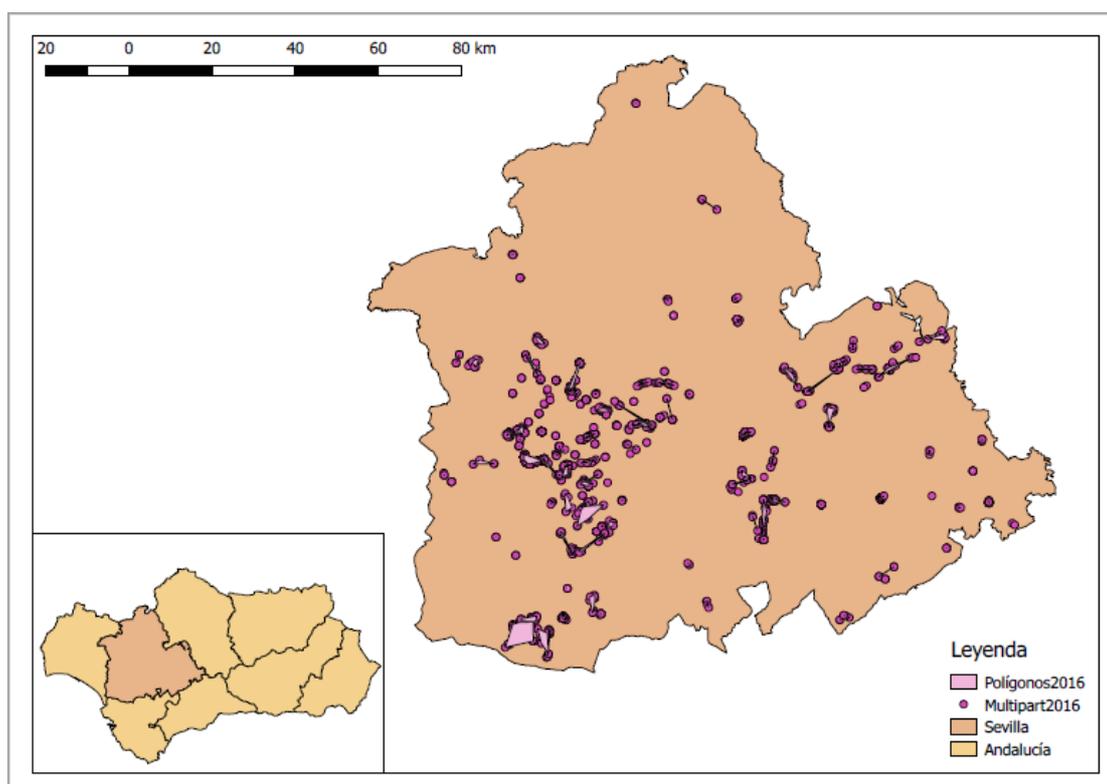


Figura 4.20. Polígonos obtenidos por el segundo método en 2016

Como puede verse en la Figura 4.18, los polígonos obtenidos tras realizar este método en las conexiones resultantes de 2014 son más grandes de lo esperado. Tras analizar los datos y metodología aplicada en dicho año, se ha comprobado que el fallo proviene de los datos de entrada, concretamente de los campos latitud y longitud, que no son del todo exactos. No obstante, se van a contrastar como el resto de años para determinar si se ajustan en mayor o menor medida a la realidad.

## 4.2 Verificación de resultados

### 4.2.1 Contrastación de los polígonos obtenidos

#### 4.2.1.1 Ortofotografías

Tras analizar las ortofotografías necesarias, se han determinado los polígonos comprendidos entre los años 2008 y 2015 correspondientes con obras reales, siendo un total de 24. Para todos ellos, se han dibujado los polígonos reales que representan los mismos y se han relacionado mediante un identificador, siendo, para la Tabla 4-4 que se incluye a continuación, el campo *id* el identificador original de los polígonos calculados mediante el método de envolvente convexa ya explicado, *Ident* el campo creado tras la unión de los campos latitud, longitud y compañía, *Polí* el número del polígono guardado, *Área* la superficie de los polígonos hallados, *Año* el año de conexión de los puntos, *Polí Real* el polígono real dibujado a partir de los vuelos del PNOA, *Área Real* la superficie de los polígonos reales, *Área Común* la superficie común de ambos tipos de polígonos y *%Acierto Área* el porcentaje de acierto de los polígonos calculados con la metodología realizada, que es una relación entre el área común y el área real, es decir, el porcentaje que supone esta superficie común sobre la construcción real.

Tabla 4-4. Polígonos resultantes y relación con los reales

Polí	id	Ident	Área [m <sup>2</sup> ]	Año	Polí Real	Área Real [m <sup>2</sup> ]	Área común [m <sup>2</sup> ]	% Acierto Área
1	56	37.4-6.310	8929376,422	2008	19	3426889	3426179	99,98%
2	11	37.2-5.117	91438,51355	2008	21	133304	33492	25,12%
3	27	37-6108	200540,4143	2014	4	87744	81450	92,83%
4	129	37.4-6.2192	131,028748	2009	15	4413	0	0,00%
5	139	37.4-6.263	3646,244507	2009	16	1600	1577	98,56%
6	23	37.2-5.19	4,095825	2009	17	251	0	0,00%
7	76	37.3-6131	108896,2894	2009	18	102883	88055	85,59%
8	144	37.4-6.323	11943866,74	2009	19	3426889	3426179	99,98%
9	190	37.9-6.163	4830,092224	2009	20	1600	1466	91,63%
10	218	37.6-5.859	52,934631	2010	14	1310	42	3,21%
11	157	37.4-6.269	15185,1734	2010	15	4413	0	0,00%
12	47	37.2-5.518	346526,9668	2011	10	83477	64934	77,79%
13	157	37.4-6.25	9693,14209	2011	12	85080	9693	11,39%
14	116	37.3-691	203106,6374	2011	11	71777	60184	83,85%
15	104	37.3-6179	6991,125122	2011	13	12141	4203	34,62%
16	132	37.5-6.1143	3532,564148	2012	7	6859	2433	35,47%
17	141	37.6-5.4170	37388,25049	2012	8	75823	35856	47,29%
18	44	37.3-5.65	6460,887207	2012	9	4564	120	2,63%
19	42	37.3-5.410	22083,63074	2013	6	16514	14122	85,52%
20	88	38-55	11401,33252	2014	3	82996	11222	13,52%
21	27	37.2-5.540	13709,10266	2009	22	14885	12200	81,96%
22	92	38-6101	1454,020813	2014	5	1380	1022	74,06%
23	229	37.5-6185	4368,882507	2015	2	5249	2760	52,58%
24	40	37.2-5.325	2727,681274	2015	1	1912	1498	78,35%

A continuación, se incluyen los resultados gráficos obtenidos del análisis de los polígonos contrastados con las ortofotos (Figuras 4.21 a 4.44). Se va a presentar un plano en el que se muestran los dos polígonos (en azul el polígono obtenido y en rojo el polígono real) sobre una ortofoto en la que se encuentra la obra real. Ambos polígonos se han representado por una línea exterior sencilla y gruesa del color establecido para cada caso y sin relleno para que se pueda observar la construcción debajo de ellos.

