

# Información geográfica de referencia de redes de transporte: soporte para la implementación de referenciación lineal

REVISTA **MAPPING**  
Vol. 29, 199, 30-38  
enero-febrero 2020  
ISSN: 1131-9100

## *Transport network geographic reference information as support in linear referencing projects*

Alicia González Jiménez, Cristina Calvo Guinea

### Resumen

La Información Geográfica de Referencia de Redes de Transporte (IGR-RT) del IGN es una red tridimensional que contempla los modos de transporte viario, ferroviario, cable, marítimo y aéreo, con sus conexiones intermodales, topología de red y cobertura nacional.

La complejidad de su mantenimiento reside en la cantidad de información que contiene y la necesidad de garantizar la calidad (semántica, geométrica y topológica) y la oficialidad de la información que incorpora.

En el marco de la colaboración entre el IGN y el Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana establecido a través del proyecto HERMES, se ha desarrollado un proyecto piloto para trasladar la información alfanumérica que gestiona el Ministerio en relación a la Red de Interés General del Estado sobre las geometrías de carreteras de IGR-RT. Se ha realizado con la metodología de referenciación lineal que permite ubicar elementos o atributos procedentes de tablas alfanuméricas, que contienen la localización de sus puntos inicio y fin, sobre la red previamente calibrada a partir de sus hitos kilométricos. Mientras en el modelo de datos tradicional se crea un segmento cada vez que un atributo cambia, en el modelo de referenciación lineal esto no es necesario ya que los atributos pueden almacenarse en tablas alfanuméricas y volcarse sobre las geometrías cuando sea necesario, lo que permite incorporar a la red calibrada cualquier atributo inicialmente externo a ella.

### Abstract

The GRI-TN (Geospatial Reference Information of Transport Networks) maintained by the National Geographic Institute of Spain is a 3D seamless network all over the country, gathering road, rail, water, cable and air transport infrastructures, along with their intermodal connections, and network topology.

It is complex to maintain due to the huge amount of data, and to the need to guarantee its semantic, geometric, topological quality and the official nature of the information.

This paper describes the pilot project developed by the IGN in the context of the HERMES initiative of the Ministry of Public Works, to move non-spatial information managed by this Ministry regarding the main national road infrastructures to the spatial frame based on GRI-TN and provided by IGN.

To do so, linear referencing methodology has been used. This methodology allows to locate elements or attributes on a network which must be previously calibrated using kilometric points. Using specific software, any item whose start-end points are known can be located on the network. In the traditional models there was the need of creating new links as the attribute values change along the network. However, it is not necessary in linear referencing as the attributes can be loaded in non-geometry tables and associated to the geometry network only when it is required, what allows introducing any external item on the net.

**Palabras clave:** referenciación lineal, segmentación dinámica, redes, transporte, carreteras, catálogo, modelo de datos.

**Keywords:** linear referencing, dynamic segmentation, networks, transportation, roads, highways, catalog, data model.

Jefa de Área de Cartografía Básica y Derivada,  
Instituto Geográfico Nacional  
[agjimenez@fomento.es](mailto:agjimenez@fomento.es)  
Técnica Superior en el Área de Cartografía Básica y Derivada,  
Instituto Geográfico Nacional  
[mccalvo@fomento.es](mailto:mccalvo@fomento.es)

Recepción 10/12/2019  
Aprobación 20/12/2019

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Contexto

Las infraestructuras asociadas a los transportes son uno de los elementos vertebradores del espacio. Su impacto en la vida de los ciudadanos y en las condiciones competitivas de las empresas es evidente, y en ello radica la importancia que tienen en las políticas de cualquier organismo público con competencias en la organización económica y la ordenación del territorio. Debido a ello, las redes de transporte son un fenómeno necesario en prácticamente cualquier tipo de cartografía. Siempre han estado presentes en las distintas series cartográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN), y desde la publicación del producto de la Información Geográfica de Referencia de Redes de Transporte (IGR-RT) [1], concluida su primera versión en marzo de 2017, están disponibles para su uso también de forma separada del resto de información geográfica producida por el IGN.

