

# Tratamiento geoespacial del recorrido de trenes y de tramos ferroviarios: Mejoras en la interacción con la infraestructura

**GOMEZ CASTAÑO, José**

## RESUMEN

El recorrido de los trenes, su posición y la ubicación de los elementos de la infraestructura ferroviaria, se realiza utilizando bases de datos en las que los atributos alfanuméricos definen las características de estos. Realizar ciertos análisis sobre estos modelos se hace complejo y costoso. En este trabajo se aborda cada uno de estos elementos desde un punto de vista geoespacial, introduciendo algoritmos que permiten llevar a cabo análisis complejos con más rapidez.

Los algoritmos creados se desarrollan para implementar un conjunto de geometrías que permitan definir tramos, líneas y recorridos sobre una base de datos geoespacial. Sobre ellas se llevan a cabo análisis que permiten cruzar los datos alfanuméricos tradicionales con las capacidades geoespaciales que aporta este nuevo enfoque. Para la definición de las geometrías se ha utilizado el Anexo I de la Directiva INSPIRE.

El primer resultado obtenido es poder tratar el recorrido completo de un tren como una entidad completa. Esto ha posibilitado desarrollar procedimientos para determinar la influencia de trabajos, limitaciones de velocidad, cambios de trazado y cualquier elemento de la infraestructura sobre el recorrido de los trenes, en tiempo real.

A partir de la metodología se muestra un ejemplo práctico de aplicación sobre situaciones reales.

**Palabras clave:** Geoespacial, GIS, ferrocarriles, algoritmos, tren, infraestructura

## INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente el tratamiento de la circulación, ubicación de los trenes y de las circunstancias que les afectan durante su recorrido, se ha venido realizando utilizando bases de datos en las que se almacenan las características de su recorrido, así como las de la vía y las circunstancias que les acontecen mediante modelos relacionales o jerárquicos. Esto supone una gran complejidad, cuando se trata de resolver problemas en los que se necesita cruzar información procedente de diversas fuentes como son las espaciales.

En este trabajo se exponen algunos algoritmos alternativos para agilizar y proporcionar mejores resultados que en el análisis tradicional. Se introducen algunos cambios conceptuales en cuanto al uso de las ubicaciones y recorridos, al tratarse estos como elementos espaciales, algo que hasta ahora solo se ha aproximado mediante el uso de Infraestructuras de Datos Espaciales en el inventariado de la infraestructura.

La solución se ha desarrollado sobre una base de datos espacial PostGIS y una serie de programas en Python que la explota, así como herramientas de escritorio gvSIG y QGIS

## NECESIDAD DE UN SISTEMA DE ANÁLISIS

Los problemas que son susceptibles de entrar en el ámbito de estos análisis son:

- Optimización de recorridos
- Detección de zonas de influencia de fenómenos que afectan a las circulaciones
- Detección de zonas calientes por incidencias, trabajos
- Detección de zonas susceptibles de influir en el tráfico y capacidad de la infraestructura

Un ejemplo en el que nos vamos a centrar, es conocer cuáles son las obras, incidencias, limitaciones de velocidad, y tramos con características especiales, por los que un tren debe pasar y cómo afectan estos a su regularidad.

## ESTADO DEL ARTE ACTUAL

La red ferroviaria española se distribuye en más de 15,000 km, con diferentes anchos de vías, gestionados por ADIF. En Europa existen una red interconectada, y un marco legal que permite la libre circulación entre Estados. Los algoritmos aquí expuestos se pueden aplicar a cualquier ámbito de la red mundial de ferrocarriles. En estos momentos no se ha encontrado ningún trabajo que tenga un enfoque parecido al aportado en este trabajo.

Infraestructura y Circulación		
(*) Red Ferroviaria Gestionada por Adif:	15.333	km
• Red de Alta Velocidad de Ancho Internacional puro (1.435 mm)	2.322	km
• Red de Alta Velocidad de Ancho Ibérico (1.668 mm)	84	km
• Red Convencional de Ancho Ibérico puro (1.668 mm)	11.596	km
• Red Mixta (combinación Ancho Ibérico y Ancho Internacional)	119	km
• Red de Via Estrecha de Ancho Métrico (1.000 mm)	1.211	km
<small>A partir del 1 de enero de 2013, en aplicación del RDL22/2012, de 20 de julio, se incorporan 1.192 km procedentes de la extinta entidad pública empresarial FEVE.</small>		
Líneas Equipadas con ERTMS	1.974	km
Líneas Equipadas con ASFA	13.398	km
Líneas Equipadas con LZB	498	km
Líneas Equipadas con ATB - EBICAB	449	km
Línea dotada con CTC (Red Convencional Ancho Ibérico, Red Mixta y Red Ancho Métrico)	9.024	km
Red de Fibra Óptica (incluidos 705 km procedentes de la extinta entidad pública empresarial FEVE)	17.339	km
Nº Circulaciones de Trenes / Año 2012	1.852.747	
Puntualidad (global en toda la Red gestionada)	93-98	%

\* Cifras redondeadas a kilómetros

Figura 1. Estado de la red ferroviaria. Fuente: Declaración de red 2013. ADIF

Partimos de la información de la que se dispone actualmente, tratándose de tipo alfanumérico. Para este trabajo entenderemos tres ámbitos de datos. Los relativos a los diferentes tipos de localizaciones, los tramos y a los recorridos de los trenes. En todos, se utilizan bases de datos, ya sean relacionales como jerárquicas. Para su explotación se utiliza el lenguaje SQL o DLI, y en ellas, tanto los trenes como las ubicaciones no se representan geográficamente. El atributo identificativo de las localizaciones suele ser un código interno de las Administraciones Ferroviarias. A nivel europeo existe la iniciativa RINF y apartados de la TAF-TSI [Directives 2001/ 16/ EC and 2008/ 57/ EC], que tienen por objeto normalizar la estructura de estos datos entre las diferentes Administraciones y Operadores.