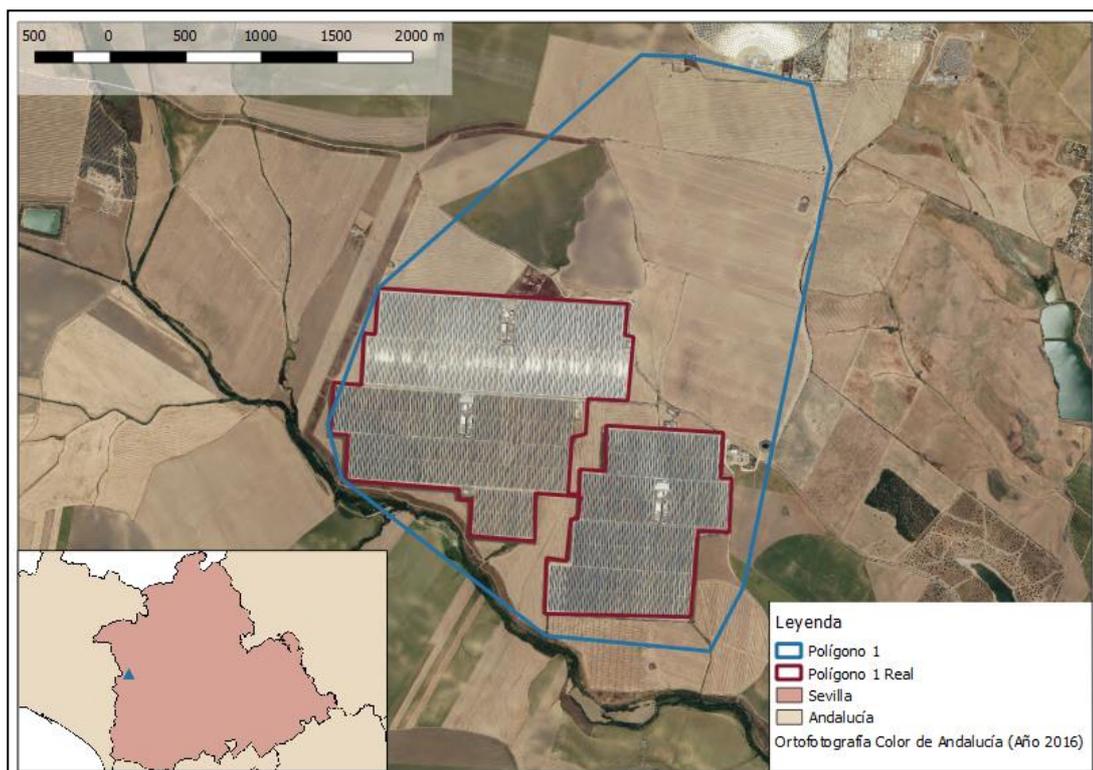


Figura 4.21. Polígono 1 contrastado sobre Ortofoto 2016

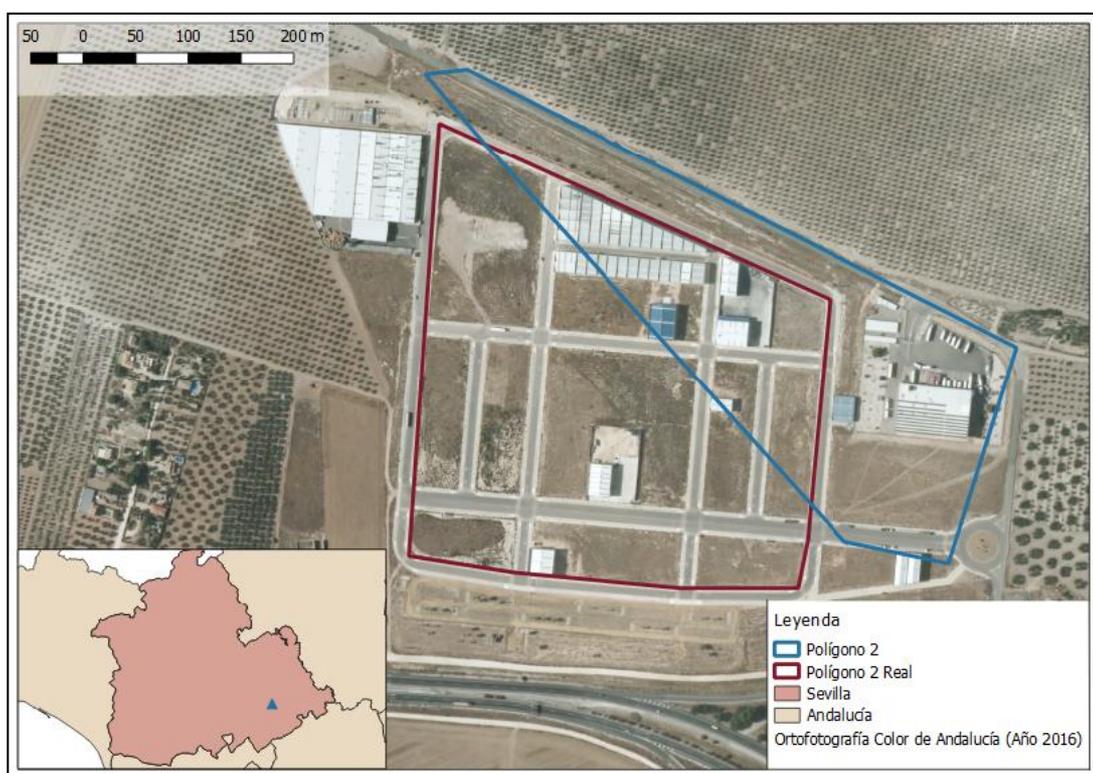


Figura 4.22. Polígono 2 contrastado sobre Ortofoto 2016

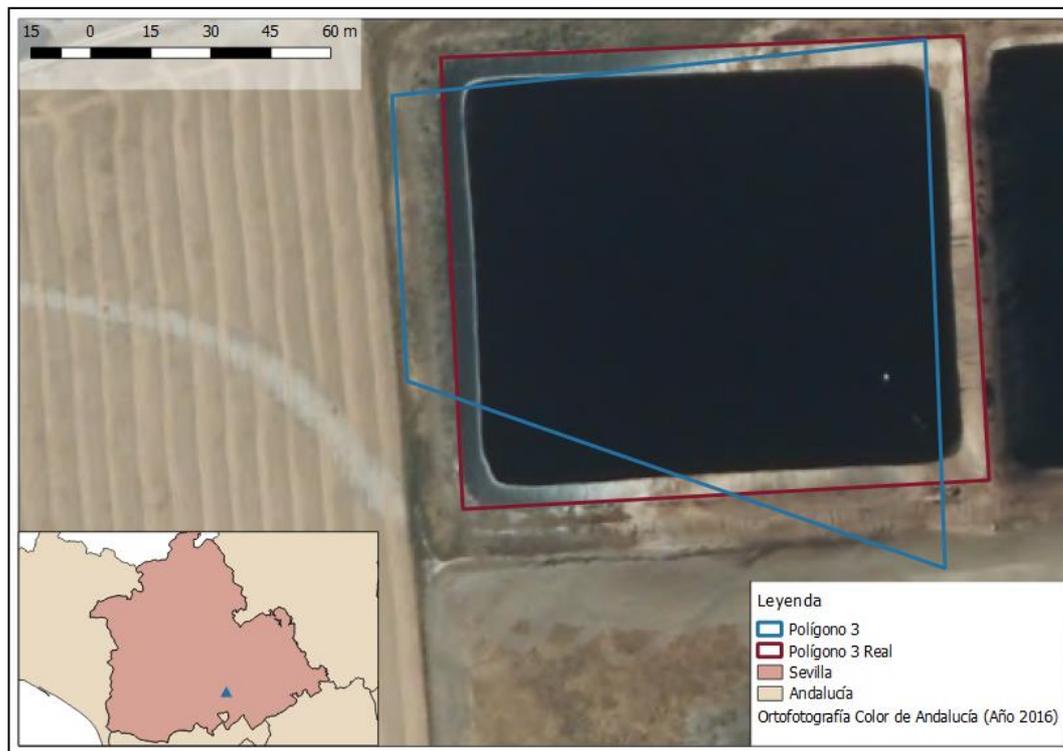


Figura 4.23. Polígono 3 contrastado sobre Ortofoto 2016

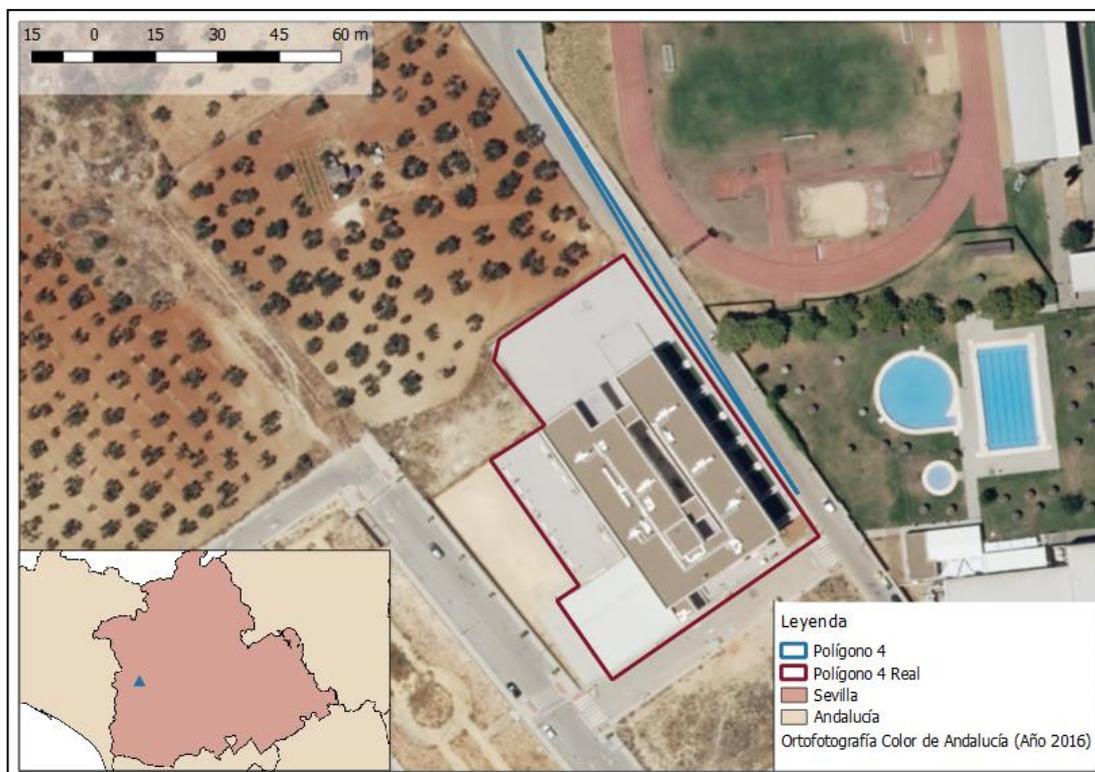


Figura 4.24. Polígono 4 contrastado sobre Ortofoto 2016

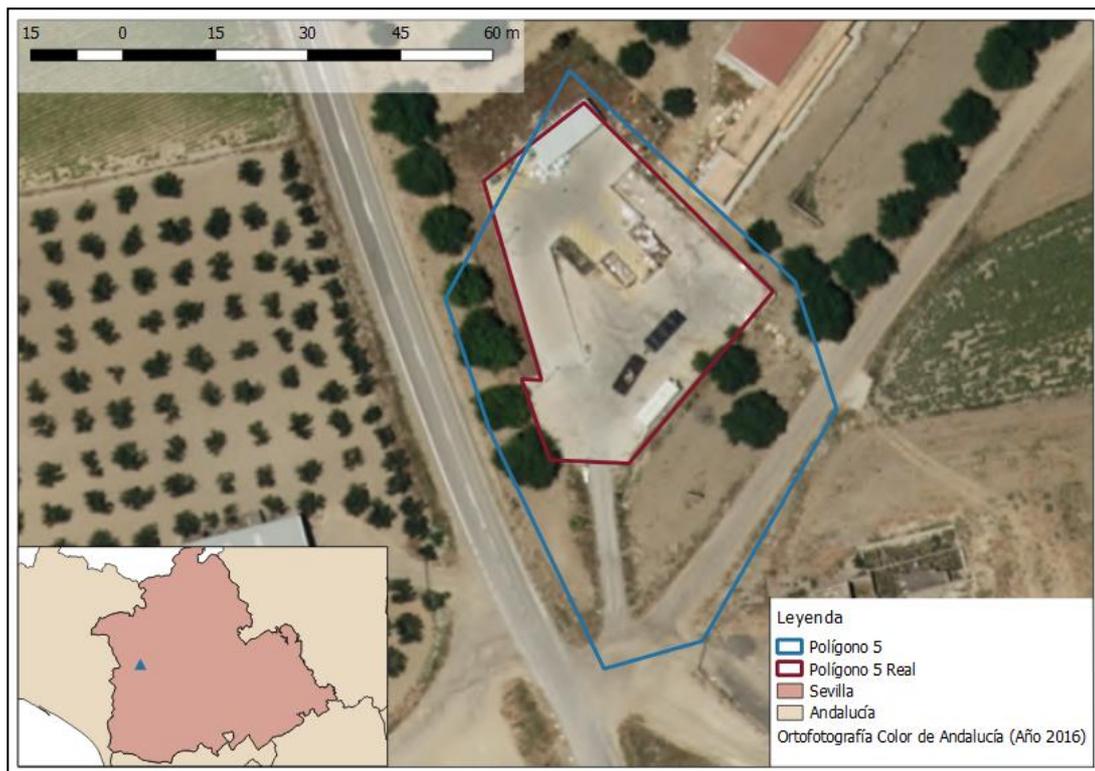


Figura 4.25. Polígono 5 contrastado sobre Ortofoto 2016



Figura 4.26. Polígono 6 contrastado sobre Ortofoto 2016

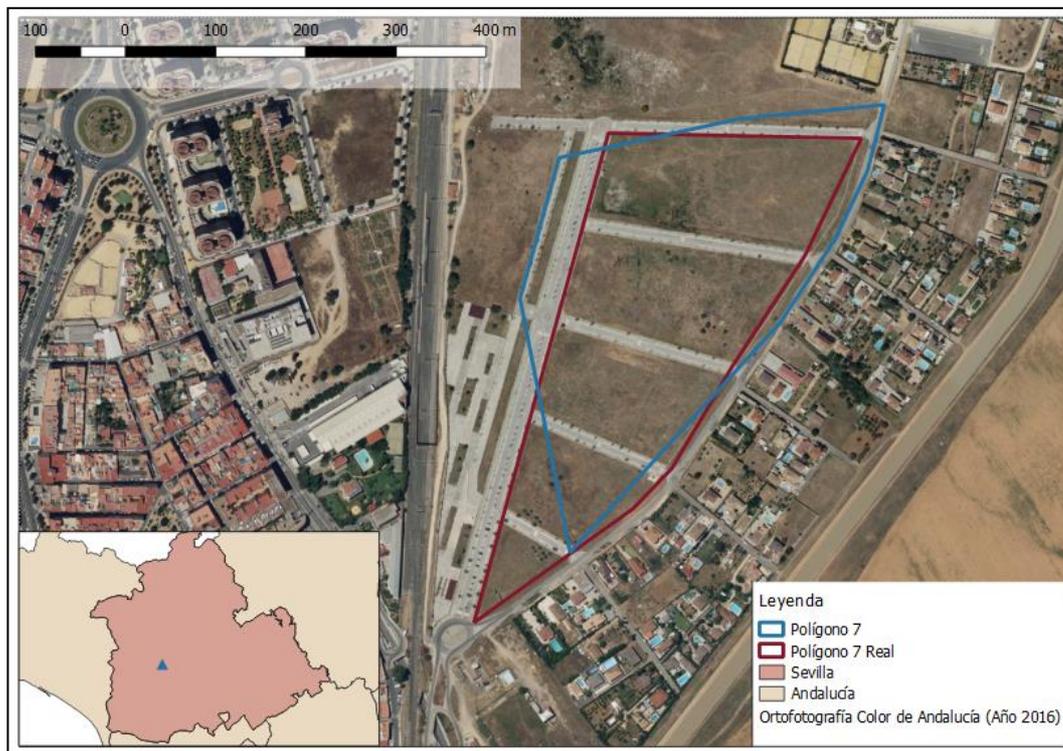


Figura 4.27. Polígono 7 contrastado sobre Ortofoto 2016

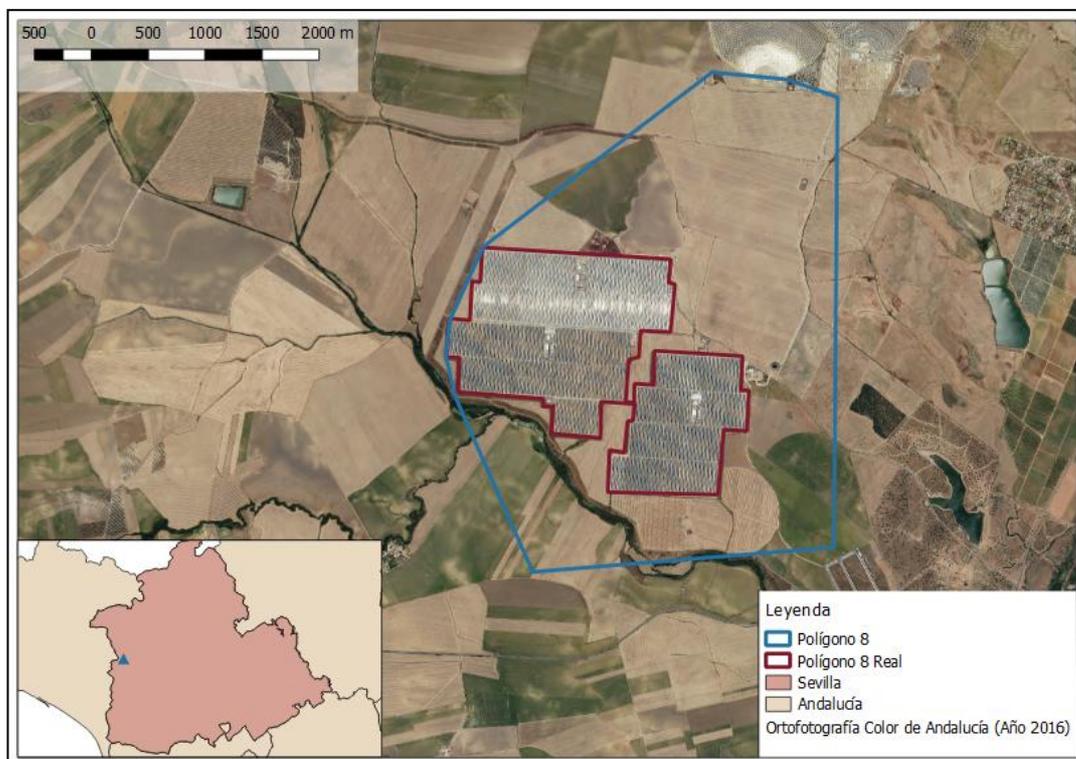