## 1.2. Evolución

La puesta a disposición del público de los datos IGR-RT ha supuesto un cambio de la manera en que se pueden utilizar, pasando de ser un objeto meramente cartográfico (pensado esencialmente para ser visualizado), a ser un objeto de análisis (tanto espacial como temático), susceptible de ser integrado en otras plataformas para la creación de productos y servicios de valor añadido.

Estos nuevos usos han tenido como consecuencia un cambio de los requisitos que los datos deben satisfacer. A su vez, estos **nuevos requisitos** han puesto de relevancia la necesidad de replantearse el actual modelo de datos de IGR-RT: ¿son los atributos que actualmente recoge la Base de Datos de Redes de Transporte suficientes y relevantes?, ¿qué acciones se pueden tomar para priorizar la actualización y mantenimiento de aquellos



Figura 1. Ejemplo de la información contenida en IGR-RT en el ámbito urbano de Santander

aspectos en los que el IGN puede ofrecer mejor calidad que otros productores de información geográfica?

Respecto a la primera pregunta (relevancia y suficiencia de los atributos, y de los posibles valores que adoptan) la respuesta estará condicionada por las necesidades concretas de cada caso de uso.

En lo relativo a la segunda pregunta, no cabe duda de que existen otros productores con una elevada capacidad de detección de cambios de la red sobre el territorio y de rapidez en la puesta a disposición del usuario de la información actualizada; el ejemplo más claro son los proyectos de Información Geográfica Voluntaria, en los que los propios usuarios de la información capturan los cambios que se van produciendo en su entorno prácticamente al mismo tiempo que estos se producen. Sin embargo, el valor añadido que los organismos cartográficos oficiales pueden dar (sin olvidar, por supuesto, que debemos optimizar el tiempo de respuesta) se sustenta en los siguientes aspectos:

- Amplitud** de cobertura (todo el territorio en el que cada organismo tenga competencias).
- Oficialidad** de la información (procedente, mayoritariamente, de titulares de las infraestructuras de cada red).
- Homogeneidad** en la cobertura.
- Política de datos abiertos** (libre uso de los mismos con cualquier propósito, comercial o no, de acuerdo a la licencia en base a la cual se distribuyen los mismos).

Esto nos lleva a la conclusión de que, al mismo tiempo que trabajamos en mejorar el tiempo de respuesta en la captura y publicación de las modificaciones de la red de transportes, debemos centrar nuestros esfuerzos en potenciar los mecanismos de colaboración y retroalimentación con los titulares de las infraestructuras y garantizar la calidad de los atributos de cuya exactitud depende que el conjunto de datos IGR-RT pueda ser usado para los fines concretos que precisen del marchamo de oficialidad demandados por la sociedad.

## 1.3. Problemática de la adaptación a nuevas necesidades

Los atributos que ofrecen las distintas tablas recogidas en IGR-RT son consecuencia del análisis inicial que se realizó en 2014 cuando se acometió la tarea de la creación del conjunto de datos. En aquel momento los objetivos fundamentales eran dos:

- Cumplir los requisitos establecidos por la Directiva 2007/2/CE [2] para el establecimiento de una infraestructura de información espacial en Europa (INSPIRE) en lo relativo a las Redes de Transporte

en cuando a datos y servicios así como con los de la correspondiente ley que la traspone, Ley 14/2010 [3], de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España (LISIGE).

- b. Garantizar que a partir de IGR-RT se pudieran derivar todos los elementos de transporte requeridos por el resto de productos del IGN que contemplan esta temática.

La utilización con otros fines distintos a los planificados inicialmente ha supuesto la introducción de nuevos requisitos de usuario, fundamentalmente relativos a:

- a. la inclusión de atributos adicionales y la supresión de otros inicialmente contemplados.
- b. la definición de tipologías y dominios de atributo distintos a los establecidos en primera instancia.
- c. la generación de exportaciones de los datos de IGR-RT a escalas inferiores a la escala de referencia de la producción (especialmente cuando se quieren abordar proyectos de cobertura nacional y supranacional).

La supresión de atributos no supone un problema ya que cualquier software GIS permite al usuario agrupar (disolver) elementos geométricos para eliminar los atributos que no sean de interés, y la licencia de datos abiertos del IGN permite al usuario modificar los datos sea cual sea el uso que se les vaya a dar.