Los tramos se tratan indicando solamente los puntos iniciales y finales de los mismos, generalmente a partir del punto kilométrico o de las estaciones que los delimitan. Solo a efectos de inventario se almacenan geometrías de los tramos, dentro del proyecto IDEAdif, que aglutina los GIS internos de ADIF. El recorrido de los trenes consiste en una mera sucesión de localizaciones, indicando los puntos e instantes en los que pasa por ellos.

Esta información tiene actualmente diversos usos:

- Identificar estaciones, bifurcaciones, subestaciones, puntos de parada, y demás elementos de la infraestructura
- Definir el recorrido de los trenes y establecer su marcha
- Regular la circulación de los trenes

En algunos trabajos se han utilizado sistemas de grafos para optimizar recorridos [Roanes y Otros, 2008, 2009]

Con respecto a la representación geográfica de estos elementos, desde hace algún tiempo, se dispone de geometrías que delimitan las líneas con mayor o menos detalle [IGN MTN25, IDEAdif]. En la actualidad el uso de SG (Sistemas de Información Geográfica) se ciñe al ámbito constructivo o de inventariado.

## SOLUCIÓN PROPUESTA

En este trabajo se propone un nuevo enfoque para cada uno de los elementos implicados. Aunque no es nuevo para las localizaciones, si lo es para la representación de tramos específicos de la vía, y sobre todo, para la representación del recorrido de un tren.

Se propone pues que tanto los trazados, los tramos sobre los cuales la infraestructura se modifica, o los recorridos de las circulaciones, sean tratados como objetos espaciales. Como se ha comentado más arriba, solo las líneas tienen este tratamiento. La Directiva Europea INSPIRE [INSPIRE 2007], traspuesta a la LISGE [LISGE 2011], exige un tratamiento dentro de esta norma de estos elementos a nivel Europeo, aunque no tiene en cuenta el tráfico.

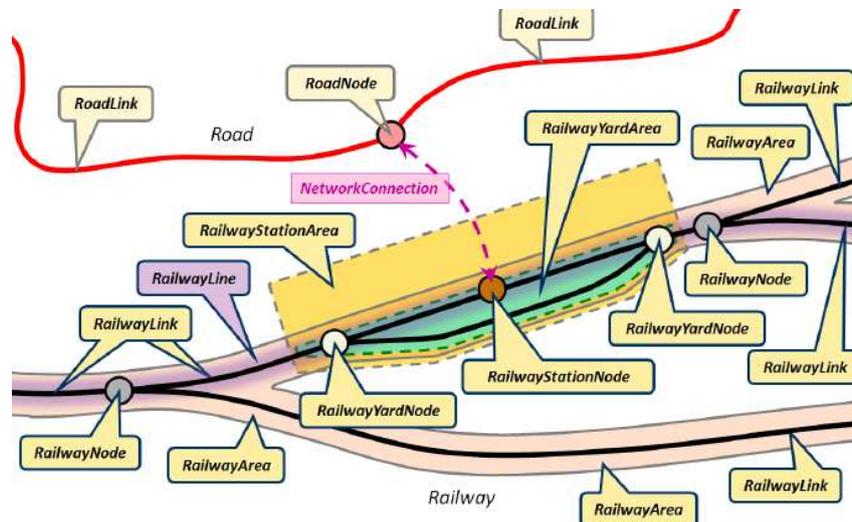


Fig 2. Representación de los fenómenos relacionados con ferrocarriles en el Anexo I de INSPIRE

Dentro del Anexo I de INSPIRE se definen los siguientes fenómenos

- Fenómenos de localizaciones - RailwayNode
- Fenómenos de tramos - RailwayLink
- Fenómenos de líneas - RailwayLine
- Fenómenos de recorridos - TrainRailwayLine

Los recorridos de las circulaciones han sido, hasta ahora, tratados como meros atributos alfanuméricos, enumerando los puntos de paso en ciertos instantes. Aprovechando la nomenclatura INSPIRE, en este trabajo se define el **TrailRailwayLine**, como el fenómeno correspondiente al recorrido del tren. Estos se han transformado en objetos geoespaciales ya que se trata, en definitiva, de polilíneas compuestas por cada una de las geometrías que enlazan los diferentes nodos del recorrido. El recorrido se traduce en una polilínea desde el origen al destino. Para los trenes planificados se tomará el recorrido previsto y para los circulados, el real. Este tratamiento no solo permite definir el recorrido de los trenes en el trayecto, sino que lo hace dentro de las estaciones si se han creado las geometrías dentro de las mismas definiendo las vías internas de la estación.

Los tramos, por otra parte, se definen como segmentos entre dos puntos de una línea. Los puntos origen y destino de los mismos se referencian como puntos kilométricos sobre la misma. Para crear geometrías a partir de ellos, es necesario primero llevar a cabo una georreferenciación de estos. En un apartado más abajo se detalla el proceso, pero baste decir que cualquier proceso de segmentación dinámica, puede devolver la coordenada geográfica del origen y fin.

Una vez almacenados estas geometrías, es posible llevar a cabo sobre ellas cualquier consulta o tratamiento espacial, tanto dentro de la base de datos como con herramientas GIS. El más importante es conocer qué tramos afectados por alguna circunstancia, atravesará un tren. Para ellos se ejecuta una consulta que devuelva la intersección de la geometría del recorrido con el resto de tramos.

## HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Para poder implementar las soluciones propuestas, se han utilizado las siguientes herramientas:

- Lenguaje de desarrollo Python
- Base de datos espacial PostGIS. El ahorro de costes hace de PostGIS una opción de uso de una base de datos libre, que está siendo adoptada incluso dentro del propio Instituto Geográfico Nacional
- Programa de escritorio para edición geoespacial gvSIG y QGIS
- Librerías GDAL-OGR y SEXTANTE

## GEOMETRÍAS A UTILIZAR

Para la definición de los elementos espaciales, se ha respetado el Anexo I de la Directiva INSPIRE.

### Geometrías básicas

Para poder construir un conjunto de geometrías complejo, debemos partir de tipos básicos que proporcionen un nivel mínimo de información. Dado que los valores alfanuméricos actuales recogen las localizaciones de interés para el tráfico, podemos tomar estas para definir los segmentos de las geometrías que nos interesan. De esta forma tendremos polilíneas en las que el origen y final lo componen cada una de estas localizaciones.

Existen varios tipos de localizaciones y entre ellas siempre existirá una polilínea que define el trazado de la vía. La interconexión de las diferentes polilíneas conforma una topología completa de la red ferroviaria. A las localizaciones que identifican puntos de la infraestructura ferroviaria las denominaremos RailwayNode, y serán de tipo Point.

Dependiendo del tipo de geometrías agregadas que se seleccionen, podremos configurar fenómenos que respondan a diferentes necesidades. En este trabajo se configuran las siguientes:

- Topologías de tramos
- Topologías de líneas
- Topologías de recorridos

Para crear la geometría básica, partimos de la georreferenciación de los trazados tomados de diferentes fuentes. En este trabajo se ha utilizado la versión 12 de la Tramificación Común de IDEAdif. Esta consiste en un fichero shapefile con los trazados llevados a cabo usando GPS embarcado en un tren auscultador siendo el trazado más fiable en la actualidad. Otra fuente es la capa de ferrocarriles disponible en el Mapa Topográfico Nacional 1:25.000 (MTN25) disponible en el centro de descargas del CNIG. A esta información le llamaremos REDgeom, ya que representa la geometría de toda la red ferroviaria, siendo de tipo Multiline. Uno de los primeros pasos consistió en convertirla a elementos Line más manejables.

En esta red no están identificadas los puntos de interés que nos definen la posición de paso de los trenes, estaciones, bifurcaciones, etc. Para poder identificarlos sobre esta geometría, partimos de la posición RailwayNode de cada uno de ellos y se determina cuál es el punto al que corresponde sobre REDgeom cuya distancia a la misma es mínima.

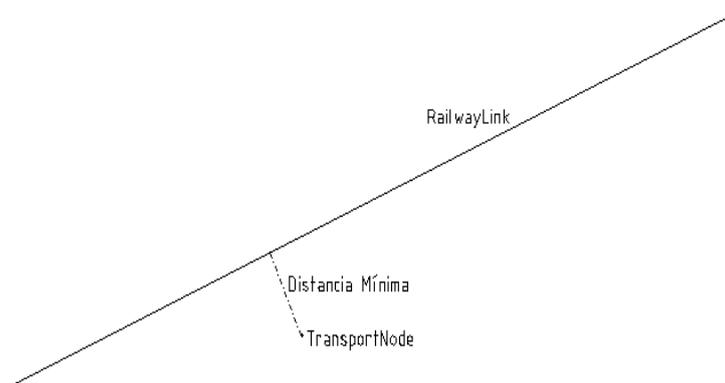


Fig 3. Gráfico distancia mínima

A partir de estos puntos, se lleva a cabo la extracción de cada una de las geometrías que llamaremos RailwayLink usando como base la línea, y que comprende dos RailwayNode consecutivos. En este estudio no se ha tenido en cuenta la multiplicidad de vías en un RailwayLink. En estos casos, cada conjunto de vías entre dos RailwayNode, define un RailwayLink diferente. El resultado es una polilínea que se almacena en la base de datos espacial.

En caso de PK, existe el problema de que estos puntos kilométricos no corresponden a la distancia lineal real, sino a la ubicación de los hitos que están junto a la vía cada 100 metros. Para la mayoría de aplicaciones, esta desviación puede considerarse despreciable. La única fuente que georreferencia su posición es la capa Puntos Kilométricos, del MTN25 [Gómez Castaño, J, 2013]. En este estudio detallado, se puede encontrar un algoritmo de conversión de uno a otros Pks.

