

Desarrollo sostenible de una infraestructura ciclista mediante enfoque SIG



Autor: Pérez Casanova Gómez, Germán

DNI 32087807 R

Tutores TFG-A: Francisco Ortega Riejos

Nieves María Martínez Roldán

Teófilo Zamarreño García

Grado en Fundamentos de la Arquitectura 2016-2017

Agradecimientos

A mis tutores, que han sido comprensivos y pacientes durante la elaboración de mi trabajo.

A Francisco Ortega Riejos por su gran experiencia en el área de teoría de localización y apoyarme en mi elección del tema del trabajo.

A Ana Rosa Diánez Martínez por iniciarme en la teoría de grafos y la algoritmia.

A Juan Manuel Quijada por ayudarme a entrar en el mundo de las Telecomunicaciones y así entender de verdad el funcionamiento de las Smart Cities.

Gracias a ustedes he conseguido encontrar mi propio perfil del cual especializarme y ser feliz profesionalmente.

Resumen

Un gran número de ciudades están buscando emerger como inteligentes para poder ofrecer un desarrollo urbano basado en la sostenibilidad. Uno de los logros para que funcione esto es saber crear una inteligencia artificial que sepa articular coherentemente grandes bases de datos obtenidos por sensores (tiempo, tráfico, población, gastos energéticos, etc...)

Este estudio propone un método SIG para realizar un proyecto de integración de una infraestructura urbana de bicicletas en Jerez de la Frontera, incluyendo tanto la optimización del diseño, como el mantenimiento de la red física y virtual una vez realizada.

Se demostrará la importancia del uso de datos abiertos como aportación colaborativa ciudadana para ayudar a efectuar esa autogestión (Población / Viario urbano / Usos del suelo / Portaleros) y la necesidad obligatoria de un replanteo de ello para conseguir reciclar la infraestructura virtual ofrecida hacia la que deseamos conseguir.

El resultado final propone una planimetría digital dinámica que se actualiza a tiempo real a través de la abstracción de lo ocurrido en el medio físico y ayuda a realizar acciones automáticas y la toma de decisiones que requerirán una acción manual.

Palabras claves: préstamos de bicicletas, sostenibilidad, ciudades inteligentes, inteligencia artificial, grafos, GIS, SIG, Jerez.

INDICE

INTRODUCCIÓN Motivos y métodos.....	5
Motivación e interés personal.....	5
Objetivos.....	6
Metodología de trabajo.....	7
1. CIUDADES INTELIGENTES Contexto urbanístico.....	8
1.1. Definición.....	8
1.2. Elementos claves para una ciudad inteligente.....	8
1.3. Contexto de las ciudades inteligentes en el urbanismo.....	9
2. INFRAESTRUCTURA CICLISTA Situación actual.....	10
2.1. Los servicios de préstamo de bicicleta.....	10
2.2. Tecnología en el diseño de una infraestructura	10
2.3. Características de la demanda del servicio.....	15
2.4. Reglas de diseño	19
3. TEORÍA DE GRAFOS Caso simplificado de la problemática.....	27
3.1. Introducción.....	27
3.2. Antecedentes históricos.....	27
3.3. Algoritmo de Dijkstra.....	29
3.4. Sistemas de Información Geográfica.....	33
3.5. Enunciado del problema.....	34
4. DISEÑO DE LA RED Mediante un enfoque basado en SIG.....	35
4.1. Límite del diseño.....	35
4.2. Replanteo de datos.....	40
4.3. Cálculo de la red.....	45
CONCLUSIÓN Resumen.....	46
ANEXO 1 Pesos de la demanda de origen y destino según usos catastrales	47
BIBLIOGRAFÍA Referencias	49

INTRODUCCIÓN Motivos y métodos

Motivación e interés personal

Desde hace unos años me he preguntado qué debía de ocurrir para que a un núcleo urbano se le catalogue como una “Smart City”. Esta inquietud me lleva a informarme del funcionamiento de algunas ciudades que se catalogan como tal y descubrir que la tecnología y la información es la clave para el éxito de estas.

Descubrí ejemplos como la toma de datos a tiempo de real por estaciones meteorológicas y haciendo una predicción de pluviometría para medir las necesidades de reducir o cortar por completo los sistemas automatizados de regadío.

Pero el aspecto que más me llamo la atención es la búsqueda de la movilidad sostenible, dado que esta es la que permite situar cualquier servicio correctamente en la ciudad y optimizar su ubicación o su funcionamiento a lo largo del tiempo.