Evidentemente, tanto la inclusión de nuevos atributos como la ampliación de los dominios definidos suponen un reto mayor por varias razones. Desde el punto de vista del IGN como productor, las más importantes son las siguientes:

- a. conservación de la **homogeneidad** de la base de datos: ¿disponemos de información de ese nuevo atributo para todo el conjunto de datos?.
- b. capacidad de **mantenimiento**: ¿tenemos recursos suficientes y fuentes de datos fiables para mantener un nuevo atributo con el grado de actualización necesario?.

Si estos aspectos plantean dudas se hace necesario evaluar la conveniencia de incluirlo teniendo en cuenta, fundamentalmente, el valor añadido que aportará y la motivación de su inclusión, además de otros factores técnicos como son el modo en que el aumento del tamaño de las tablas puede afectar al rendimiento de la base de datos, y el posible entorpecimiento de procesos que se ejecutan sobre ella.

Finalmente, para que la creación de productos a escalas menores sea sostenible y coherente, ésta debe

basarse en procesos automáticos de generalización de los datos de IGR-RT. En cualquier caso, los resultados de la generalización dependen, en primera instancia, de la calidad (tanto semántica como topológica) de los datos de partida y, una vez que esta esté asegurada, de la robustez del proceso de generalización en sí mismo.

## 2. CASO DE USO: HERMES

El Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana es uno de los potenciales usuarios estratégicos del conjunto de datos IGR-RT, siendo su cometido principal la propuesta y ejecución de las políticas del Gobierno en materia de infraestructuras, de transporte terrestre de competencia estatal, aéreo y marítimo, a fin de garantizar una movilidad justa y sostenible, así como de Agenda Urbana, vivienda, calidad de la edificación y suelo [4]. Para ello, el Ministerio se nutre de la información reportada por los organismos y departamentos encargados de todos los aspectos directa e indirectamente relacionados con dicha planificación.

En lo que se refiere a las redes de transporte, esta información a menudo procede de bases de datos no espaciales, hojas de cálculo e informes, y por lo tanto en muchos casos no se encuentra georreferenciada, y en los casos en los que sí lo está, por lo general, reside en sistemas de información descentralizados y no conectados entre sí. Para optimizar la gestión de estos datos, desde el Ministerio se detectó la necesidad de disponer de una plataforma tecnológica corporativa, es decir, que permita acceder a datos cuya producción y mantenimiento corresponde tanto por las distintas direcciones generales como a sus organismos autónomos, multimodal y transversal, que integre la información de la Red de transporte de Interés General de España (RIGE) de manera completa, actualizada y accesible. Esta plataforma, a la que se hace referencia como sistema **"HERMES"** en la iniciativa "Desarrollo de un Modelo Nacional de Transportes multimodal para viajeros y mercancías" propuesta dentro del Eje Estratégico 3 "Rutas Inteligentes" del Plan de Innovación para el Transporte y las Infraestructuras 2018-2020 [5], necesitaba una base geoespacial que sirviese de referencia geográfica a toda la información de los distintos modos de transporte, y para ello se decidió utilizar la información existente en IGR-RT.

Se realizó una evaluación de la adecuación de los datos de IGR-RT respecto a las necesidades de HERMES, y se llegó a la conclusión de que, mientras en los modos aéreo, marítimo y ferroviario no había grandes dificultades para enlazar los datos suministrados por los distintos organismos a los datos geográficos proporcionados por