Figura 4.28. Polígono 8 contrastado sobre Ortofoto 2016

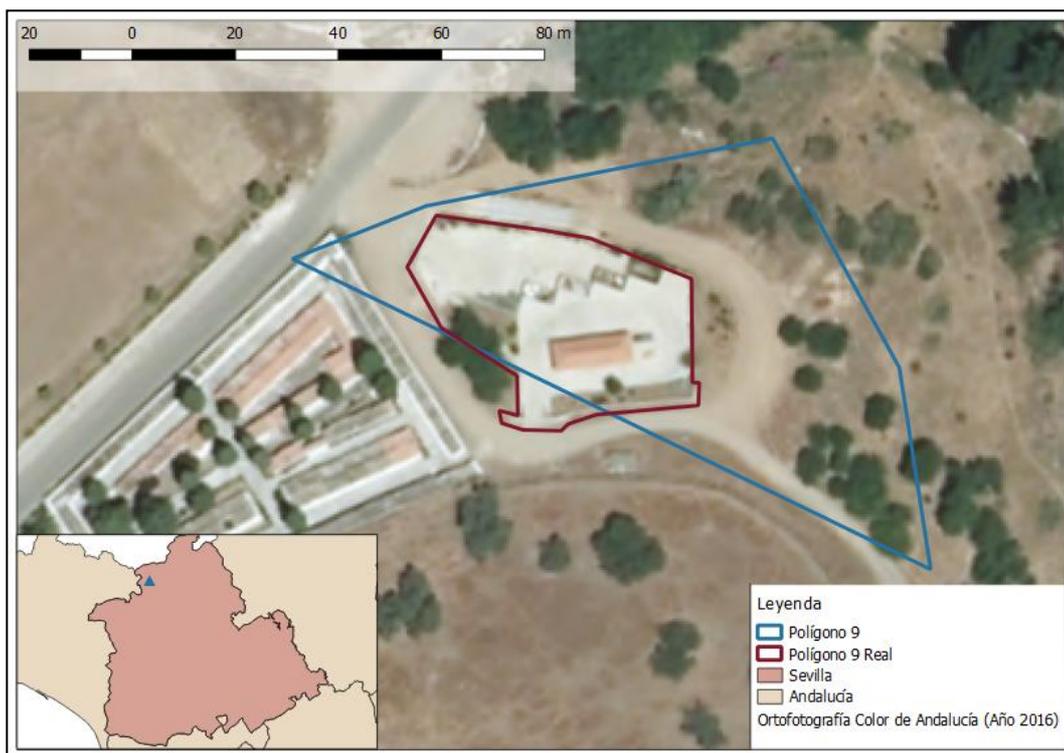


Figura 4.29. Polígono 9 contrastado sobre Ortofoto 2016



Figura 4.30. Polígono 10 contrastado sobre Ortofoto 2016

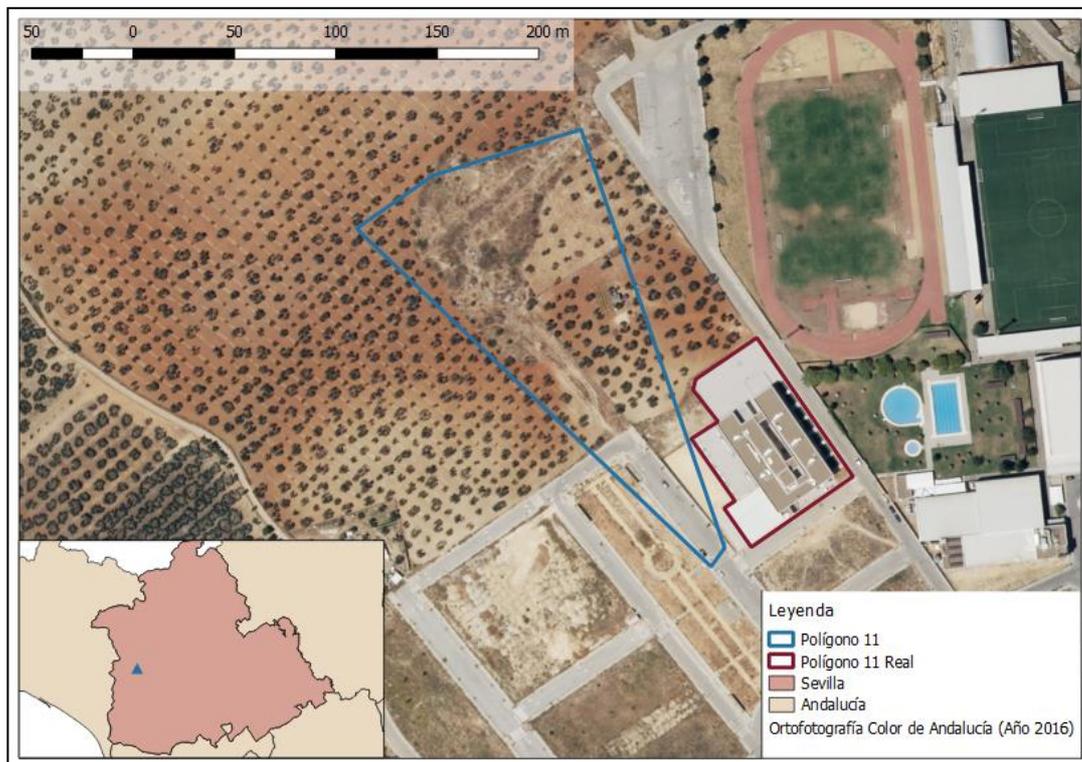


Figura 4.31. Polígono 11 contrastado sobre Ortofoto 2016

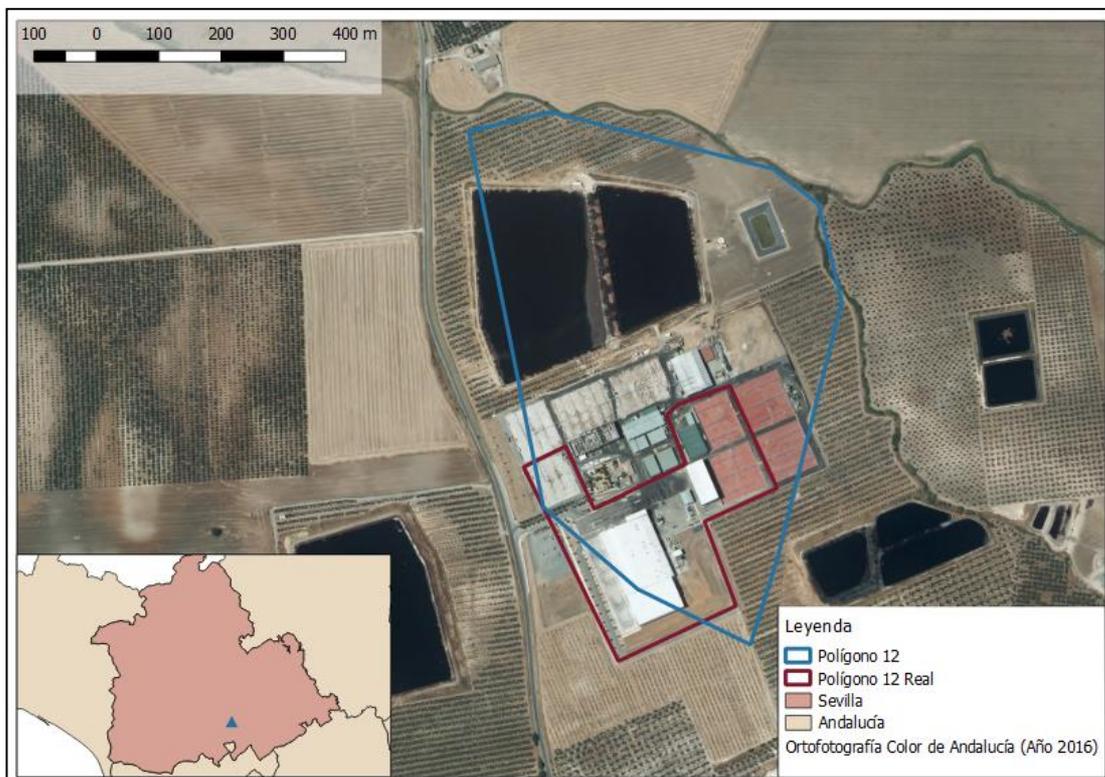


Figura 4.32. Polígono 12 contrastado sobre Ortofoto 2016

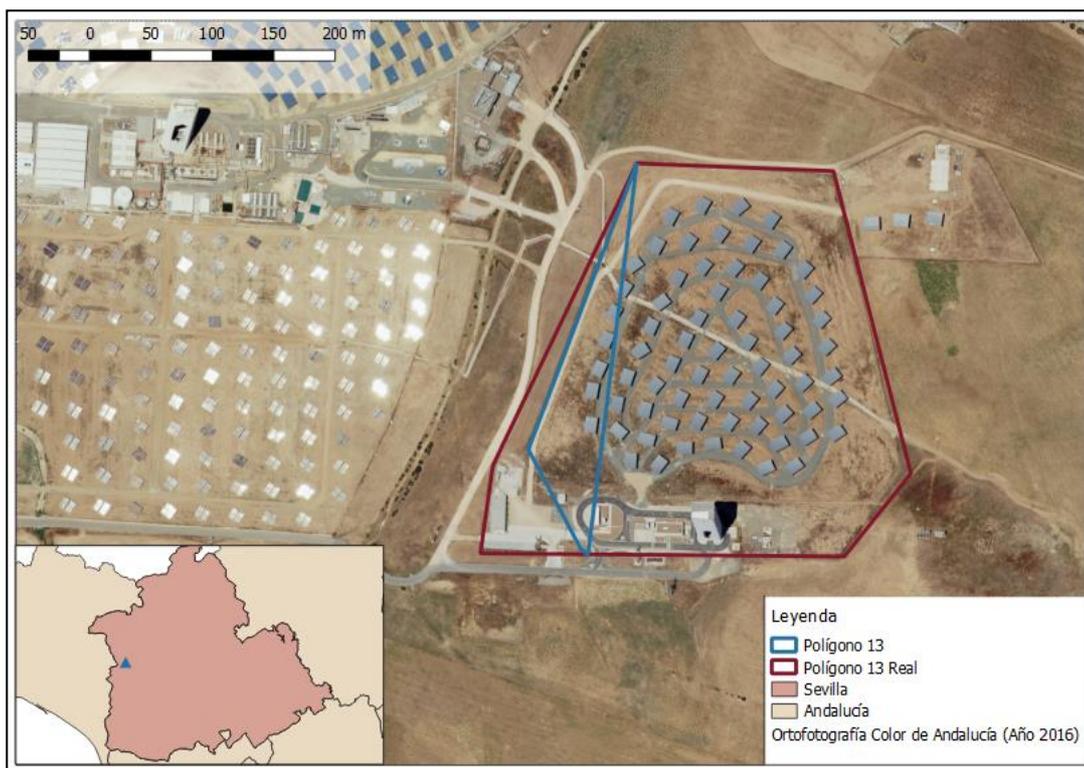


Figura 4.33. Polígono 13 contrastado sobre Ortofoto 2016

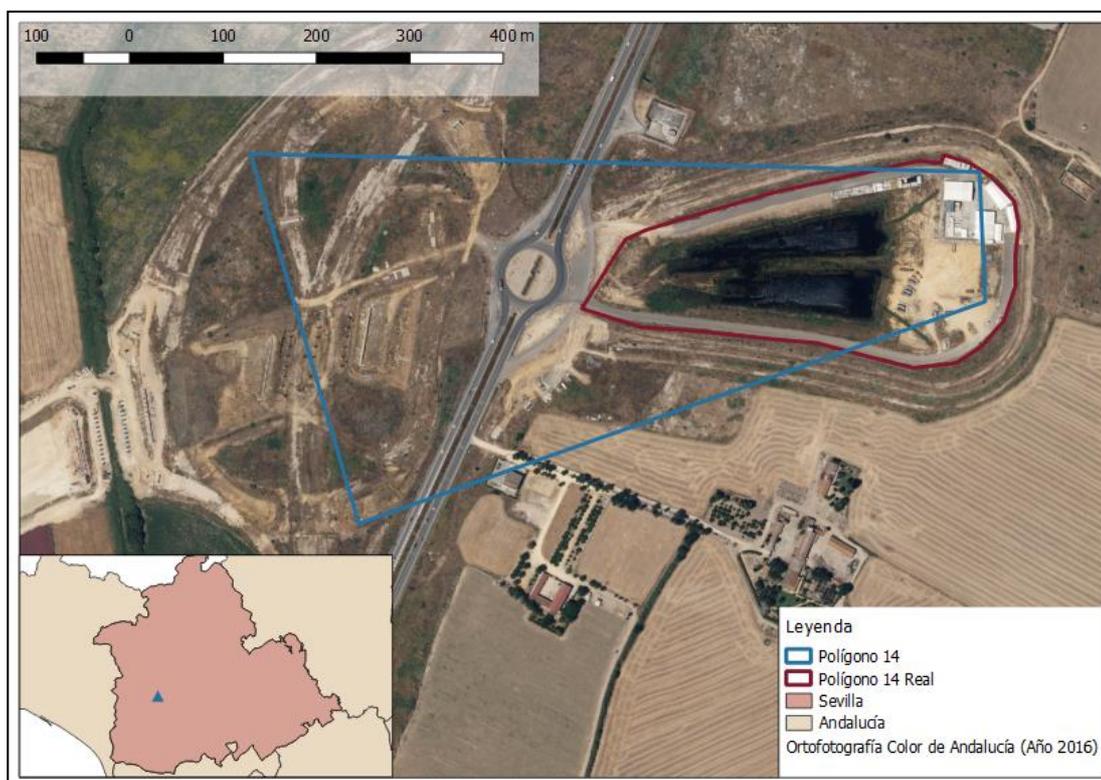


Figura 4.34. Polígono 14 contrastado sobre Ortofoto 2016

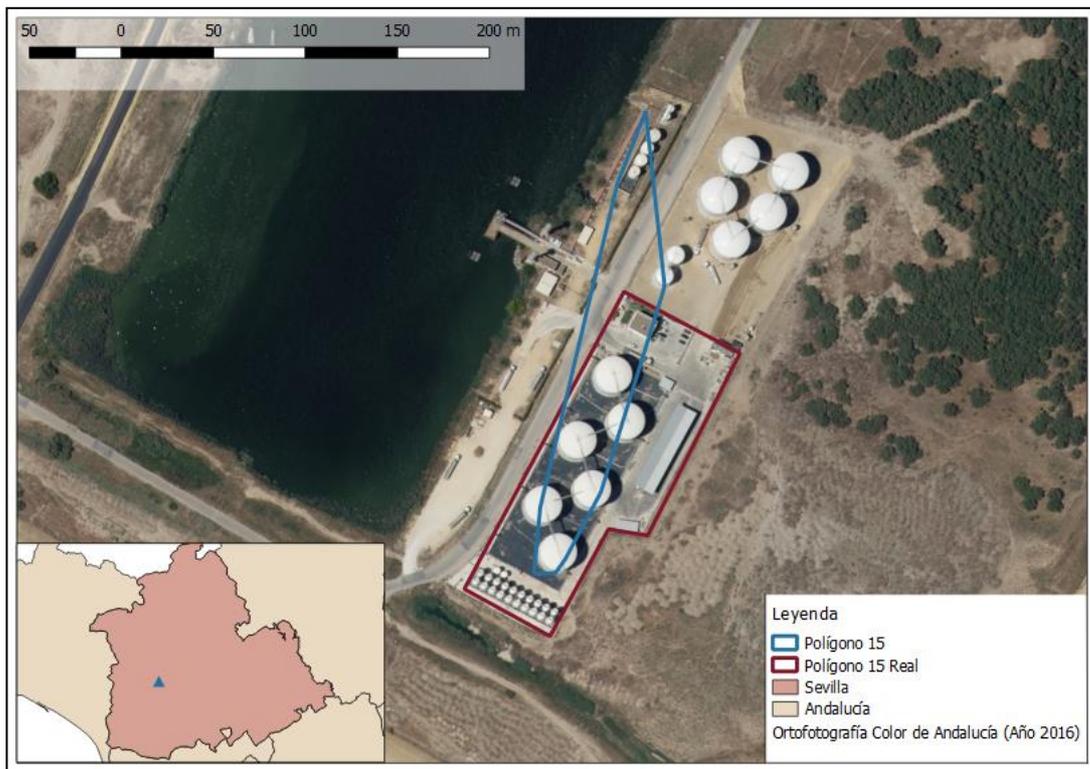


Figura 4.35. Polígono 15 contrastado sobre Ortofoto 2016

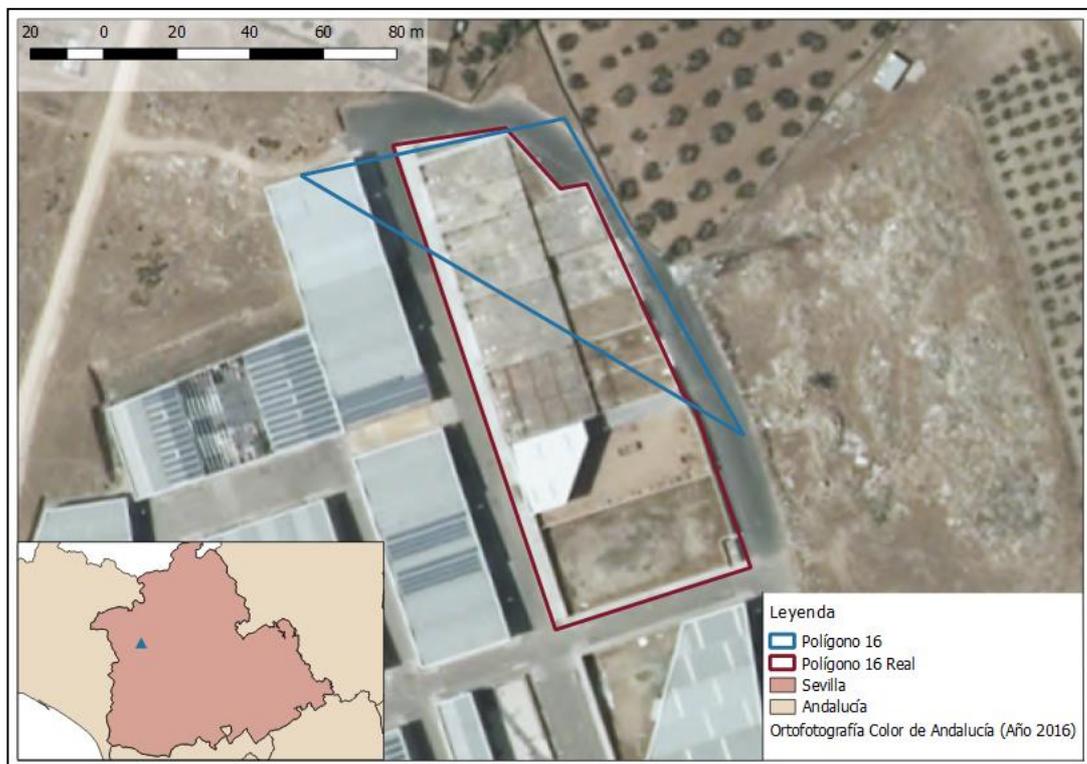