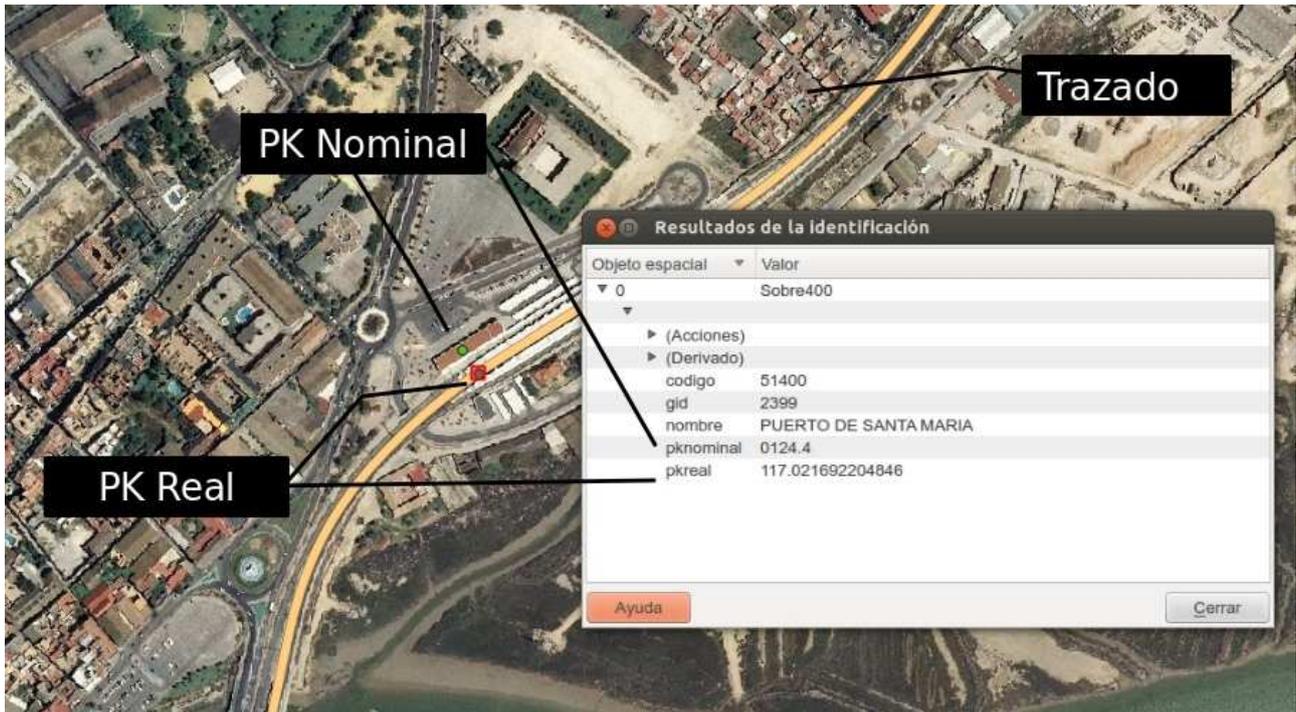


Fig 4. Diferencia entre los Pks nominales y reales

### Geometrías de los tramos

Para la creación de los tramos se nos pueden dar 3 casos: a) Que esté delimitado por dos RailwayNode; b) que sus extremos, o al menos uno, sean dos puntos en plena vía; c) que esté delimitado por la zona de influencia de otro fenómeno.

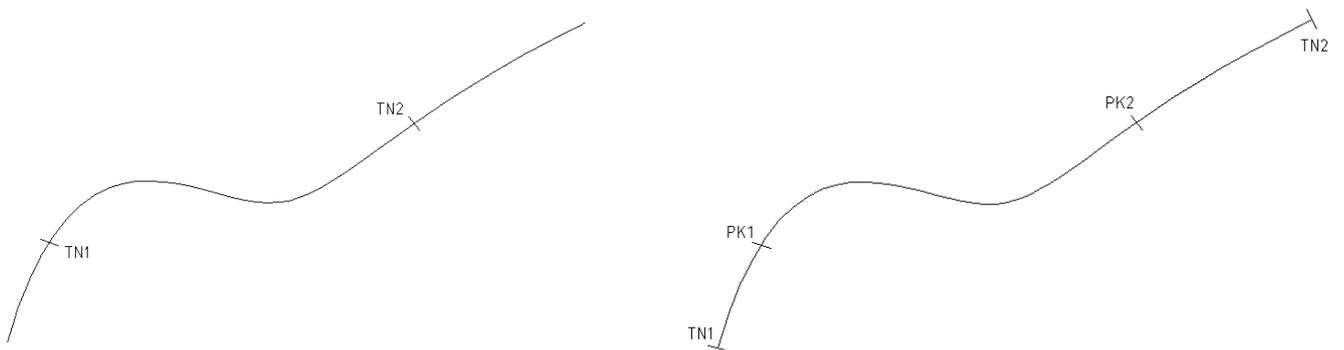


Fig 5. Tipos de tramos (a, b)

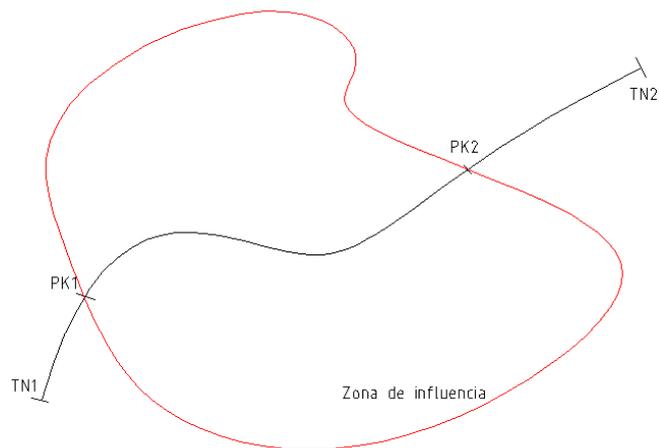


Fig 6. Tipos de tramos (a, b, c)

Por ello definiremos en este trabajo, un tramo o geometría del mismo como el trazado resultante de la unión de un conjunto disjuncto de nodos y las polilíneas que los unen, los cuales responden a una necesidad concreta. Algunas de ellas son:

- Análisis del recorrido y cumplimiento de marchas de las circulaciones
- Definición de afectaciones en la vía, como limitaciones de velocidad, trabajos, incidencias
- Como resultado de análisis espaciales, por ejemplo el resultado de una zona de influencia
- Estudios económicos

En el caso a) los extremos son elementos de tipo `RailwayNode`, y por lo tanto se crea el tramo mediante la unión de varias geometías de tipo `RailwayLink` generadas anteriormente.