Siempre me ha gustado el mundo de la tecnología, la informática y por supuesto el manejo de datos por lo cual al realizar esta primera búsqueda de información me sentí muy atraído en poder realizar un trabajo que pudiese ofrecer la respuesta a esta inquietud a la mayoría que leyese mi trabajo.

Con este trabajo pretendo adquirir las siguientes destrezas:

- Aprender a utilizar herramientas SIG para resolver problemáticas urbanísticas
- Aplicar el análisis espacial y de redes desde una visión arquitectónica
- Parametrizar criterios cualitativos del comportamiento del entorno urbano
- Aprender a rastrear, filtrar y utilizar grandes cantidades de datos abiertos
- Entender el funcionamiento de los servicios de préstamo de bicicleta
- Saber gestionar inteligentemente el servicio para optimizarlo

Objetivos

El objetivo de este trabajo pretende exponer un posible procedimiento para abarcar un problema tan extenso y complejo como el diseño de toda una infraestructura de bicicleta mediante un enfoque SIG y aprovechar esa algoritmia e información vectorial usada en el cálculo para su autogestión.

Para llevarlo a cabo solucionaremos problemas secundarios uno por uno citados a continuación:

- Análisis espacial masivo de las distancias entre terminales más corta de servicios de préstamo de bicicletas para la obtención de un indicador medio de la distancia aconsejable para ubicar paradas.
- Tratamiento inteligente Big Data obtenido desde API públicas con hojas de cálculo para la obtención de indicadores de atractividad urbana diferenciada por la calificación del uso parcelario. (No se llega a llevar a cabo, pero sería conveniente realizarlo)
- Realización de procesos espaciales como por ejemplo para vincular la información del parcelario al portadero y este al viario.
- Replanteo de los datos abiertos para que el dibujo vectorial no produzca resultados erróneos de cálculo.
- Cualificación de parámetros urbanos para obtener criterios para el diseño, como la jerarquía viaria.
- Ubicación de múltiples servicios simultáneamente mediante una modificación del algoritmo de Dijkstra por parte de la herramienta ArcGIS.

Metodología de trabajo

La metodología del trabajo para llevar a cabo este tipo proyecto de integración es tan compleja que se requiere obligatoriamente de la colaboración de un equipo multidisciplinar, con una o varios de estas aptitudes:

- Especializado en urbanismo y manejo del catastro
- Especializado en tratamiento de datos vectoriales
- Especializado en teoría de grafos y algoritmia
- Capacidad de tratar grandes bases de datos (Big Data)
- Estética de la web y de la visualización digital de la planimetría
- Sabe cómo funciona una aplicación web basado en SIG
- Entendimiento de los dispositivos con sensorización

Dado que he tenido que hacer de figura integradora de todas esas aptitudes la metodología de trabajo que he llevado a cabo ha sido desordenada y aleatoria según ha salido los problemas. Pero una vez finalizado el proyecto aconsejaría el siguiente orden:

- Cada uno de estos perfiles debe tener claro cuáles son las limitaciones y ventajas de las tecnologías usadas en las infraestructuras que se están diseñando, y situarse un poco en un futuro para buscar una flexibilidad y por lo tanto sostenibilidad.
- Mínimo un perfil debe entender bien cada una de las partes del proyecto, dado que será el que plantee la estructura global del proyecto en su inicio. Personalmente a cada vez que he ido aprendiendo más de los SIG, me he replanteado la elaboración de este trabajo ya que siempre descubría un modo de integrar todo mejor.
- Hay que plantear cuales son las condicionantes de la demanda de este servicio y cuáles son los factores que condicionan el cálculo de la red para obtener un resultado óptimo.
- Hay que realizar un replanteo del dibujo vectorial para que no produzca resultados erróneos de cálculo, solucionando problemas de topología.
- Se debe escoger la herramienta que ofrezca la algoritmia necesaria para realizar el cálculo como deseamos (ArcGIS) y si no hay que programarlo. Lo ideal es programarla en Python para un software de escritorio donde se llevará a cabo el cálculo y reutilizarlo para tu aplicación web.
- Se debe comprobar el resultado y realizarlo de nuevo con el ajuste requerido para producir uno distinto. Esto queda omiso en este trabajo por temas de extensión, aunque para obtener el diseño final se ha requerido realizarlo múltiples veces.
- Una vez obtenido el diseño final, se debería utilizar los mismos algoritmos y datos que han influenciado en ese resultado en esa aplicación web, y añadir un nuevo algoritmo o la modificación de uno existente para que realiza una determinada acción según los datos sensorizados.