Figura 4.36. Polígono 16 contrastado sobre Ortofoto 2016

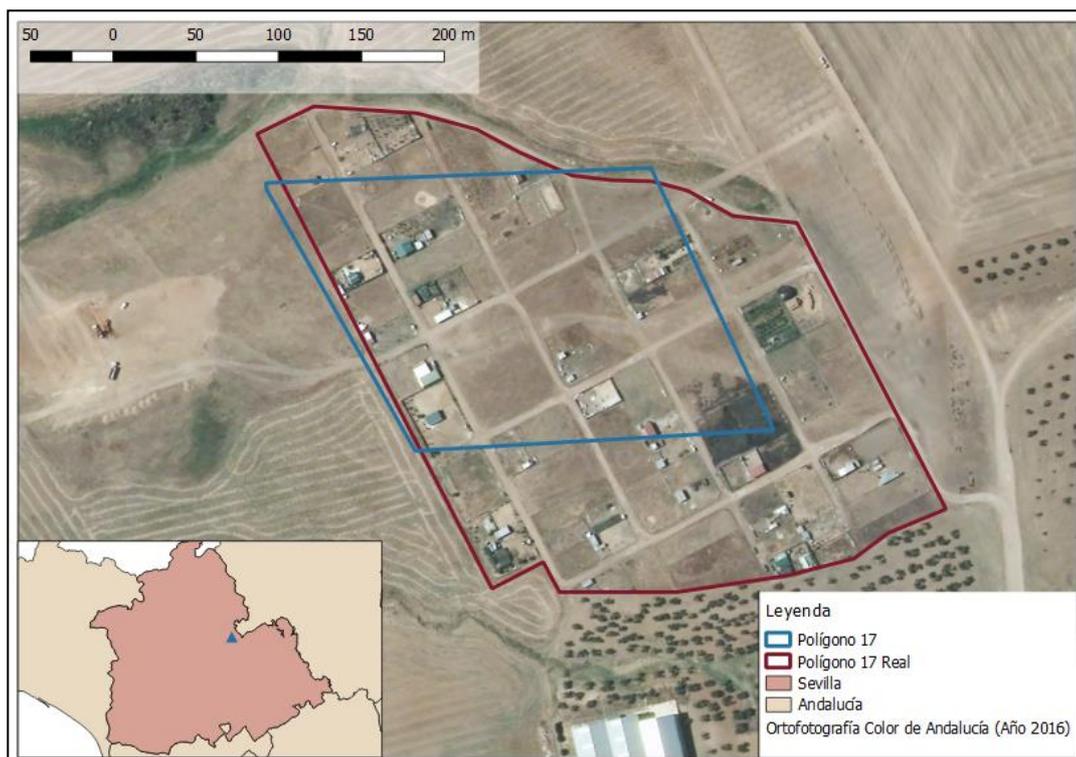


Figura 4.37. Polígono 17 contrastado sobre Ortofoto 2016

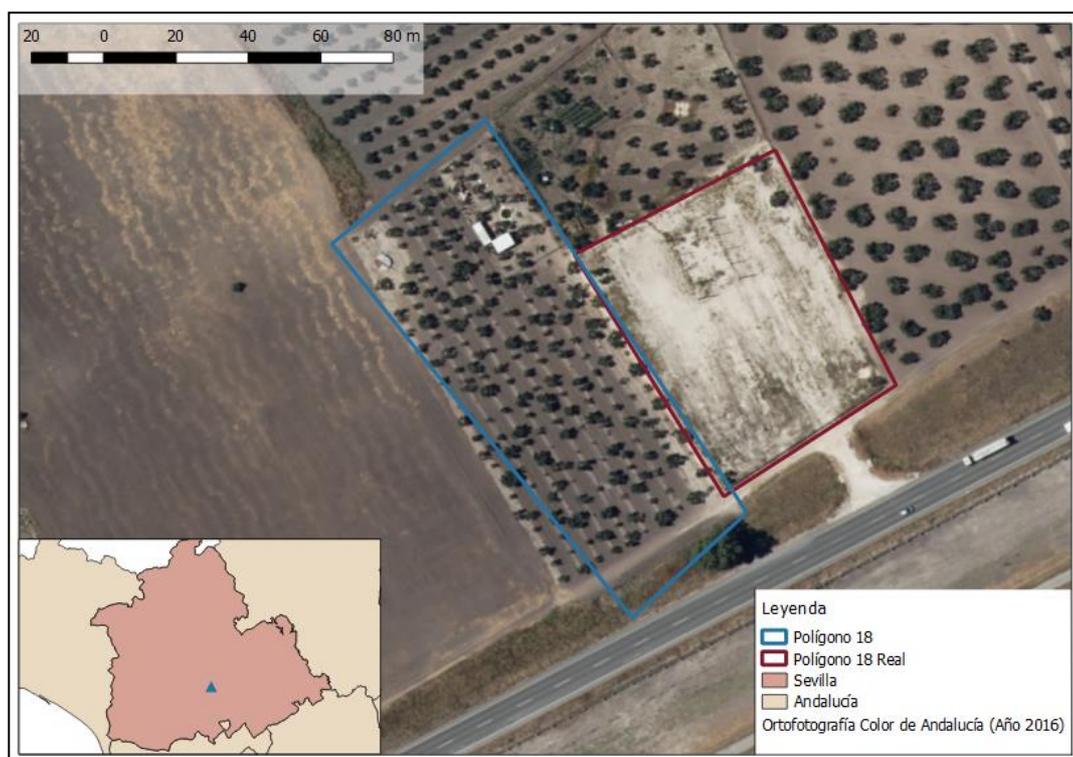


Figura 4.38. Polígono 18 contrastado sobre Ortofoto 2016

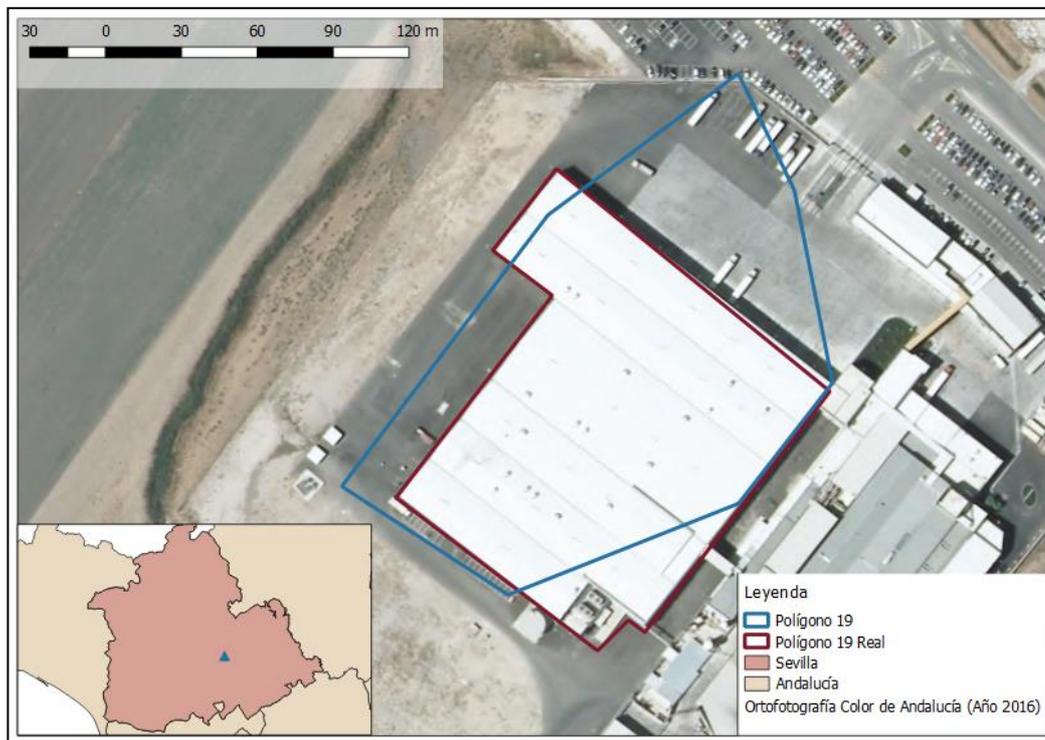


Figura 4.39. Polígono 19 contrastado sobre Ortofoto 2016

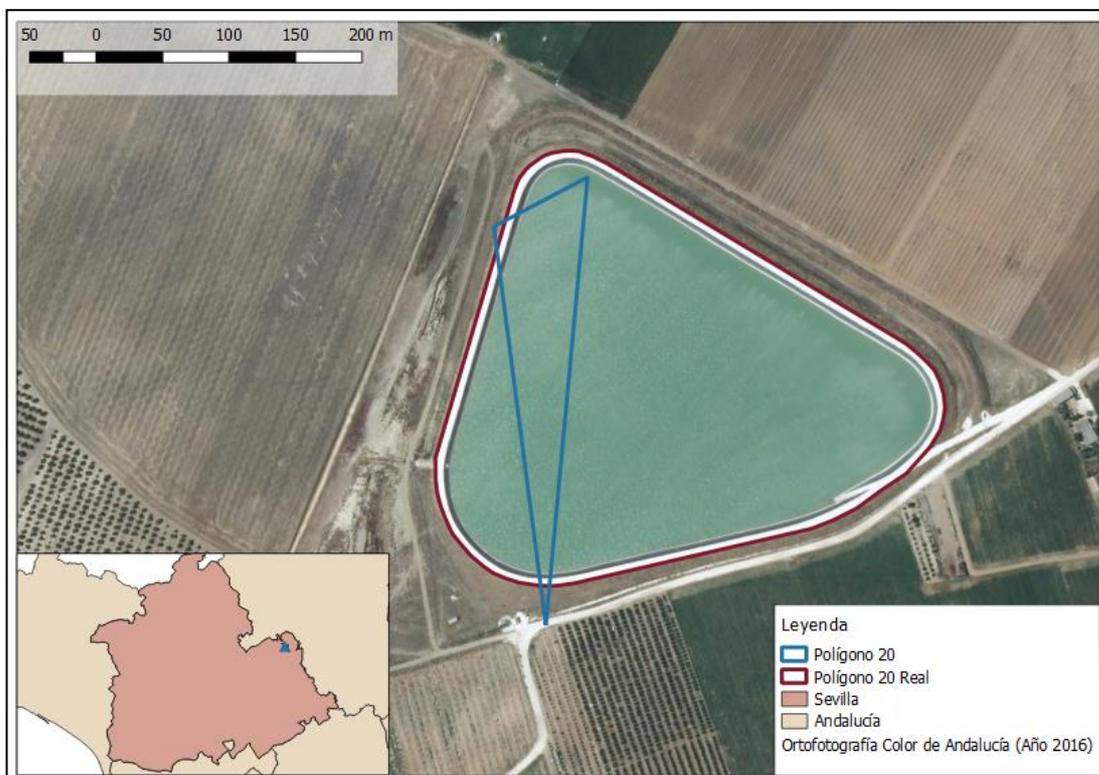


Figura 4.40. Polígono 20 contrastado sobre Ortofoto 2016

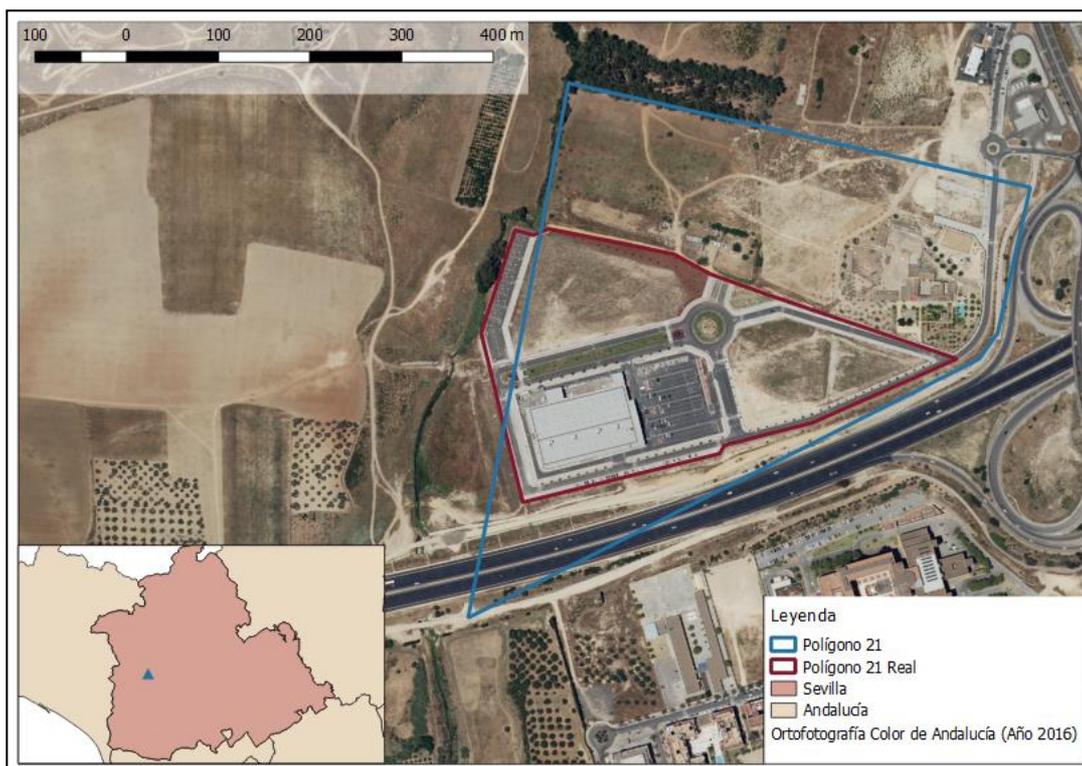


Figura 4.41. Polígono 21 contrastado sobre Ortofoto 2016

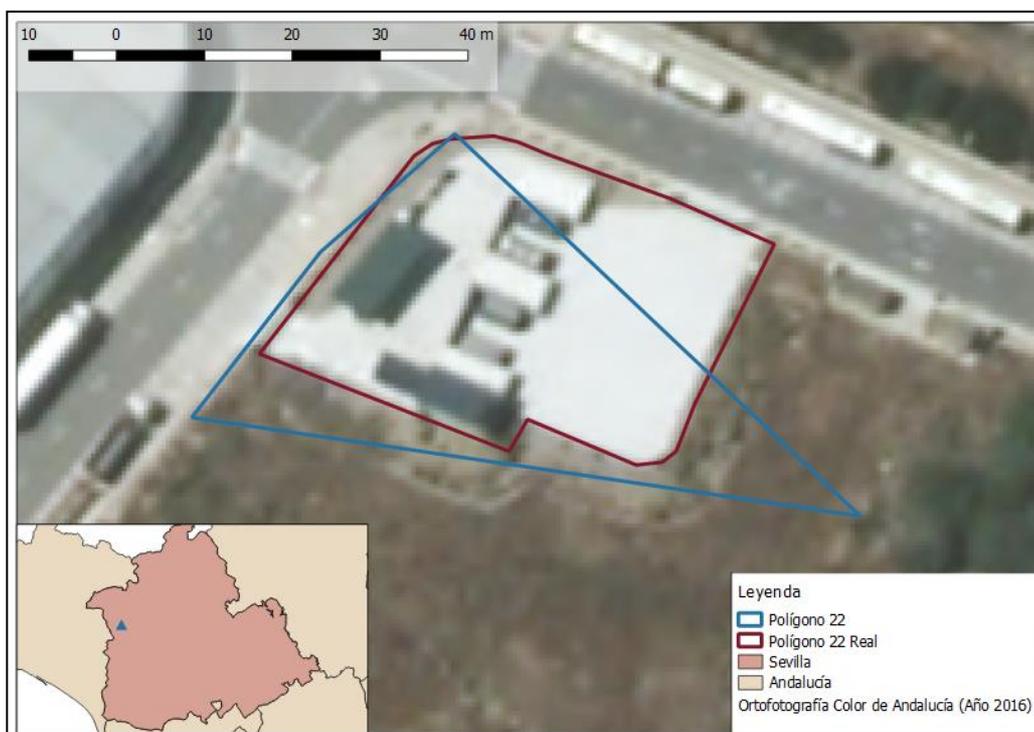


Figura 4.42. Polígono 22 contrastado sobre Ortofoto 2016

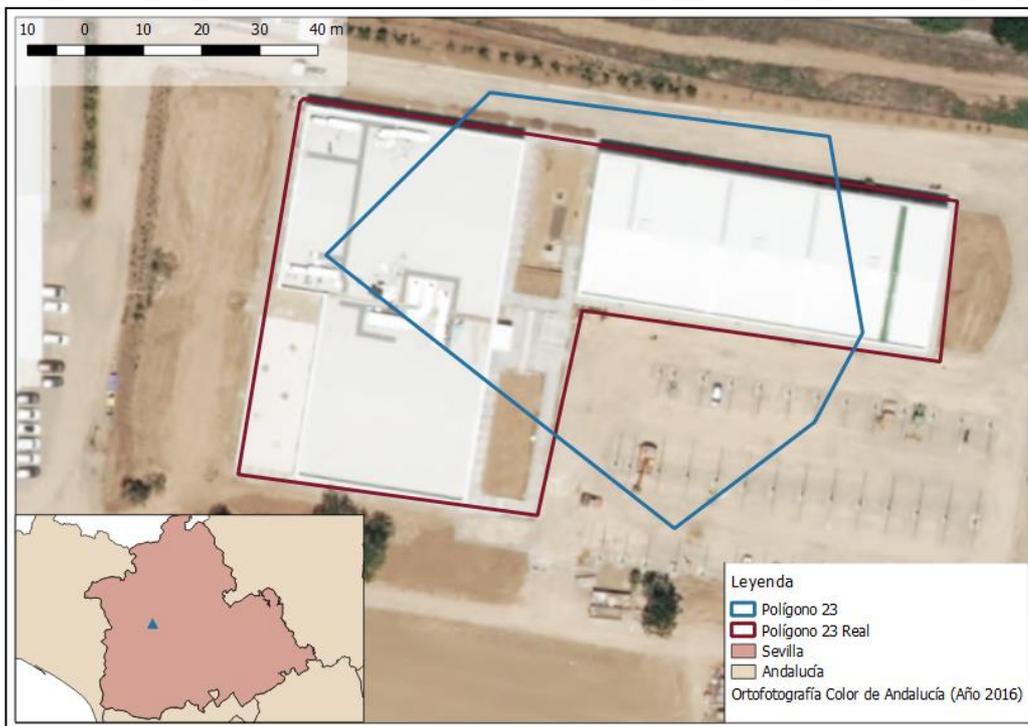