## TRAMIFICACIÓN DE LA RED Y ANCHURAS DE PLATAFORMA Y CALZADA

TRAMO	PK ORIGEN	PK DESTINO	LONGITUD KM	ORIGEN	FINAL	Nº DE CALZADAS	CALZADA (m)	PLATAFORMA (m)
<b>TIPO DE RED:</b> <i>Interés preferente</i>								
A-1 1.1A	321,70	323,23	1,53	L.P.BURGOS (MIRANDA DE EBRO)	ENLACE DE RIBABELLOSA	2A	7,00	10,50
A-1 1.1B	323,23	321,70	1,53	ENLACE DE RIBABELLOSA	L.P.BURGOS (MIRANDA DE EBRO)	2D	7,00	10,50
A-1 1.2A	323,23	326,28	3,05	ENLACE DE RIBABELLOSA	INT.N-124	2A	7,00	10,50
A-1 1.2B	326,78	323,23	3,55	INT. N-124	ENLACE DE RIBABELLOSA	2D	7,00	10,50
A-1 2A	326,28	329,45	3,17	INT.N-124	LÍMITE BURGOS (C. TREVIÑO SUR)	2A	11,25	14,75
A-1 2B	329,45	326,78	2,67	LÍMITE BURGOS (C. TREVIÑO SUR)	INT. N-124	2D	11,25	14,75
A-1 3A	336,15	338,62	2,47	LÍMITE BURGOS (C. TREVIÑO NORTE)	RAMAL DE ENTRADA POLÍGONO LOS LLANOS	2A	11,25	14,75
A-1 3B	338,45	336,15	2,30	RAMAL DE SALIDA POLÍGONO LOS LLANOS	LÍMITE BURGOS (C. TREVIÑO NORTE)	2D	11,25	14,75
A-1 4A	338,62	342,79	4,17	RAMAL DE ENTRADA POLÍGONO LOS LLANOS	INT.N-102	2A	11,25	14,75

Figura 2. Ejemplo de catálogo de carreteras de Álava [7]

el IGN a través de IGR-RT, en la red de carreteras esta tarea requeriría un procesamiento previo de generalización para la adecuación de los datos a los requisitos de HERMES.

Esta generalización perseguía la obtención de un conjunto de geometrías lo más continuas posibles, (geometrías lineales continuas para cada carretera interrumpidas únicamente en las intersecciones a nivel con otras carreteras y por tanto desprovistas de los atributos de IGR-RT cuyos cambios de valores a lo largo del trazado generan cortes e incrementan la tramificación de la geometría), sobre las que poder volcar los parámetros y atributos que el Ministerio necesitaba para la gestión de la información de infraestructuras.

## 3. METODOLOGÍA: QUÉ ES LA REFERENCIACIÓN LINEAL

### 3.1. Referenciación lineal y segmentación dinámica

La norma ISO 19148:2012 Información Geográfica – Referenciación lineal [6], especifica un esquema conceptual para ubicaciones relativas en un objeto unidimensional como medida a lo largo de ese objeto, que es aplicable, entre otros casos de uso, al transporte.

Tanto para actualizar los atributos de las geometrías lineales recogidas en el modelo de datos de IGR-RT

(tramos de carretera o de ferrocarril), como para incluir atributos distintos a los definidos, conforme a las necesidades de HERMES, debemos saber a qué secciones de la geometría afectan. Es decir, necesitamos conocer el punto inicial y final donde un atributo toma un determinado valor: por ejemplo, de dónde a dónde una carretera tiene 2, 3 o n carriles. Si conocemos las coordenadas X, Y de los puntos en los que un determinado atributo cambia de valor podremos trasladar esa característica de la vía a nuestras geometrías, ya que cada par de coordenadas X, Y hacen referencia a un único punto de la vía.

Otra forma de identificar inequívocamente distintas secciones de una carretera es partir de sus puntos kilométricos (en adelante PP. KK.). Los PP. KK. permiten definir un sistema de referencia distinto a los sistemas de referencia bidimensionales y tridimensionales con los que se suele trabajar en el ámbito de la información geográfica. Este sistema de referenciación lineal tiene una única dimensión y permite identificar la localización de un elemento a partir de:

- el segmento lineal que lo contiene (en nuestro caso la carretera a la que corresponde).
- la distancia a lo largo de dicho segmento desde un origen (que por lo general será el kilómetro 0 de cada carretera).

Como se puede comprobar en la imagen que sigue, la mayor parte de los catálogos de carreteras de las dis-

tintas administraciones son listados alfanuméricos que definen los tramos de la vía de acuerdo a este modelo.

Para conocer las coordenadas X, Y de cualquier tramo de carretera o de vía ferroviaria es suficiente con tener dicho tramo georreferenciado. Para conocer las coordenadas relativas a un sistema de referencia lineal de dichos tramos será necesaria realizar una calibración de los mismos. La **calibración** consiste en, dadas las geometrías y un conjunto de hitos kilométricos vinculadas a las mismas, obtener la distancia de cualquier punto de la geometría a su punto origen. Una vez calibradas, podremos llevar a las geometrías cualquier atributo para el que conozcamos sus PK de inicio y fin.