1. CIUDADES INTELIGENTES Contexto urbanístico

1.1. Definición

Expongo varios fragmentos de diversas fuentes que definen correctamente lo que llamamos “ciudades inteligentes”:

- Wikipedia¹: *“Ciudades inteligentes, dado su origen natural de las Ciudades Digitales, se basa en el uso intenso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en prestación de servicios públicos de alta calidad y calidez, seguridad, productividad, competitividad, innovación, emprendimiento, participación, formación y capacitación. Una ciudad o complejo urbano podrá ser calificado de inteligente en la medida que las inversiones que se realicen en capital humano (...), en aspectos sociales, en infraestructuras de energía (...), tecnologías de comunicación (...) e infraestructuras de transporte, contemplen y promuevan una calidad de vida elevada, un desarrollo económico-ambiental durable y sostenible, una gobernanza participativa, una gestión prudente y reflexiva de los recursos naturales, y un buen aprovechamiento del tiempo de los ciudadanos.*
- El País²: *“La teoría dice que una ciudad inteligente es aquella que hace uso de los avances tecnológicos para mejorar la calidad de vida de sus habitantes. La práctica, sin embargo, sugiere que este concepto tiene múltiples matices e interpretaciones. <<Una ciudad inteligente es una urbe única que tiene un valor identitario>>, según Aina Calvo. <<En los tiempos que corren es una ciudad capaz de hacer mucho con menos. Es necesario una buena gestión de los recursos para mantener la calidad de los servicios>>, añadió la regidora de Palma de Mallorca. Iñaki Azkuna advirtió del peligro de simplificar este concepto. Una ciudad inteligente, bajo su prisma, no es Silicon Valley (...) sino aquella donde la inteligencia <<se pone al servicio del ciudadano>>”*
- Endesa: *“Una Smart City, o ciudad inteligente, se puede describir como aquella ciudad que aplica las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC) con el objetivo de proveerla de una infraestructura que garantice: Un desarrollo sostenible, un incremento de la calidad de vida de los ciudadanos, una mayor eficacia de los recursos disponibles, una participación ciudadana activa.”*

1.2. Elementos claves para una ciudad inteligente

A pesar de que las definiciones nos indica ya bastante bien los elementos que lo conforman, esta fuente a continuación marca bien cada uno de los puntos que colaboran para calificar una ciudad como inteligente. El “blog.andaluciaesdigital.es” propone las siguientes elementos claves:

- *“Soluciones de **acceso** libre a **plataformas** abiertas para fomentar la toma de decisiones compartida con el ciudadano en el centro de ellas.*
- ***Ciudadanos** inteligentes que participen en los procesos de toma decisiones y estén concienciados de los beneficios que les reportar el formar parte de una ciudad inteligente.*

¹ Colaboradores de Wikipedia. Wikipedia: Ciudad_inteligente. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2017 [consulta:3 de abril del 2017]. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Ciudad_inteligente

² Artículo: “¿Qué es una ciudad inteligente?”, publicado el 12/12/10 por David Fernández en el País

- *Sistemas de **sensorización** aplicados en mobiliario público que reporten datos de forma constante para una gestión eficiente de estas en la infraestructura que la integra.*
- *Uso de soluciones **Big Data** para la recogida, interpretación y respuesta e interconexión constante con la ciudadanía a través de redes interconectadas o elementos del mobiliario público que permiten reportar cualquier incidencia, consulta o reclamación.*
- *Edificios inteligentes que apuestan por el **ahorro energético** y la generación de sus propias soluciones para su autoabastecimiento energético.*
- ***Transporte sostenible** tanto en los sistemas de movilidad pública como en los privados a través de vehículos eficientes.*
- *Gestión del urbanismo y ordenación de las ciudades basada en el aprovechamiento de los recursos y su **gestión eficiente**.*
- *Elementos y herramientas de **ciberseguridad** que garantizan la privacidad en las comunicaciones y la gestión de los datos personales que reportan los ciudadanos y que custodia la administración.”*

1.3. Contexto de las ciudades inteligentes en el urbanismo

Estamos en una época que requiere un avance de la digitalización tal y como lo conocemos. El principio básico de las ciudades inteligentes es ofrecer un servicio de calidad a la ciudadanía para que esta colabore en un ahorro energético o de recursos, como ayudándoles a no consumir mucho en gasolina en la búsqueda de un aparcamiento³, y está a cambio con su participación ayude a la administración a guiar adecuadamente las exigencias de la demanda ciudadana en busca de la sostenibilidad.

Para que el ciudadano participe esa plataforma de acceso libre es requerida, es decir un entorno dinámico de visualización e interacción. Los propios Planes Generales de Ordenación Urbanística se ofrecen de muchos municipios aún se ofrece en formato “PDF” lo que imposibilita interacción alguna o reutilización de la información.