Figura 4.43. Polígono 23 contrastado sobre Ortofoto 2016



Figura 4.44. Polígono 24 contrastado sobre Ortofoto 2016

#### 4.2.1.2 Sentinel

Como se ha mencionado en el apartado de metodología, en el caso del análisis con Sentinel, se han contrastado los polígonos del año 2016 obtenidos en las provincias de Sevilla, Huelva y Córdoba. En el caso de Sevilla, continuando con el análisis de esta provincia como se ha hecho cada año, los polígonos resultantes son los mostrados en las Figuras 4.45 a 4.48.

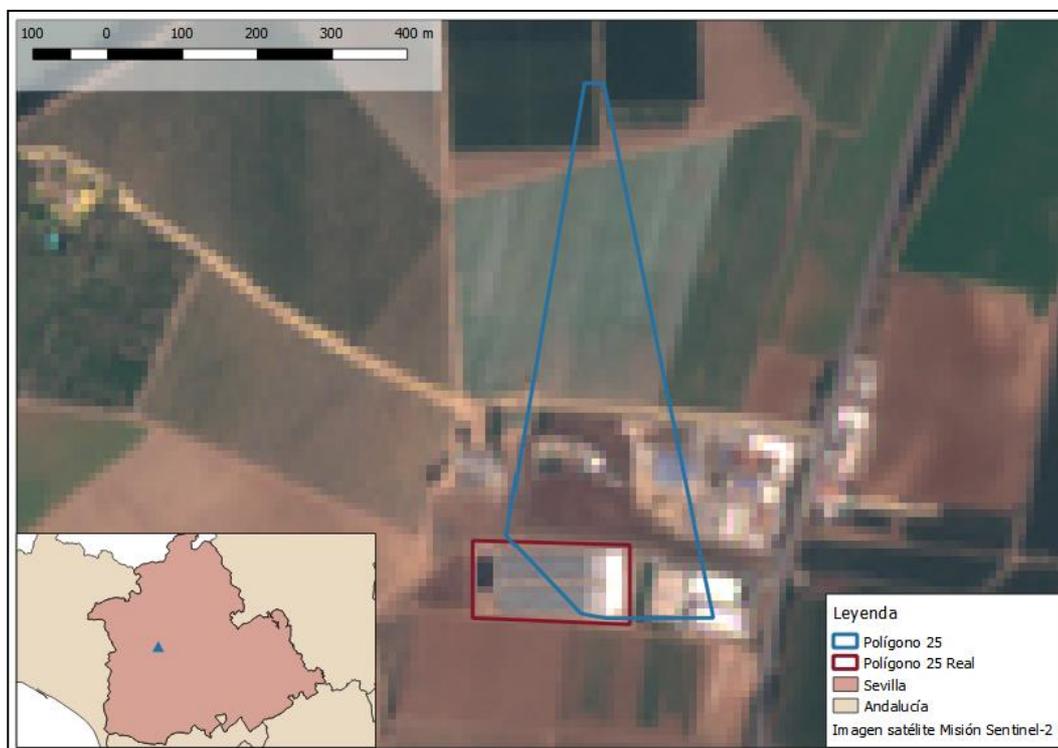


Figura 4.45. Polígono 25 contrastado sobre imagen Sentinel-2 fecha 21-07-2018

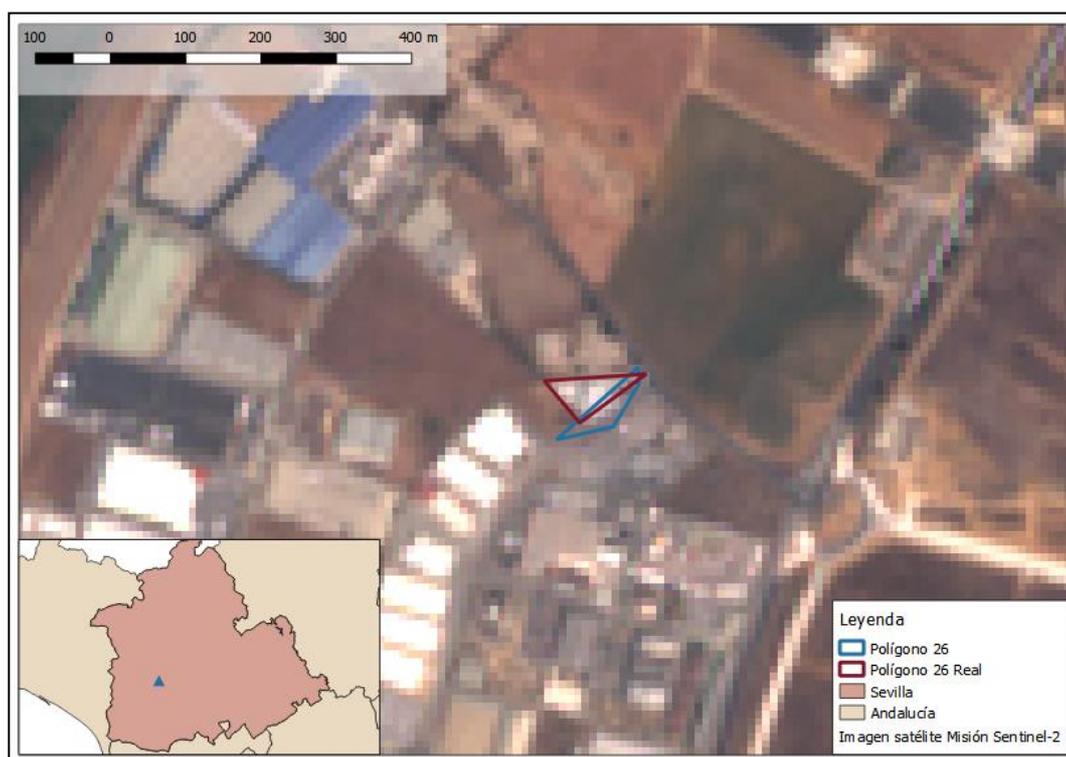


Figura 4.46. Polígono 26 contrastado sobre imagen Sentinel-2 fecha 21-07-2018