Para el caso b), la construcción del tramo se puede definir de dos formas. A partir de los puntos kilométricos inicio y final del mismo, o marcando sobre un mapa estos puntos. En ambos, lo primero es calcular un punto sobre la geometría de la red (`REDgeom`)

En el primer caso los valores que definen los extremos son puntos kilométricos sobre la misma. El tramo se compone de la polilínea resultante entre ambos extremos. En el caso de que estos se encuentren en la misma línea, el proceso es trivial, pero en muchos casos, estos pueden estar en líneas diferentes. Para generar el tramo es necesario entonces llevar a cabo un geoproceto que nos devuelva las diferentes geometías que unen ambos puntos y permitir la selección de la adecuada.

Otro caso se manifiesta cuando no tenemos estos `RailwayLink` creados y partimos de puntos en plena vía. Se trata, por ejemplo, de una limitación de velocidad entre dos puntos kilométricos, o una incidencia que afecta a una sección concreta de la infraestructura.

Lo más adecuado es calcular el `RailwayNode` que corresponde al punto kilométrico seleccionado, y proceder entonces como en caso descrito anterior. Al no cumplir la definición descrita en el Anexo I de INSPIRE, a estos puntos los llamaremos `LocationNode`.

Por último tenemos la circunstancia adicional c), relacionada con la definición de zonas de influencia. Un tramo se puede definir como la intersección del polígono que engloba una zona y una línea. Se trata de un tramo afectado por una zona con riesgo para la circulación de los trenes, como puede ser una limitación de velocidad, zona de trabajos o directamente una zona donde se encuentra un incendio o inundación.

El tramo resultante permite conocer la influencia de estos fenómenos directamente sobre la infraestructura y actuar preventivamente sobre ella. Para su generación basta con calcular la intersección entre la geometría de la línea y de la zona de influencia

## **Geometría de líneas**

Un elemento de especial interés son las líneas. Las podemos definir como agrupaciones de RailwayLink con una longitud mayor. Su construcción se lleva a cabo usando la misma metodología expuesta en el apartado anterior.

## **Geometría de los recorridos y marcha de los trenes**

Para almacenar el recorrido del tren partimos de su itinerario previsto. Este se compone de las localizaciones que este recorre y los instantes de paso por cada una de ellas. A partir de los puntos de inicio y fin de su recorrido, es posible crear un fenómeno de tipo Polyline que denominaremos TrainRailwayLink. No existe una definición de esta geometría en INSPIRE, pero podemos asemejarla a un conjunto disjuncto de los RailwayLink que atraviesa el tren en su recorrido.

Este tipo de tratamiento es lo suficientemente rápido y ágil como para hacerlo en tiempo real. Esto permite prever la afectación para trenes ya circulando o especiales.

Los resultados los almacenaremos en una base de datos espacial, al objeto de poder realizar análisis geoespaciales sobre ellas. Otra fuente de salida de datos es almacenarlos en ficheros shapefile.

## **Atributos adicionales**

Una vez definidas las geometrías estas se complementan con los atributos tradicionalmente utilizados en las operaciones ferroviarias. Para poder asociar cada elemento espacial generado anteriormente al resto de atributos, se crea un identificador único, que es la clave única en el resto de tablas con atributos. En el caso de un RailwayLink será el identificador que se define en el Anexo I de INSPIRE, que hace referencia al par de RailwayNode que une. En el del TrainRailwayLine, será la de la identificación del tren al que representa, con lo que se podrán hacer relaciones entre su dimensión espacial y el resto de atributos alfanuméricos.

## **ALGORITMO GENERAL**

Una vez definidos los fenómenos, se ha seguido el siguiente esquema:

1. Generación de fenómenos RailwayLink para cada par de RailwayNode a partir de SHP IDEAdif versión 12 -> PostGIS
2. Creación de los fenómenos TrainRailwayLine para cada recorrido de un a partir de su marcha -> PostGIS
3. Definición de las zonas de interés y sus límites IncidGeom
4. Cálculo en tiempo real de la intersección del TrainRailwayLine afectado por una IncidGeom

Como resultado, se obtiene el conjunto de trenes afectados por una circunstancia en la infraestructura o el conjunto de circunstancias que han afectado a un tren en su marcha

## **REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA**

El carácter geoespacial de estos objetos añade un nuevo marco de uso, permitiendo la visualización de los resultados. Este se visualiza sobre un mapa, y existe la posibilidad de integrarlo con otras fuentes de información geográfica proporciona una gran ayuda a la hora de toma de decisiones y análisis. [Gómez Castaño, J, 2010]