Sin embargo los sistemas de “web mapping” que permiten la visualización de cartografías podrían perfectamente integrar la información en sí para visualizar, descargar y editar, sin ser limitadas por la escala. Otras de las ventajas es poder trabajar no solo con capas como canalizaciones, arquetas, sino que podría hacerme como ciudadano un plano personalizado en que solo quiero ver las canalizaciones superiores a determinado diámetro con un tipo de arqueta específico y de repente poner la capa de árboles limitado a los de gran porte.

No obstante, hay que limitar la información que puede ver la población mediante perfil de visualizaciones que también permiten este tipo de plataformas, dado que algunas ciudades como Chicago ofrecen datos de las áreas más robadas que aporta dudosamente beneficios.

Nos encontramos en una generación que está demandando este tipo de servicios, existen numerosos empleos que buscan un perfil especializado en planeamiento urbano y en GIS que es el sistema tecnológico actual que permite llevar a cabo este tipo de plataformas dado que es muy importante entender que no solo se va a realizar un planeamiento para una futura infraestructura llevada a cabo en el medio físico, sino que también requerirá la elaboración de la estructura que se coordinará con la plataforma virtual y esta, y que además sea flexible para coordinarse con otras de distinto origen o tipología.

Empresas privadas como la del famoso buscador o de la red social saben mejor nuestros propios gustos y deseos que nuestra administración municipal porque tiene una plataforma más inteligente con una algoritmia ejemplar.

³ Francisco A. Ortega-Riejos, Ph.D. *Modelling the navigation to the nearest park-and-ride facility. S.I. : CLAIO 2016*

2. INFRAESTRURA CICLISTA Situación actual

2.1. Los servicios de préstamos de bicicletas

A partir de la segunda revolución industrial y debido a los altos crecimientos económicos repartidos por el mundo, se incrementa el uso del automóvil de una forma insostenible que trae calentamiento global, la contaminación del aire y atascos viarios.

Muchos países actualmente están tomando acciones para incentivar al máximo número de personas a usar el transporte público para mejorar estos problemas, sin embargo, la accesibilidad o el confort tanto como para los tiempos de espera o la calidad en el interior del vehículo ha sido un determinante negativo para elegir este medio de transporte frente a otros.

La bicicleta ofrece claras ventajas ya que no contamina, nos ayuda a ahorrar por su bajo coste, contribuye a mejorar nuestra salud física, los tiempos de trayecto son bastante homogéneos en distancias iguales, no existen tiempos de espera y la libre elección del destino. Sin embargo, el problema del vandalismo es uno de lo más presentes, y ha obligado a tomar medidas como situar zonas vigiladas de aparcamiento.

Los servicios de préstamo de bicicletas (BBS) es un nuevo concepto de transporte público ofreciendo a los ciudadanos una alternativa sostenible y flexible orientado a servir cortos trayectos en una determinada zona de influencia, por ello se incentiva mediante tarifas gratuitas si tardas menos de 30min como para Sevilla. Su mayor desventaja en esta ciudad es su falta de mantenimiento, la ausencia de aparcamientos e intermodalidad y el gran número de robos.^{4 5}

2.2. Tecnología en el diseño de una infraestructura

El diseño de nuestra red va estar condicionado a las características de la tecnología usada para conformar esta infraestructura de préstamo de bicicletas. Como se puede ver en los siguientes ejemplos expuestos cambian bastante el diseño según cual se esté usando:

CASO1: Sin paradas de estacionamiento. Hangzhou (China)⁶



Foto tomada de "<http://shanghaiist.com/2017/06/27/hangzhou-shared-bike-graveyard.php>"

Características:

- No existen paradas
- GPS en bicicletas

Puntos positivos:

- Lo más barato
- Tener control de toda la flota

Punto negativo:

- Se dejan en cualquier sitio.

En este caso de China vemos la problemática de que haya servicios que permita que se deje la bicicleta en cualquier sitio porque si la flota es demasiado grande puede provocar la necesidad de reubicarlas en un cementerio de bicicletas como vemos en la imagen adjunta para que no moleste la vía pública, ya que están son tratadas como mera basura amontonándose entre sí.