El concepto de referenciación lineal permite llevar a cabo una **segmentación dinámica**: guardando los atributos en tablas aparte, se pueden asociar dichos atributos (creando nuevas segmentaciones) a las geometrías lineales cuando sea necesario. Esta disociación de los aspectos geométrico y temático de los fenómenos espaciales presenta las siguientes ventajas:

- **Reduce la fragmentación** de las geometrías lineales. En los modelos de datos tradicionales utilizados para representar geometrías lineales, cada vez que el valor de uno de los atributos cambia se crea un nuevo tramo, tal y como ocurre en el modelo de IGR-RT. La segmentación dinámica sin embargo permite tramificar selectivamente en función de aquellos atributos que únicamente sean de interés para nuestra aplicación, y modificar esta tramificación tantas veces como sea necesario.
- **Facilita el mantenimiento** del conjunto de datos. La tramificación tradicional descrita en el párrafo anterior implica la necesidad de actualizar o crear nuevas geometrías cada vez que cambian los atributos temáticos (o si se quieren incluir nuevos atributos), lo que a su vez repercute en otros aspectos como el mantenimiento de la integridad referencial de los tramos nuevos y modificados con otras tablas. El hecho de mantener los atributos en tablas aparte, de acuerdo al paradigma de segmentación dinámica, hace que no sea necesario actualizar geometrías cada vez que

cambian los atributos, y viceversa.

- La ventaja principal, como consecuencia de todo lo anterior, es que permite utilizar un **mismo conjunto de datos para múltiples propósitos**.

### 3.2. Creación de conjuntos de datos georreferenciados linealmente: caso de la RIGE (Red de Interés General del Estado) para el sistema HERMES

Para crear el conjunto de datos sobre el cual se pudieran volcar los atributos que HERMES necesitaba para gestionar los datos de carreteras de acuerdo a sus necesidades y parámetros, se abordaron las siguientes etapas:

En primer lugar se seleccionó un **conjunto de líneas continuas y sin bifurcaciones** sobre el conjunto total disponible en IGR-RT para poder trabajar únicamente sobre los datos objeto de este trabajo: tramos troncales de sentido doble o ascendente de las carreteras de titularidad estatal, y de aquellas que perteneciendo a otras administraciones sean de alta capacidad, y un número residual de tramos de otras características necesarios para garantizar la conectividad entre los troncales anteriores.

El conjunto de datos resultante debía cumplir los siguientes requisitos para poder ser empleado en las siguientes etapas del proceso:

- Requisito 1: correcta **identificación de vial**, acorde con la nomenclatura del titular. Se revisaron los viales de IGR-RT objeto de este trabajo respecto, fundamentalmente, del Catálogo de Carreteras que publica anualmente el Ministerio [9], y de los respectivos de otras administraciones para los tramos pertenecientes a otros titulares.
- Requisito 2: correcta asignación del valor del **sentido de la vía** (ascendente, descendente o doble) al tramo. El modelo de datos no contemplaba esta información asociada al tramo y para satisfacerlo fue necesario identificar los valores correctos del sentido y asignarlos a los tramos a partir de la información de los PP. KK.
- Requisito 3: **continuidad topológica** de los tramos, mediante la ejecución de algoritmos para garantizar la continuidad de las vías de interés.



Figura 3. Pasos para llegar a un conjunto de datos linealmente georreferenciado



Figura 4. A la izquierda, en azul, tramos de carretera disponibles en IGR-RT para una zona determinada; a la derecha, en rojo, tramos seleccionados sobre los cuales se realizó el proceso de referenciación lineal

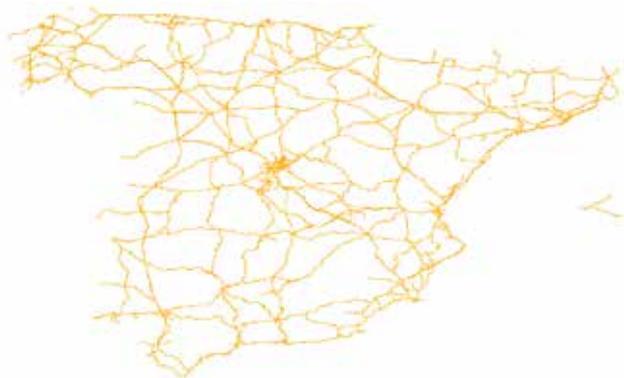


Figura 5. Selección de 120.000 tramos de IGR-RT que dan lugar a 2.500 tramos en HERMES

En las imágenes que siguen se muestra un ejemplo del resultado de esta etapa del trabajo:

Como resultado se obtuvo un subconjunto de, aproximadamente, 120 000 tramos a partir del conjunto inicial de 300 000 tramos de carretera de orden principal.