Figura 4.47. Polígono 27 contrastado sobre imagen Sentinel-2 fecha 21-07-2018

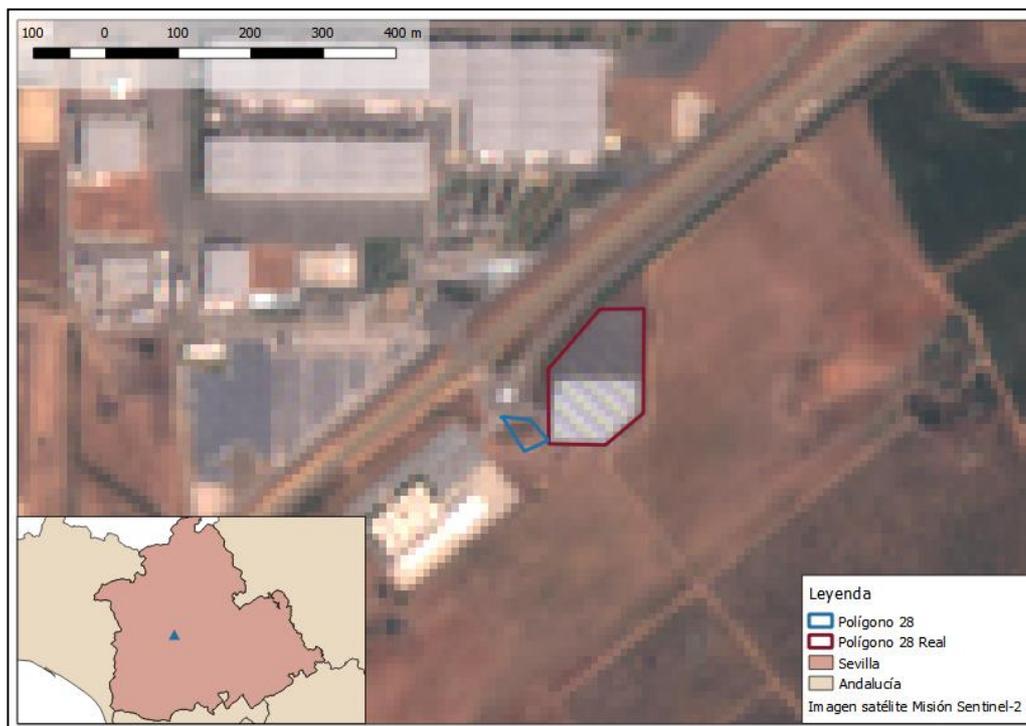


Figura 4.48. Polígono 28 contrastado sobre imagen Sentinel-2 fecha 21-07-2018

Tras analizar los polígonos obtenidos en la provincia de Sevilla, se ha tratado de avanzar más en el estudio con el empleo de Sentinel y se han analizado los pertenecientes a la provincia de Huelva. Sin embargo, de los 59 polígonos obtenidos, ninguno ha resultado ser una obra real, por lo que se ha procedido a analizar una nueva provincia.

Los siguientes polígonos contrastados han sido los de Córdoba, obteniéndose finalmente dos útiles de los 94 hallados en 2016, que se ven en las Figuras 4.49 y 4.50.