⁴ Artículo: "El uso de bicicletas baja un 15%, publicado el 26/02/2016 en el Diario de Sevilla"

⁵ Artículo: "Los robos de bicicletas de Sevici se multiplican por diez en año y medio, publicado el 25/11/2015 en el Diario de Sevilla"

⁶ Artículo: "How dockless bike sharing has flooded china", publicado el 27/03/2017 en la siguiente dirección web <http://circulatenews.org/2017/03/how-dockless-bike-sharing-has-flooded-china/>

CASO2: Estacionamiento en bornales con terminal. Sevilla (España)



Foto tomada de "<https://svqenbici.files.wordpress.com/2011/07/>"

Características:

- Paradas con una terminal
- Capacidad estática de paradas
- Sin GPS⁷

Puntos positivos:

- Más estético

Punto negativo:

- Paradas estáticas
- Problemas de capacidad
- No controlas la ubicación de tu flota fuera de estacionamiento.

Este diseño es el que vamos viendo por toda España, sin embargo, carece de la flexibilidad necesaria para que su uso incremente ya que suele producir muchos casos de estacionamientos completamente vacíos y de otros llenos.

CASO3: Estacionamiento simple por móvil. Santa Mónica (EEUU)



Foto tomada de "<https://medium.com/social-bicycles/bikeshare-the-dawn-of-the-smartbike-and-the-death-of-dock-blocking-9f52bb642ae>"

Características:

- Paradas sin terminal
- Utilización del móvil
- Bicicletas con dispositivos
- Anclajes no electrónicos

Puntos positivos:

- Más estético
- Más barato que con bornales
- Controlas la ubicación de tu flota

Punto negativo:

- Obliga a siempre tener el móvil
- No decides donde dejar tu bicicleta

Este diseño es sin duda está en el camino correcto, el estacionamiento es simple y el coste aumentado lo tiene la bicicleta.

⁷ Artículo: "¿Llevan GPS las bicicletas para evitar robo?, publicado el 14/01/2010 en la dirección web "<http://www.avesnocturnas.es/2010/01/llevan-gps-las-bicicletas-de-sevici-para-evitar-robos/>"

CASO4: Estacionamiento mediante accesorio portátil de anclaje. BitLOCK⁸



Características:

- Paradas sin terminal
- Utilización del móvil
- Bicicletas sin dispositivos

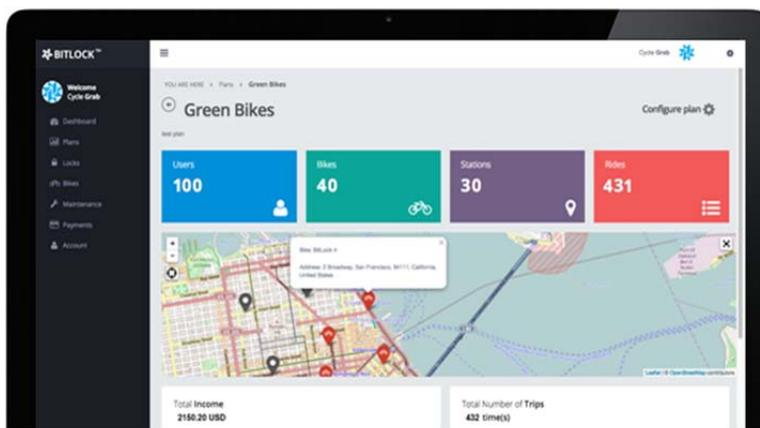
Puntos positivos:

- Más estético
- Flexibilidad en aumento de la capacidad
- Bajo coste
- Te localizan por el uso de su aplicación si no desactivas la opción del móvil.

Punto negativo:

- Estas localizando el accesorio y no la bicicleta
- Obliga siempre a tener el móvil para realizar el desbloqueo.

Este caso está bien encaminado ya que descarta el uso de los bornales, llamado en inglés ("Docks"), también me parece interesante porque propone la infraestructura virtual, aunque en mi opinión es muy pobre. Solo localiza puntos, quedando descartada toda la riqueza de lo que significa una RED.



Vistos estos ejemplos optaremos por escoger una tecnología basada en el caso 1, 3 y 4:

- Bicicletas:
 - o El servicio inicial tiene una flota de bicicletas con dispositivo **GPS**.
 - o En caso de que otra empresa quiera utilizar nuestra infraestructura, se le ofrecerá la opción de registrar sus bicicletas inteligentes con dispositivos de localización mediante un **API**. (No queremos que haya diferentes tipos de paradas según la empresa que la gestiona, sino solo una). Esto permitiría incluso que un particular registrase su propia bicicleta y la pusiese en circulación para ganar dinero. Me podría incluso adelantar que podría hasta existir un "crowdfunding" para la elaboración masiva de estas bicicletas y que los usuarios que participaron se llevaran un porcentaje de lo invertido al registrarlo en nuestro sistema.