El siguiente paso, la unión de tramos pertenecientes a una misma vía que únicamente son cortados en caso de que exista intersección a nivel con otra vía de interés, redujo este número a unos **2 500 tramos desprovistos de atributos**. La información de los atributos de IGR-RT ya no está implícita en las geometrías pero tampoco se pierde sino que es exportada a tablas alfanuméricas, una por cada atributo, donde cada registro contiene el valor que adopta el atributo entre pares de coordenadas inicio y fin a lo largo de todo el trazado de la vía.

En segundo lugar, se llevó a cabo la **recopilación de los elementos puntuales necesarios para calibrar** (medir distancias a lo largo de la vía desde un punto origen de la misma) las geometrías procedentes del paso anterior. Estos elementos puntuales fueron los hitos kilométricos procedentes de los titulares y, subsidiariamente, de la Dirección General de Tráfico.

Estos elementos puntuales debían cumplir los siguientes requisitos para poder ser empleado en las siguientes etapas del proceso:

- Requisito 1: coherencia en la **nomenclatura** de viales entre ambos conjuntos de datos (geometrías lineales y puntuales), dado que el algoritmo de calibración necesita un atributo común para poder vincular las geometrías puntuales (PP.KK.) a las lineales.
- Requisito 2: **unicidad de hitos** para cada vía. Este requisito implica la depuración de datos duplicados, erróneos e incoherentes entre distintas fuentes.
- Requisito 3: **exactitud posicional** de los hitos. En el caso de uso que estamos analizando, se consideró que los PP.KK. debían tener una exactitud mínima en torno a 10-20 m.



Figura 6. Recopilación de unos 31000 hitos kilométricos que han permitido calibrar 120.000 tramos de IGR-RT

Como resultado, se obtuvo un subconjunto de, aproximadamente, **31 000 hitos kilométricos**, para calibrar los 2 500 tramos resultantes del paso anterior.

Una vez disponemos de las geometrías lineales y de los elementos puntuales que permitirán calibrarlas, se lleva a cabo la **calibración**.

Se llevaron a cabo diferentes pruebas con los módulos de referenciación lineal de ArcGIS 10.4, QGIS 2.18 y QGIS 3.6. Tras evaluar la transparencia del proceso de calibración y los resultados obtenidos, con cada software, finalmente **se utilizó QGIS 3.6** [8] para calibrar la totalidad de los datos. La decisión se debió fundamentalmente a una mayor claridad en la explicación de la causa de los errores de calibración ofrecida por el programa, que permitió subsanarlos en muchos casos y aumentar así el porcentaje de geometrías calibradas respecto a los resultados conseguidos con otro software.

Finalmente, la cuarta etapa consiste en **volcar los datos alfanuméricos sobre las geometrías calibradas**. Como se indicaba en puntos anteriores, dichos datos pueden hacer referencia tanto a elementos puntuales ubicados en un punto determinado de la vía como a características de la propia carretera que se extienden entre dos localizaciones conocidas. En cualquiera de los dos casos el evento o característica debe estar geolocalizado en base al punto o puntos kilométricos en o entre los que se encuentra.

En esta cuarta etapa los obstáculos más habituales que nos hemos encontrado han sido los siguientes:

- Falta de adecuación de la calibración a la realidad del catálogo de carreteras en el inicio o el fin de vía: esto ocurre cuando el catálogo indica que la vía termina o comienza en un PK determinado pero de acuerdo a los resultados de la calibración el punto de inicio o final es distinto.
- Puntos kilométricos en los que la parte decimal supera las unidades que el algoritmo de calibración espera. Esto sucede en ocasiones cuando ha habido



### La aplicación de esta metodología redundante en la mejora de la calidad de datos iniciales

Tras llevar a cabo el proceso completo por primera vez, se pusieron de manifiesto una serie de errores, debidos fundamentalmente a los siguientes motivos:

- falta de actualización de las carreteras
- incorrecta identificación de determinadas carreteras
- hitos kilométricos erróneamente asignados
- hitos kilométricos de numeración repetida en distintos puntos de la vía

Se procedió a la corrección de dichos errores, y una vez hecho esto, se realizaron varias iteraciones sobre los datos corregidos, hasta llegar a un conjunto de datos con la calidad suficiente (entendiendo como tal un conjunto de geometrías que ha permitido llevar los datos del catálogo del Ministerio en un porcentaje superior al 99% de los datos).

Parece evidente, por tanto, que este proceso ha permitido evaluar y mejorar la exactitud temática de los datos relativos a la RCE contenidos en el conjunto de datos de IGR-RT, así como detectar errores de comisión y omisión. Este incremento de calidad de los datos y el hecho de contar con un conjunto de líneas calibradas sobre las que volcar diversos atributos no recogidos en IGR-RT, han sido los beneficios fundamentales de este ejercicio.

### Obstáculos a la hora de aplicar esta metodología

No debemos dejar de lado el análisis de las dificultades a las que se debe hacer frente cuando se tiene el objetivo de generar un conjunto de datos acorde al modelo de referenciación lineal para la difusión de los datos:

- Es necesario un trabajo de depuración previa a menudo no automatizable, si bien este trabajo se reduce considerablemente en cada iteración, al mismo tiempo que la calidad de los datos va mejorando.
- A veces es necesario crear atributos adicionales que permitan agilizar el proceso.
- Solamente es aplicable a conjuntos de datos que dispongan de PP. KK. (redes de carreteras y ferrocarril fundamentalmente).
- Existen fuentes de error aún no resueltas (vías circulares, puntos kilométricos que muestran más de 1 km entre dos hitos kilométricos consecutivos, etc.), debido a los cuales no se ha podido calibrar la totalidad de los datos.

### Viabilidad de la aplicación de la metodología a otros conjuntos de datos

Como se indicaba al principio del artículo, este proceso se ha realizado sobre las carreteras cuya titularidad corresponde a la Administración General del Estado (RCE), como piloto para evaluar la viabilidad de efectuar este



Figura 10-. Utilización del proceso de calibración y segmentación dinámica dentro del proceso general de control de calidad

proceso sobre todas las carreteras de los otros catálogos (de Comunidades Autónomas y Diputaciones Provinciales fundamentalmente) a los que se tenga acceso.

Si bien los requisitos que los conjuntos de datos de partida deben cumplir (tanto a nivel de actualización como de exactitud temática) para que el resultado sea aceptable son muy exigentes, el hecho de tener que garantizarlos, unido a la posibilidad de llevar a las geometrías troncales de las vías los atributos definidos en los catálogos de los titulares, permitirán agilizar el contraste de los datos de IGR-RT respecto a la fuente de referencia, redundando en una mejora en la calidad de los datos.

## 6. FUTURAS ACTUACIONES

Como consecuencia de la realización de este ejercicio de referenciación lineal sobre un subconjunto de los elementos de IGR-RT, se ha puesto de relevancia la necesidad de evolucionar el modelo de datos para dar una respuesta más adecuada y con mayor celeridad a las necesidades de segmentación dinámica que pueda haber por parte de otros organismos y usuarios. Esta evolución a corto plazo consistiría en:

- **Añadir PP. KK. decimales:** actualmente, el modelo solo contempla PP. KK. enteros; sin embargo, existen tramos de carretera y carreteras completas cuya longitud es menor de 1 o 2 km. Por lo general, en estos casos se dispone de hitos kilométricos referidos a los puntos inicial y final de la vía que, salvo algunas excepciones, no corresponden a PP. KK. enteros sino con decimales, que el modelo de datos actual no permite integrar (de hecho, la calibración ha requerido emplear este tipo de PP. KK., externos a la base de datos de IGR-RT).
- Adición del **atributo sentido en la tabla de tramos** para todos los atributos troncales pertenecientes a carreteras. Actualmente este atributo está presente en la tabla de PP. KK. de la base de datos pero no en la

de tramos. Sin embargo, para realizar la calibración ha sido necesario identificar si un tramo era de sentido ascendente, descendente o doble, ya que a menudo la kilometración no es la misma para los dos sentidos.