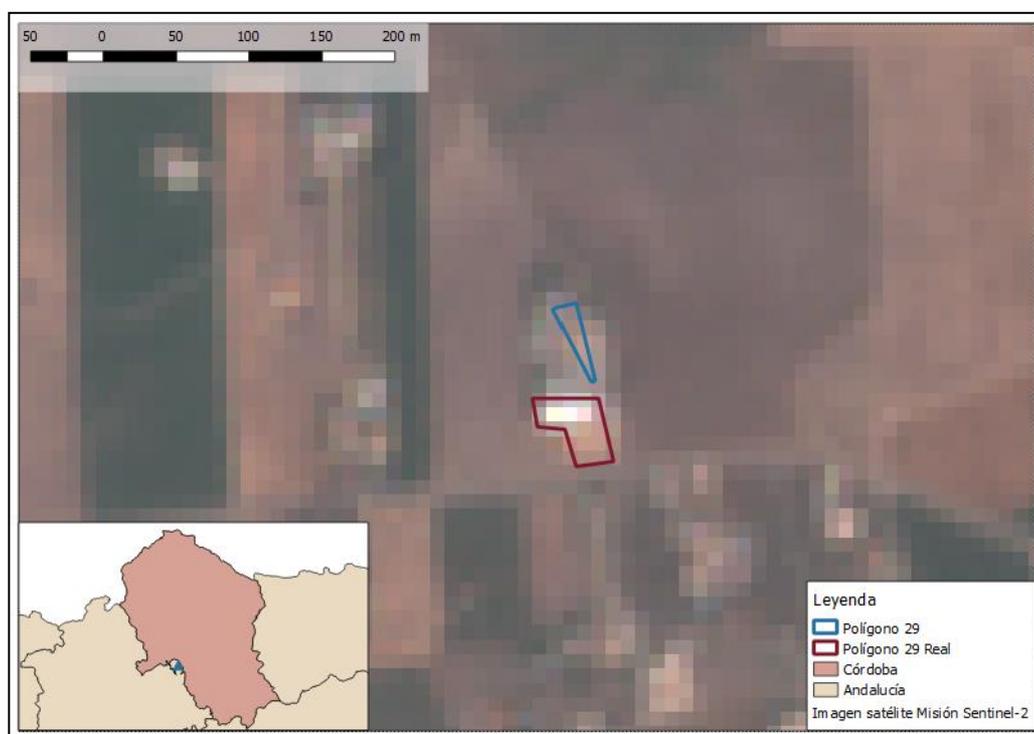


Figura 4.49. Polígono 29 contrastado sobre imagen Sentinel-2 fecha 01-08-2018

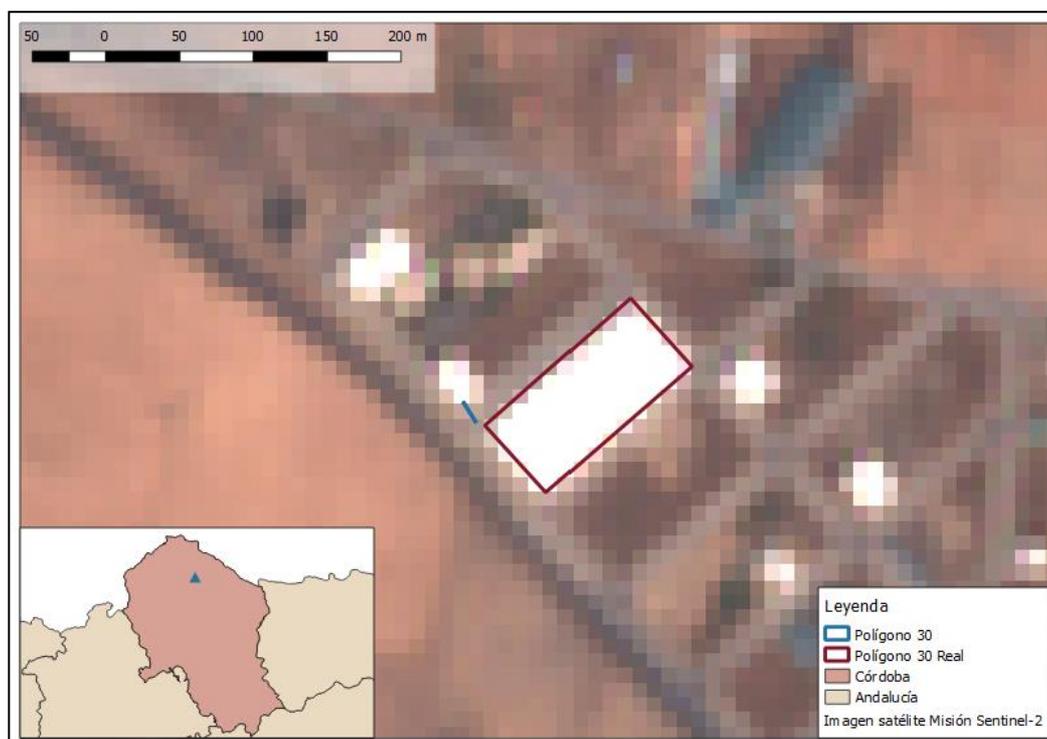


Figura 4.50. Polígono 30 contrastado sobre imagen Sentinel-2 fecha 01-08-2018

Debido a la calidad de las imágenes que ofrece Sentinel-2, que poseen una resolución de 10 m, se han tenido que descartar la mayor parte de los polígonos más pequeños, ya que su contrastación se hace muy compleja y no es posible determinar si realmente corresponden a construcciones debido a que el tamaño del pixel no permite diferenciar las distintas partes de la superficie en estudio. Esto provoca también que el establecimiento de la tipología de las obras de mayor tamaño sea una tarea complicada.

En la Tabla 4-5, al igual que con los polígonos contrastados con ortofotografías, se muestran los datos correspondientes a los polígonos hallados y reales tras la contrastación de los mismos mediante las imágenes que ofrece el servicio Sentinel. En dicha tabla pueden verse toda la información sobre ellos; el campo *id* es el identificador original de los polígonos calculados mediante el método de envolvente convexa, *Ident* el campo creado tras la unión de los campos latitud, longitud y compañía, *Políg* el número del polígono guardado, *Área* la superficie de los polígonos hallados, *Políg Real* el polígono real dibujado a partir de las imágenes satélite ofrecidas por el servicio Sentinel-2, *Área Real* la superficie de los polígonos reales, *Área Común* la superficie común de ambos tipos de polígonos y *%Acierto Área* el porcentaje de acierto de los polígonos calculados con la metodología realizada, que es una relación entre el área común y el área real, es decir el porcentaje que supone esta superficie común sobre el la construcción real.

Tabla 4-5. Polígonos resultantes y relación con los reales

Políg	id	Ident	Área [m <sup>2</sup> ]	Políg Real	Área Real [m <sup>2</sup> ]	Área Común [m <sup>2</sup> ]	% Acierto Área
25	196	37.5-650	108155,9443	23	22031	10719	48,65%
26	101	37.3-6358	3145,010681	24	4054	811	20,00%
27	104	37.3-6358	19969,60053	25	9670	6715	69,44%
28	136	37.4-5.9258	1549,270752	26	20663	0	0,00%
29	46	37.6-5196	530,665039	27	1615	0	0,00%
30	114	38.4-4.9132	0,935547	28	8142	0	0,00%

A modo de resumen, se analiza el porcentaje de acierto de los polígonos obtenidos, siendo éste el porcentaje de polígonos que implican obras poligonales y, por lo tanto, los cambios reales en el terreno. Esto puede verse en la Tabla 4-6 que se incluye a continuación.

Tabla 4-6. Porcentaje de acierto de polígonos

Año	Provincia	Polígonos	Obras poligonales	Porcentaje acierto
2008	Sevilla	64	2	3,13%
2009	Sevilla	137	7	5,11%
2010	Sevilla	172	2	1,16%
2011	Sevilla	189	4	2,12%
2012	Sevilla	105	3	2,86%
2013	Sevilla	120	1	0,83%
2014	Sevilla	88	3	3,41%
2015	Sevilla	186	2	1,08%
2016	Sevilla	164	4	2,44%
2016	Huelva	59	0	0,00%
2016	Córdoba	94	2	2,13%
<b>Total analizado</b>		<b>1378</b>	<b>30</b>	<b>2,18%</b>

#### 4.2.2 Análisis temporal de los cambios

En relación a la Tabla 4-7, cabe hacer varios comentarios. En primer lugar, hay conexiones registradas cuyo año de primer cambio detectado no coincide con el año en el que se observa completamente finalizada la obra correspondiente. Esto es debido a que, o bien se ha concluido la obra en años posteriores, o ha sido terminada ese mismo año, pero meses después de la toma de la fotografía en la que aparece el primer cambio.

Tabla 4-7. Fecha de conexión y primer cambio detectado

Polígono	Fecha de conexión	Fecha primer cambio
1	2008	2008-09
2	2008	2008-09
3	2014	2016
4	2009	2013
5	2009	2010-11
6	2009	2010-11
7	2009	2010-11
8	2009	2008-09
9	2009	2010-11
10	2010	2010-11
11	2010	2013
12	2011	2013
13	2011	2013
14	2011	2010-11
15	2011	2013
16	2012	2013
17	2012	2013
18	2012	2013
19	2013	2013
20	2014	2016
21	2009	2010-11
22	2014	2016
23	2015	2016
24	2015	2016
25	2016	2016
26	2016	2016
27	2016	Septiembre 2017
28	2016	Julio 2016
29	2016	Noviembre 2017
30	2016	Abril 2017

El polígono 5 fue tomado en 2009 y los primeros cambios detectados en el terreno se encuentran en la ortofotografía de 2008-09. Sin embargo, la obra en sí identificada se observa en la de 2013.

Los polígonos 1 y 8, correspondientes a la misma obra (planta solar), tienen el primer cambio en la ortofoto de 2008-09 y aparece concluida en la de 2010-11.

Con el 14 ocurre lo mismo, su primer cambio fue detectado en 2010-11 y aparece terminado en 2013.

En el caso del polígono 16, aparece detectado el primer cambio en el año 2013, aunque hay indicios de obras en ese mismo lugar desde años anteriores a la toma de conexión de los puntos. Estos cambios anteriores no aparecen en otros polígonos, lo que quiere decir que no han sido registrados en conexiones de otros años de la RAP. La obra finalizada aparece en la ortofotografía de 2016.

La obra correspondiente al polígono 19 se ve reflejada en la ortofoto de 2013 por primera vez y aparece finalizada en la de 2016.

Los polígonos 23 y 25 están registrados con el primer cambio en 2016 pero se concluye posteriormente a la fecha de vuelo del PNOA, ya que en los puntos analizados en 2016 todavía sigue habiendo conexiones tomadas en la zona.

En el caso del polígono 26, a pesar de haber sido analizado con Sentinel, el primer cambio se detecta con la ortofoto del año de toma de conexión (2016), pero se concluye más adelante.

A continuación, se incluye un resumen de lo comentado anteriormente, en el que se muestran las obras cuyo inicio de construcción se muestra en la ortofoto de un año y se encuentra finalizada en otro año diferente (ver Tabla 4-8). El resto de obras que no aparecen en esta tabla, comienzan y concluyen en el mismo año.

Tabla 4-8. Análisis del año de la Ortofoto de primer cambio y la de de conclusión de obra

Polígono	Año de Orto de primer cambio	Año de Orto con obra finalizada
1	2008-09	2010-11
5	2009	2013
8	2008-09	2010-11
14	2010-11	2013
16	2013	2016
19	2013	2016
23	2016	Posterior a 2016
25	2016	Posterior a 2016
26	2016	Posterior a 2016

Otra de las cosas que se observan es que, como el caso del polígono 18, es posible que se hayan tomado puntos de medición de parcela y que el cambio localizado al analizarlo sea independiente de esta medición, por lo que no estaría registrado en las conexiones de la RAP. Esto nos hace preguntarnos qué ha ocurrido con los cambios en el terreno no registrados.

### 4.2.3 Almacenamiento de datos

En vista a los resultados obtenidos, se han almacenado todos los datos que ofrecen información sobre los cambios en el terreno acontecidos durante los años en estudio. Se ha creado un nuevo campo con la tipología de los polígonos guardados y se ha establecido una relación entre éstos y los puntos originales procedentes de la RAP, contabilizando así el número de puntos que corresponde a cada elemento del campo Ident, es decir, el número de puntos que existe antes de realizar el paso de partes sencilla a multiparte (ver Tabla 4-9).