⁸ Fotos tomadas de la web del producto BitLock: <https://www.bitlock.co/bikeshare.html>

- El sistema admite bicicletas sin geo localización de particulares, pero al igual que cuando aparcas en plazas publica y tienes que comprar un ticket en una terminal tendrás que hacerlo del mismo modo. (Es necesario contabilizar siempre la ocupación de las paradas, además esto permite averiguar el flujo de bicicletas particulares sin GPS frente a otras)

- Paradas:
 - El estacionamiento se hará sobre anclajes como los del CASO 3, en el que si se requiere se puede aumentar el número por su **bajo coste**.
 - Posibilidad de tener paradas con **terminales** y sin ellas, o incluso la no necesidad de no haber una parada.
 - En caso de darse el permiso para que otra empresa elaborase paradas se debería indicar la ubicación de estas según la capacidad que están demandando ubicar. Por permitir el uso de bicicletas que consume **electricidad** mediante una solución de utilización de energías renovables en las paradas, pero estas deberán también disponer de GPS para ser registradas.

- Sistema:
 - Disponemos la posición a **tiempo real** de todas las bicicletas suscrita a nuestro servicio.
 - El usuario tanto por **móvil** en el caso de terminales sin bicicletas o por terminal podrá confirmar que la bicicleta está estacionada.
 - El usuario particular que por mayor seguridad quiere dejarlo en el estacionamiento deberá también notificarlo a cambio de un coste muy reducido periódico.

- Funcionamiento:
 - Antes de ir a la parada (opcional): Visualizo si existe bicicletas disponibles en la parada más cercana. En caso de que no, no habrá problema ya que el sistema mediante una predicción del histórico de los datos almacenados te indicará el tiempo de espera que será breve debido a que los usuarios serán premiados con un descuento en el siguiente pago periódico al ser el responsable de estacionar tres de las primeras bicicletas de la parada.
 - Salida de la parada: Mediante terminal o móvil visualizo si existe una bicicleta disponible, y la selecciono para usarla.
 - Llegada a la parada: Mediante terminal o móvil confirmo que esta estacionada. En caso de que este lleno lo aparco en el siguiente lugar más cercano, aunque no debería pasar ya que este sistema mandaría un aviso de que hay que ampliar la capacidad porque habitualmente se está aproximando al llenado de la parada.
 - Durante el estacionamiento: Si se mueve esa bicicleta sin solicitud previa de uso, saltará un aviso silencioso a la empresa que lo comunicará a las autoridades.

Os presento un ejemplo de la infraestructura virtual que ofrecería la elección de esta tecnología:

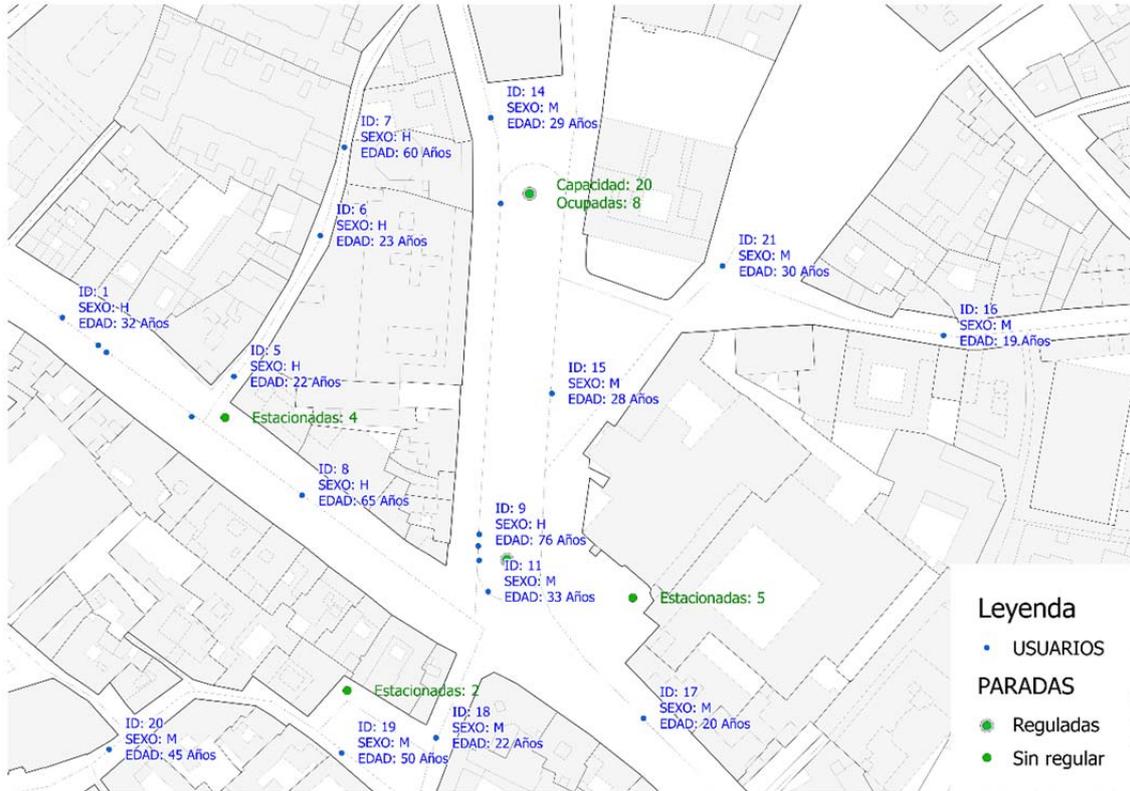


Fig. 1. Plano de elaboración propia de una posible infraestructura virtual de bicicletas

La administración vería una red virtual de sus instalaciones mostrándole:

- Capacidad real de las paradas.
- Bicicletas estacionadas en paradas reguladas y sin regular.
- Posición de los usuarios a tiempo real
- Histórico de las rutas realizada por cada usuario
- Histórico del tráfico de los viales por los usuarios de este servicio

Los usuarios verían una red con menos información:

- Bicicletas disponibles de la parada
- Mensaje de que la parada este casi llena.
- Mensaje de que la parada tiene menos de tres bicicletas para posibilitar el estacionamiento en esta para conseguir bonificación. (Permitiría ayudar a que bicicletas en paradas no reguladas se reubiquen poco a poco adecuadamente, a pesar de ya tener la información de que varios usuarios han preferido estacionar ahí, para una posible futura parada regulada)
- Estadísticas del tiempo estacionado y utilizado y otros datos significativos como los kilómetros realizados diariamente de media.
- El histórico de los trayectos realizados.

El propietario de la bicicleta registrada por API:

- Vería el conjunto de su flota simultáneamente.
- La misma información que ven los usuarios que usan las bicicletas que se han registrado.

2.3. Características de la demanda del servicio

Este servicio no tiene por qué ser mejor que otro ya existente, sino una alternativa sostenible o incluso complementaria. Para ello hay que comprobar que la infraestructura planteada se sostenga en los siguientes puntos.

1.3.1. Atractividad del servicio

Por regla general la ubicación de un servicio de transporte se basa en la ubicación de su parada y esta depende tipo de servicio que estamos ofreciendo para nuestra demanda:

- Servicio atractivo: La demanda requiere tenerla cerca
- Servicio repulsivo: La demanda requiere tenerla lejos
- Mixto: La demanda desea tenerla lejos/cerca, pero existen otros factores que le obligan a alejarse o acercarse de ella.

En nuestro caso el servicio de préstamo de bicicletas es **Mixto**, ya que es atractivo y también tenemos que distanciarnos de los lugares sin vigilancia nocturna (ej: los polígonos industriales). Además, distinguimos dos tipos de demandas una demanda origen y una de destino.

1.3.2. Perfil de la demanda origen

Dado que estamos ubicando un servicio en un entorno urbano, desde una aproximación general la demanda sería la población de esta y los turistas que vienen a él.

Para aproximarnos más consultamos fuentes externas que nos informan de que, "el perfil general de la población universitaria es muy adecuado a la utilización de la bicicleta: gente joven y usuaria del transporte público"⁹.

Si esto es el caso ya nos está diciendo que nuestro perfil se condiciona a un horario del día. Ya que un **estudiante** parte de su casa a trabajar, vaciando las bicicletas de su estacionamiento y llenando gradualmente las del lugar de estudios, y al finalizar su jornada retorna.

Pero no es el único perfil que disponemos, también disponemos el de un **trabajador** que prefiere este servicio frente al uso del automóvil particular u otro modo alternativo de transporte público.

El **turista** como persona que viene a la ciudad sin transporte particular y prefiere el uso de este para desplazarse que el de un coche alquilado u otro modo alternativo público.

1.3.3. Perfil de la demanda destino

Por la misma razón que estamos en este entorno urbano, la demanda de destinos serían los otros servicios que ofrecen a esos estudiantes, trabajadores y turistas.

- Colegios de enseñanza secundaria
- Universidades
- Campus universitarios
- Áreas concentradas de comercios urbanos
- Parques
- Comercios
- Gimnasios

⁹ Estudio previo para la implantación de un Sistema de préstamo de bicicletas en Madrid, octubre 2008, Transyt

- Servicios hosteleros
- Hospitales y centros de salud
- Monumentos
- Edificios religiosos
- Complejos deportivos

Como ya indicamos antes, las industrias a pesar de que es un destino posiblemente deseado para un trabajador se evitarán si no hay de una calidad de vivienda en el entorno que le dé una seguridad a la parada.