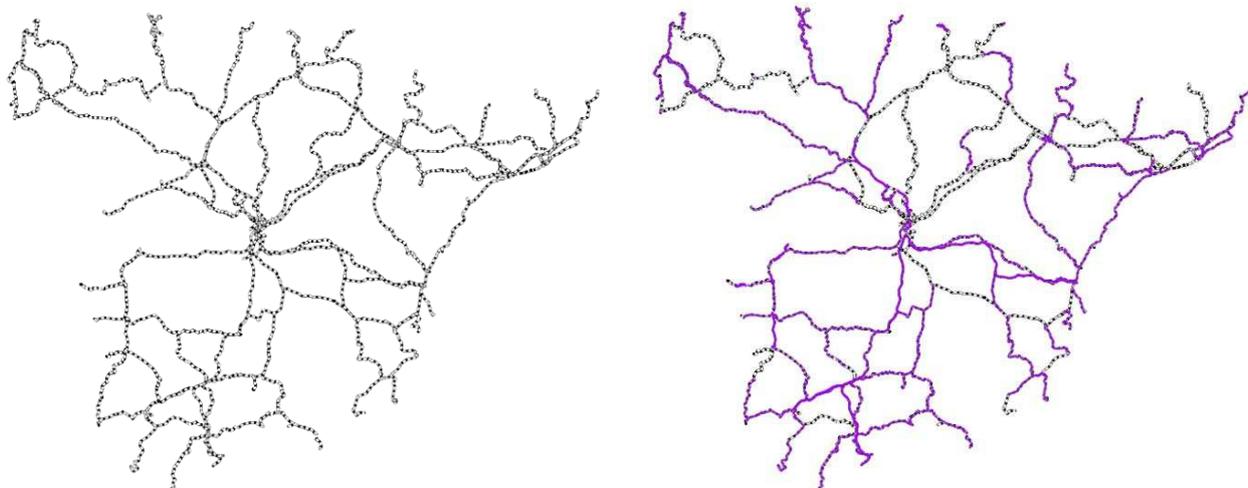


Fig 7. RedGeom, conjunto de RailwayLines generadas (izda), y 3557 TrainRailwayLines correspondientes a trenes (dcha)

### APLICACIÓN PRÁCTICA

Para ilustrar la metodología empleada y su uso, se ha diseñado un ejemplo que permite conocer la influencia de un tramo afectado por una limitación de velocidad provocada por un trabajo en la infraestructura, sobre los trenes. El objetivo será Se quiere conocer el conjunto de trenes afectados por una limitación de velocidad y una zona de trabajos en la línea 400 de Alcázar de San Juan a Cádiz. Se han generado 3557 recorridos de trenes por toda la red, tanto de ancho convencional como de alta velocidad. Su resultado tabular y por supuesto, la representación cartográfica.

El escenario propuesto pues se presenta en la siguiente figura

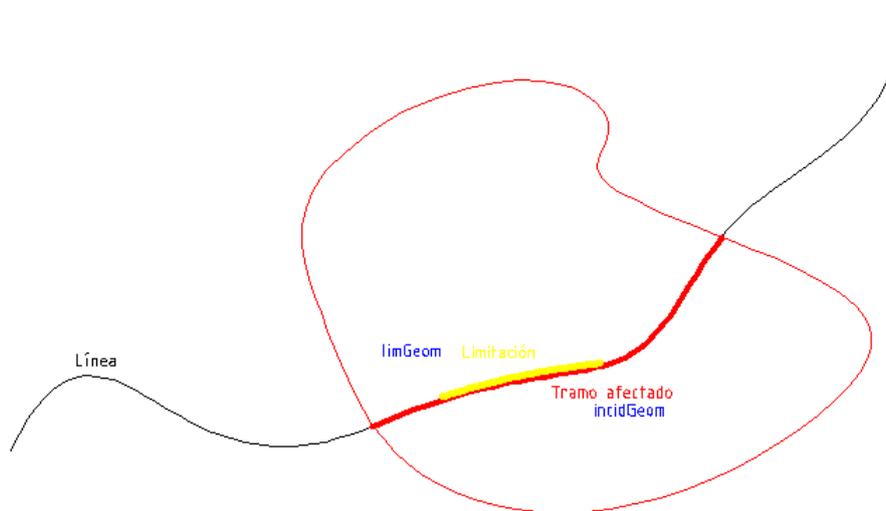


Fig 8. Geometría del ejemplo REDgeom, (trazado real), geom\_afect (polilínea roja de afectación), RailwayLink\_afect (polilínea roja del tramo afectado), RailwayLink\_lim (polilínea amarilla que delimita la limitación)

### Aplicacion del proceso

#### 1.- Creación de la geometría TrainRailwayLink

Partimos del recorrido planificado de los trenes. Se han tomado para varios trenes, los puntos de origen, intermedios y finales, así como las horas de paso. Esto nos proporciona el TrainRailwayLine de cada uniendo los RailwayLink de pares de RailwayNode de su recorrido. En las consultas se utiliza este campo como geom\_train.

#### 2.- Creación de las geometrías RailwayLink de la zona afectada

Partimos de unos trabajos ficticios que provocan una limitación de velocidad. El ejemplo simula una inundación. En esta se define un tramo con una incidencia y en él, dos limitaciones de velocidad. La zona afectada (geom\_afecta), en rojo en la figura anterior, la forma una polilínea. El tramo de vía afectada viene definido por la intersección de esta zona con la REDGeom, el trazo rojo en la figura anterior (RailwayLink\_afecta). Si solo parte de este tramo tiene afectación al tráfico real, se puede definir adicionalmente el que impone una limitación de velocidad (RailwayLink\_lim), amarillo en el gráfico, delimitado por los Pks de inicio y final

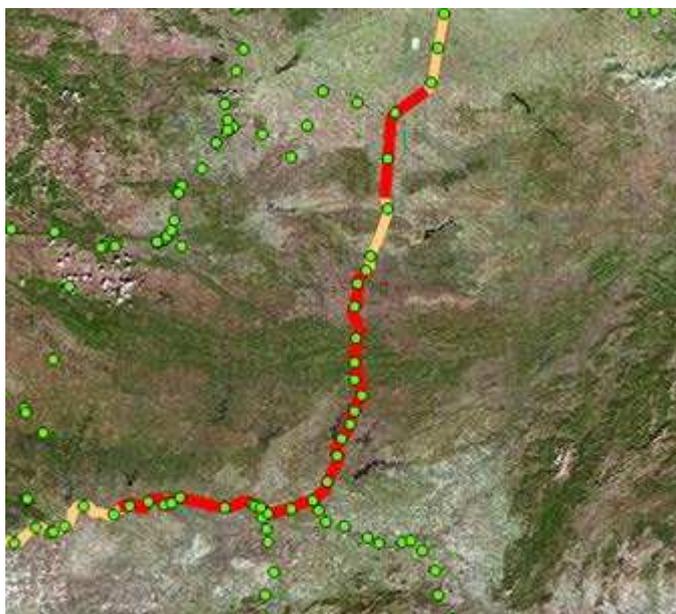


Fig.9 Resultado geométrico de la intersección de la zona de interés con la línea y los tramos afectados, Zona de trabajos



Fig.10 Definición de la limitacion entre dos Pks (trazo rojo) en la línea 400

### 3.- Consulta para conocer los trenes afectados

Esta consulta se lleva a cabo utilizando SFSQL[OGC] sobre la base de datos PostGIS. Se trata de conocer el conjunto de las geometrías que cumplen que su intersección con la de la zona de influencia o limitación, no es un conjunto vacío.