A diferencia del resultado obtenido de los polígonos, que han sido obtenidos mediante la realización de una envolvente convexa, al analizar los puntos originarios que han posibilitado establecer un polígono y poder contrastarlo con las ortofotografías y las imágenes de satélite empleadas, se puede ver en algunas de ellas un mayor acierto y exactitud de los mismos en la obra real analizada. A modo de ejemplo, se expone el caso de los polígonos 1 (id 56) y 8 (id 144), ambos pertenecientes a la misma obra, cuya cantidad de puntos original es de 690 y 1490, respectivamente (ver Figuras 4.51 y 4.52).



Figura 4.51. Puntos originales del polígono 1



Figura 4.52. Puntos originales del polígono 8

El hecho de analizar las envolventes convexas tras hacer la conversión de partes sencillas a multiparte es, como se ha comentado anteriormente, por comodidad y sencillez en el análisis, ya que así se tiene un único polígono que envuelve a todos estos puntos y supone un ahorro de tiempo considerable a la hora de analizar todos los casos pertinentes, por lo que la localización de los mismos y su posterior contrastación con las imágenes necesarias es más intuitiva y eficaz.

Con ello se consigue tener un listado de todas las conexiones realizadas entre los años 2008 y 2016 en la provincia de Sevilla y, en este último año, también en la provincia de Córdoba, clasificando las que sean útiles y las que no lo son. De este modo, el listado obtenido puede usarse en posibles futuros estudios en los que se trate de predecir los cambios en el terreno mediante aplicación de patrones a incluir en un futuro estudio de Machine Learning.

Tabla 4-9. Tipología y número de puntos asociados a cada obra

Polígono	Tipología	Obra	Número de puntos
1	Enerética	Planta solar	699
2	Urbana	Proyecto de urbanización	12
3	Hidráulica	Balsa	8
4	Urbana	Colegio	3
5	Urbana	Solar	28
6	Energética	Aerogenerador	10
7	Urbana	Proyecto de urbanización	26
8	Energética	Planta solar	1490
9	Urbana	Finca	11
10	No identificado	No identificado	3
11	Urbana	Colegio	13
12	Urbana	Polígono agrario/industrial	34
13	Energética	Planta solar	4
14	No identificado	No identificado	15
15	Hidráulica	Terminal de líquidos	28
16	Urbana	Almacén/fábrica	3
17	Urbana	Proyecto de urbanización	8
18	Urbana	Solar	6
19	Urbana	Almacén	32
20	Hidráulica	Balsa	4
21	Urbana	Zona de almacenaje	10
22	Urbana	Almacenes/fábrica	6
23	Urbana	Centro tecnológico	11
24	No identificado	No identificado	19
25	Urbana	Centro tecnológico	10
26	Urbana	Gasolinera	7
27	Urbana	Aparcamientos	11
28	Urbana	Aparcamientos	11
29	Urbana	Finca	18
30	No identificado	No identificado	3

Como puede observarse en la Tabla 4-9, se han categorizado los polígonos identificados en tres tipologías principales: urbana, hidráulica y energética. Como urbana se incluye cualquier construcción urbana o rústica, bien sean urbanizaciones o instalaciones de cualquier tipo que se incluyan dentro de estas categorías. Como hidráulica se incluye cualquier tipo de obra hidráulica o sanitaria, y como energética a toda obra destinada a la producción o transformación de la energía. Hay algunos polígonos que no han podido ser reconocidos en su tipología correspondiente, a los que se les ha asignado ‘No identificado’. Se incluye una tabla resumen con el número de las obras a las que se ha establecido cada tipología (ver Tabla 4-10).

Tabla 4-10. Número de obras asociadas a cada tipología

Tipología	Número de obras
Energética	4
Urbana	19
Hidráulica	3
No identificado	4

Además, a cada polígono se le ha asociado la obra que representa. Hay algunos caracterizados como 'Proyecto de urbanización', pues se trata de zonas en las que se ha realizado la medición topográfica y se ha comenzado a replantar la obra, pero sólo se muestran construidos los pavimentos viales y la delimitación de posibles construcciones que nunca llegaron a concluirse.



# 5 CONCLUSIONES

---

Este proyecto pretendía ver la validez de las conexiones de la RAP para ser usadas como identificadoras de grandes obras poligonales. El limpiado de puntos, la transformación en polígonos y su verificación en la provincia de Sevilla para cada año y en las provincias de Huelva y Córdoba en el año 2016, han derivado en las siguientes conclusiones:

- Derivadas de la generación de los polígonos:
  - Se han obtenido muchos polígonos debido a la gran cantidad de puntos tomados, lo que conlleva a que la mayor parte de ellos no ofrezcan ningún tipo de cambio. Algunos ofrecen cambios, pero Sentinel no los detecta porque son pequeños, por lo que al utilizar Sentinel para analizar los posibles cambios, nos interesan las obras más grandes.
  - El método empleado es más útil para obras lineales que para obras poligonales, aun así, Sentinel ofrece una gran ayuda para la visualización de estas obras poligonales, sobre todo para conocer la continuidad de dichas obras y las zonas más propensas a sufrir cambios en el terreno, y así predecir los posibles cambios futuros.
  - En vista del tamaño y forma de los polígonos obtenidos, se observa que hacen falta más conexiones para delimitar completamente las obras. En el caso de polígonos más pequeños que los reales, es posible que los puntos que faltan para definir perfectamente los polígonos se hayan tomado en varias fases.
  - En el caso de los polígonos más grandes que la obra en cuestión, se deben a uniones de obras muy próximas en la misma zona de estudio en las que haya tomado conexión el mismo usuario.
  - La falta de conexiones también provoca que, en el caso de obras con formas más complejas, los polígonos obtenidos de unir los puntos de la RAP proporcionen polígonos más simples. Estos polígonos más simples, en algunos casos, son producto de la realización de la envolvente de los puntos, aunque, por lo general no suelen coincidir las conexiones con la delimitación real de la obra.
  - Una de las causas de que no estén bien delimitados los polígonos es debido a que, a pesar de haberse tomado bien los puntos por el usuario, éstos no hayan sido registrados en la RAP porque no hayan conectado con GPS o conectasen directamente con el IGN.
  - En base a los polígonos detectados que no provienen de polígonos obtenidos a partir de las conexiones de la RAP, sería interesante ver las posibles obras o cambios en el terreno que no están registradas en la Red Andaluza. Esto supondría realizar el estudio inverso al realizado en este trabajo; se trataría de detectar cambios en el terreno a partir del empleo de Sentinel y contrastación de datos obtenidos del DERA y DEA100, y estudiar las obras que no hayan sido registradas en las aglomeraciones urbanas y las lindes de éstas.
- De la verificación de datos:
  - Es necesario el empleo de Ortofotografías y Sentinel para contrastar los polígonos, ya que hay muchos puntos, pero no todos son cambios reales en el terreno, y estas imágenes sirven como ayuda y apoyo para testear los puntos de las obras que se han captado.
  - Hay obras que presentan una continuidad, habiendo sido realizadas en varios años y cuya toma de conexión se hace en varias fases. Este es el caso de las obras de mayor tamaño, ya

que las obras más pequeñas suelen tener toma de conexiones en una misma fecha y su realización tiene lugar en los meses próximos.

- Como mejora para una efectiva verificación de los datos, se plantea intentar acceder a los puntos debido a la falta de los mismos en las obras localizadas; cada 5 minutos se puede ver dónde se encuentra el usuario.
  - Es una buena forma de localizar zonas propensas a realización de obras con el establecimiento de puntos calientes a partir de los datos analizados.
- En general:
- Tras la realización del método empleado se concluye que tan sólo un 2,18% de los polígonos obtenidos y analizados resultan ser polígonos útiles que impliquen cambios en el terreno, obras reales.
  - Se ofrece un archivo en formato shape con todas las conexiones de partida, a las que se les ha determinado si son conexiones útiles o no, de modo que puede ser empleado como patrón de inicio para su futura aplicación en Machine Learning.

# ANEXO I. FILTRADO DE CONEXIONES

---

El objetivo de este código Python (LimpiezaConexiones.py) es realizar un filtrado de las conexiones de modo que se reduzca el número de puntos, eliminando así aquéllos que no ofrezcan información útil y facilitando el futuro análisis de los mismos.

```
##LimpiezaConexiones=name
##nucleospol=vector
##asentamientos=vector
##conexiones=vector
##provincias=vector
##puntoslimp=output vector
##puntoslimpsevilla=output vector
outputs_QGISUNION_1=processing.runalg('qgis:union', asentamientos,nucleospol,None)
outputs_QGISFIXEDDISTANCEBUFFER_1=processing.runalg('qgis:fixeddistancebuffer',
outputs_QGISUNION_1['OUTPUT'],1000.0,5.0,False,None)
outputs_QGISEXTRACTBYLOCATION_1=processing.runalg('qgis:extractbylocation',
conexiones,outputs_QGISFIXEDDISTANCEBUFFER_1['OUTPUT'],['within'],0.0,None)
outputs_QGISFIXEDDISTANCEBUFFER_2=processing.runalg('qgis:fixeddistancebuffer',
outputs_QGISEXTRACTBYLOCATION_1['OUTPUT'],1000.0,5.0,False,None)
outputs_QGISCOUNTPOINTSINPOLYGON_1=processing.runalg('qgis:countpointsinpolygon',
outputs_QGISFIXEDDISTANCEBUFFER_2['OUTPUT'],outputs_QGISEXTRACTBYLOCATION_1['OU
TPUT'],'NUMPOINTS',None)
outputs_QGISEXTRACTBYEXPRESSION_1=processing.runalg('qgis:extractbyexpression',
outputs_QGISCOUNTPOINTSINPOLYGON_1['OUTPUT'],'NUMPOINTS=1',None)
outputs_QGISEXTRACTBYLOCATION_2=processing.runalg('qgis:extractbylocation',
outputs_QGISEXTRACTBYLOCATION_1['OUTPUT'],outputs_QGISEXTRACTBYEXPRESSION_1['OU
TPUT'],['disjoint'],0.0,None)
outputs_QGISFIELDCALCULATOR_1=processing.runalg('qgis:fieldcalculator',
outputs_QGISEXTRACTBYLOCATION_2['OUTPUT'],'CompDate',2,50.0,3.0,True,'concat("Comp", "Fecha
_ini")',puntoslimp)
outputs_QGISCLIP_1=processing.runalg('qgis:clip',
outputs_QGISFIELDCALCULATOR_1['OUTPUT_LAYER'],provincias,puntoslimpsevilla)
```



# REFERENCIAS

---

- Páez R, Torrecillas C, Barbero I, Berrocoso M (2017) Regional positioning services as economic and construction activity indicators: the case study of Andalusian Positioning Network (Southern Spain). *Geocarto Int* 32:44–58. doi: 10.1080/10106049.2015.1120358
- Redondo Redondo M, Páez Jiménez R, Torrecillas Lozano C (2007) La red andaluza de posicionamiento (RAP). In: *Información espacial y nuevas tendencias en las tecnologías de la información geográfica (TIGs)*. Granada : Editorial Universidad de Granada, 2007, pp 283–294
- Ruiz Casana E (2017) Control de crecimiento urbano a través de servicios de posicionamiento regionales. Trabajo Fin de Grado. Tutoras: Cristina Torrecillas Lozano, M<sup>a</sup> Dolores Noguero Hernández. El autor], Sevilla
- Sánchez Fernández P (2017) Control de seguimiento de obras lineales a través de los servicios de posicionamiento regionales. Trabajo Fin de Grado. Tutora: Cristina Torrecillas Lozano. Sevilla
- Torrecillas C, Páez R, Barbero I, et al (2016) Spatiotemporal analysis of Real-Time Regional Positioning Services. In: *Proceedings ITISE*. Granada, pp 678–689
- Junta de Andalucía, «Portal de Posicionamiento de Andalucía», [En línea]. Página web: <http://www.ideandalucia.es/portal/web/portal-posicionamiento>
- Sentinel Online, «Copernicus Open Access Hub». Página web: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- Visualizador de imágenes satélite EOS, «Land Viewer EOS». [En línea]. Página web: <https://eos.com/landviewer/>