#### - **Ampliación del dominio del atributo tipo tramo.**

Actualmente el dominio acepta 4 posibles valores: troncal, enlace, vía de servicio y rotonda. La clasificación de los tipos de tramo utilizados en los inventarios de elementos de carreteras (en los cuales los registros pueden encontrarse geolocalizados tanto a través del PK y el elemento de la carretera al que corresponden, como mediante sus coordenadas X, Y) es más amplia, e incorporar estos atributos sería necesario para integrar IGR-RT con dichos inventarios de forma completa.

El piloto descrito en este documento se ha realizado sobre un eje único. El siguiente paso lógico sería realizar la calibración sobre calzada doble y, posteriormente, incorporar algún tipo de calibración sobre ramales y enlaces, para lo cual la ampliación del modelo de datos de acuerdo a lo descrito en los párrafos anteriores es esencial.

Finalmente, y aunque no se trata de un producto directamente relacionado con la referenciación lineal, todo este proceso ha puesto de manifiesto la necesidad de poder generar **productos multiescala** a partir del conjunto de datos de IGR-RT, que permitan al usuario acceder a los datos de acuerdo a sus necesidades específicas. Entendemos que ello debe hacerse a partir de la mejora de la caracterización de los tramos de la red, y siempre analizando los conjuntos de datos y atributos más demandados por el usuario.

## REFERENCIAS

- [1] Especificaciones del producto Información Geográfica de Referencia de Redes de Transporte del IGN.
- [2] Directiva europea 2007/2/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 14 de marzo de 2007 por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea (Inspire):
- [3] Ley 14/2010, de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España.
- [4] Real Decreto 2/2020, de 12 de enero, por el que se reestructuran los departamentos ministeriales.
- [5] Plan de Innovación para el Transporte y las Infraestructuras 2018-2020, del Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana (anteriormente Ministerio de Fomento).
- [6] ISO 19148:2012 Geographic information — Linear referencing
- [7] Catálogo de carreteras de Álava. Portal del Gobierno Vasco de la Diputación Foral de Álava.
- [8] Introducing the Linear Reference System in GRASS (Radim Blazek). [Proceedings of the FOSS/GRASS Users Conference 2004 - Bangkok, Thailand, 12-14 September 2004].
- [9] Catálogo de carreteras del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

## AGRADECIMIENTOS

Este artículo no habría sido posible sin la confianza depositada en el equipo de IGR-Redes de Transporte del IGN por parte de los responsables del proyecto HERMES del Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana (Pascual Villate, Tania Sánchez Gullón, Alberto Compte, César Iván Rodríguez Cano, y, en sus inicios, Eduardo Díaz Fraile, todos ellos de la Subdirección General de Planificación de Infraestructuras y Transportes).

Del mismo modo, los resultados habrían sido mucho más desalentadores sin la ayuda brindada por la Subdirección General de Explotación de Carreteras de dicho Ministerio (Luis Gómez Díaz- Madroñero, Silvia Fernández-Sousa y Beatriz Sánchez Cobo).

### Sobre los autores

#### **Alicia González Jiménez**

*Pertenece al Cuerpo de Ingenieros Geógrafos del Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana y actualmente es Jefa del Área de Cartografía Básica y Derivada del Instituto Geográfico Nacional. Fue responsable del proyecto CartoCiudad desde su nacimiento en 2006 hasta julio de 2017, y del proyecto para la generación y mantenimiento de conjunto de datos de IGR-RT, en el cual continúa como responsable. Ha participado en la elaboración de la especificación sobre el tema de Direcciones del Anexo I de la Directiva INSPIRE y en relación con esta temática, también ha estado muy involucrada en el proyecto EURADIN y diversos foros de Direcciones que han surgido posteriormente.*

#### **Cristina Calvo**

*Pertenece al Cuerpo de Ingenieros Geógrafos del Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana y actualmente trabaja como Técnica Superior en el equipo de Redes de Transporte del Área de Cartografía Básica y Derivada del Instituto Geográfico Nacional, desarrollando nuevas líneas de innovación para el mantenimiento actualizado y la mejora de la calidad de la IGR-RT.*