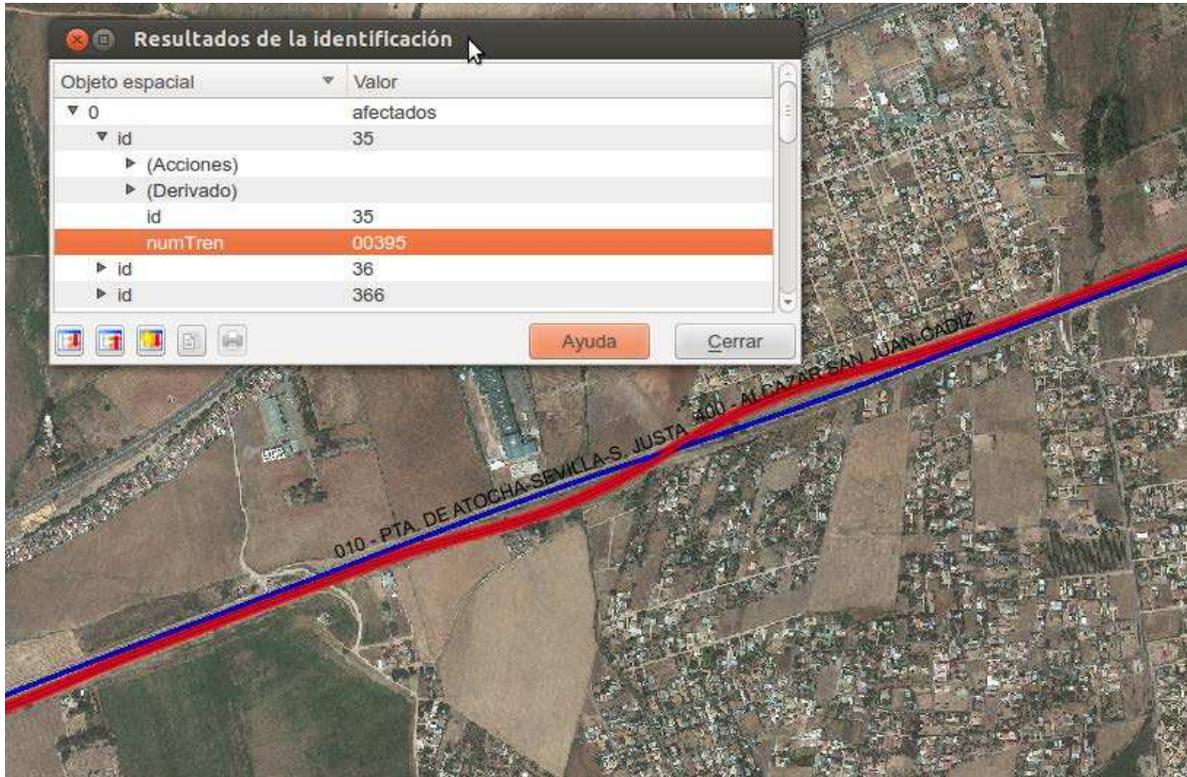


Fig 11. Resultado tabular de la consulta de 3557 TrainRailwayLines con todos los RailwayLines. 35 trenes que atraviesan la zona de trabajos y 92 trenes la de trabajos y la limitación

A partir de los resultados de tiempo perdido en la limitación (TP), Velocidad máxima al paso por la misma (VM), Velocidad al paso (VP), longitud (LP), y número de trenes circulados por ella, se puede cuantificar el impacto de esta. La idea es poder tener valores que permitan conocer el impacto de una limitación en diferentes lugares. El resultado es el producto del número de trenes por TP, utilizando la metodología empleada en Gómez Castaño, J, 2013

### 4.- Resultados geoespaciales

Además de los resultados tabulares, se devuelven los mapas conteniendo el recorrido de los trenes y en qué zonas se verán afectados por esta circunstancia de la infraestructura.

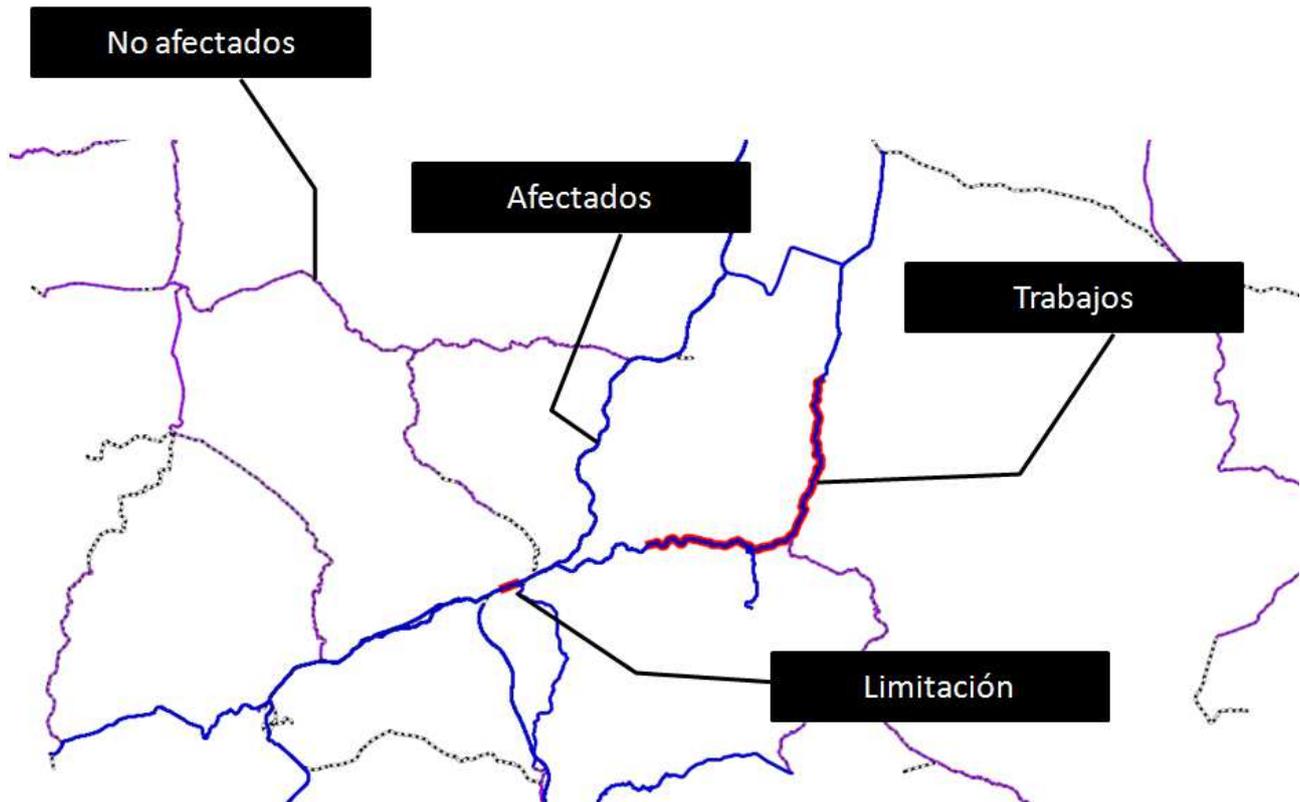


Fig 12. Resultado de la consulta de 3557 TrainRailwayLines con todos los RailwayLines

### RENDIMIENTO

El equipo utilizado es un portátil HP Probook 4540 con 4 GB de RAM, y procesador Intel i5. El tiempo medio de creación de un objeto espacial de tipo TrainRailwayLine, a partir de sus datos de circulación, es de 69 milisegundos. Esto permite su uso para cálculos en tiempo real y complementar a otros de tipo Batch. El tiempo medio de consulta de un fenómeno sobre la infraestructura contra 3557 TrainRailwayLine de la tabla es de 4.75 segundos

### CONCLUSIÓN

Se ha presentado una metodología para convertir el recorrido de los trenes en elementos geoespaciales, con los que es posible determinar en qué medida son afectados por circunstancias en la infraestructura que pueden influir su marcha. Como resultados de este trabajo se pueden extraer los siguientes:

- Correlación entre PKs nominales y reales
- Creación de fenómenos propios del recorrido del tren TrainRailwayLine
- Incorporación de procesos geoespaciales a la Malla del Tren
- Posibilidad de cruzar información de tráfico con cualquier otra georreferenciada
- Mejora en la gestión de tráfico
- Mejora en la gestión de incidencias sobre el tren
- Detección de impacto de infraestructura en tren
- Reducción de costes de operación

La creación de los TrainRailwayLine abre un abanico de posibilidades en los que la componente geoespacial viene a complementar los procesos actualmente en vigor en el resto de aplicaciones de planificación y gestión de tráfico.

### AGRADECIMIENTOS

El autor desearía expresar su agradecimiento al equipo de IDEAdif y del Instituto Geográfico Nacional que han proporcionado las geometrias de la vía.

## REFERENCIAS

- Directives 2001/ 16/ EC and 2008/ 57/ EC. <http://www.uic.org/spip.php?article446>
- Gómez Castaño, J, "Generación de una Infraestructura de Datos Espaciales para ferrocarriles basada en software libre", Jornadas SIG Libre, Universidad de Girona, 2010
- Gómez Castaño, J., "Análisis cinemático del tiempo concedido a los trenes a su paso por limitaciones de velocidad" Vía Libre Técnica, Fundación de los Ferrocarriles Españoles 2013
- Gómez Castalin, J. "Análisis de la correlación existente entre los Puntos Kilométricos Nominales y Reales en la geometría de la línea ferroviaria", Vía Libre Técnica, Fundación de los Ferrocarriles Españoles, 2013
- IMSPIRE, 2007, <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>
- LISIGE, 2011, <http://www.boe.es/boe/dias/2010/07/06/pdfs/BOE-A-2010-10707.pdf>
- Roanes Lozano, Eugenio et al "Unas reflexiones sobre el reconocimiento de rutas en mapas ferroviarios y teoría de grafos", Boletín de la Soc. Puig Adam, num 78, Febrero 2008
- Roanes Lozano, Eugenio et al . "Estudio matemático de la evolución de la topología de la red Española de ancho ibérico 1956-2006", Vía libre Técnica, 2009

## AUTOR

José Gómez Castaño  
jgomezc@adif.es  
Subdirección de Sistemas Operacionales  
ADIF

Jgomez03@pdi.ucm.es  
Especialista SIG Grupo de Astronomía Extragaláctica e Instrumentación Astronómica,  
Departamento de Astrofísica y CC de la Atmósfera. UCM