1.3.4. Obtención de la demanda

A continuación, nos basaremos en los usos del catastro para establecer unos factores bajo mi mera opinión a falta de un análisis serio contrastando los datos de tráfico del API de los servicios de préstamos de bicicleta (ej: "Citybik") con los usos (ej: Sede Electrónica del Catastro) generando así estadísticas de perfiles de consumo del servicio y sus tendencias.

Una tabla resumen de los pesos de demanda y origen según usos catastrales (ANEXO 1)

COD	F. ORIGEN	F. DESTINO
[ECL]	10	0
[V]	2	0
[G], [GH.], [GP.], [GS.], [GT.], [Y], [YAM], [YC.], [YGR], [YH.], [YRS], [YSA], [YSC], [YSL], [YSN], [YSO]	1	0
[EUN]	0	20
[EIN]	0	15
[EBL]	0	10
[K..]	0	5
[T..]	0	3
[E], [EBS], [EMS], [EPR], [C..], [GC.], [GR.], [O..], [P..], [R..]	0	1
[A.], [B.], [I.], [J.], [M], [YDG], [YDL], [YDS], [YJD], [YOU], [YPO], [YSP], [YTD], [YTZ], [Z..]	0	0

Tabla. 1. Resumen de factores a aplicar por usos catastrales

Estos usos catastrales se pueden utilizar en un SIG debido a que he procesado sus datos alfanuméricos en Python generando unos datos vectoriales con una geometría de puntos(como punto interior de la parcela donde procede los datos) para toda España (excepto País Vasco y Navarra), para así poder utilizar esta misma metodología en cualquier ciudad del país.

CP	CM	AMBITO	PARCELA	VIA_ID	VIA_TIPO	VIA_NOMBRE	VIA_NUM	VIA_LETRA	IND_EDIF	SUP_LIBRE	SUP_C_TOTL
11	20	R	53020A01200	10505	LG	LUGAR GIBALBIN	93		0,02	13559	208
11	20	R	53020A01200	0			0		0	54741	0
11	20	R	53020A01200	0			0		0	21018	0
11	20	R	53020A01200	10505	LG	LUGAR GIBALBIN	95		0,03	8520	255
11	20	R	53020A01200	0			0		0	1544602	0
11	20	R	53020A01200	10505	LG	LUGAR GIBALBIN	0		0	841542	1196
11	20	R	53020A01200	10717	LG	DS-GARZOS CTJO	0		0	450171	560
11	20	R	53020A14900	0			0		0,07	22375	1637
11	20	R	53020A14900	10167	CR	PINO SOLETE ELS	0		0	55738	127
11	20	R	53020A14900	10167	CR	PINO SOLETE ELS	0		0,01	176407	2122
11	20	R	53020A14900	10167	CR	PINO SOLETE ELS	0		0,01	14470	200
11	20	R	53020A14900	10167	CR	PINO SOLETE ELS	0		0,01	79355	589

Tabla. 2. Ejemplo de base de datos vinculado a geometría (Parte izquierda)

SUP_C_SBRS	SUP_C_BJRS	SUP_C_CUB	ALTURA	DESTINO	TIPOLOG_V	YR_ANTIGUE	YR_REFORMA	CALIDAD	UI_TOTAL
208	0	208	1	['AAP', 'AAL']	21	1987	2000	4	2
0	0	0							1
0	0	0							1
255	0	255	1	['AAL', 'YPO']	21	1983	2007	4	1
0	0	0							1
1196	0	1196	1	['IAL', 'AAL']		2014	0	5	1
560	0	0	1	['I', 'V']	31	1950	0	3	1
1637	0	1637	1	['BIG', 'V']	31	1975	0	4	1
127	0	127	1	['A', 'V', 'BI']	31	1920	0	2	1
2122	0	1939	1	['V', 'BIG', 'Y']	31	1930	0	3	2
200	0	200	1	['V', 'Y', 'K']	31	1978	0	6	2
589	0	589	1	['V', 'Y', 'BI']	21	1930	0	4	4

Tabla. 3. Ejemplo de base de datos vinculado a geometría (Parte derecha)

Dado que tenemos los puntos dentro de la parcela y sino la referencia catastral, o bien por localización de punto dentro de polígono podemos vincular los datos de un punto a una parcela para colorearlas, o por la referencia catastral si esta está también escrita en la parcela.



Fig.2. Plano base del parcelario con las capas de elementos constructivos y la de detalles de elaboración propia

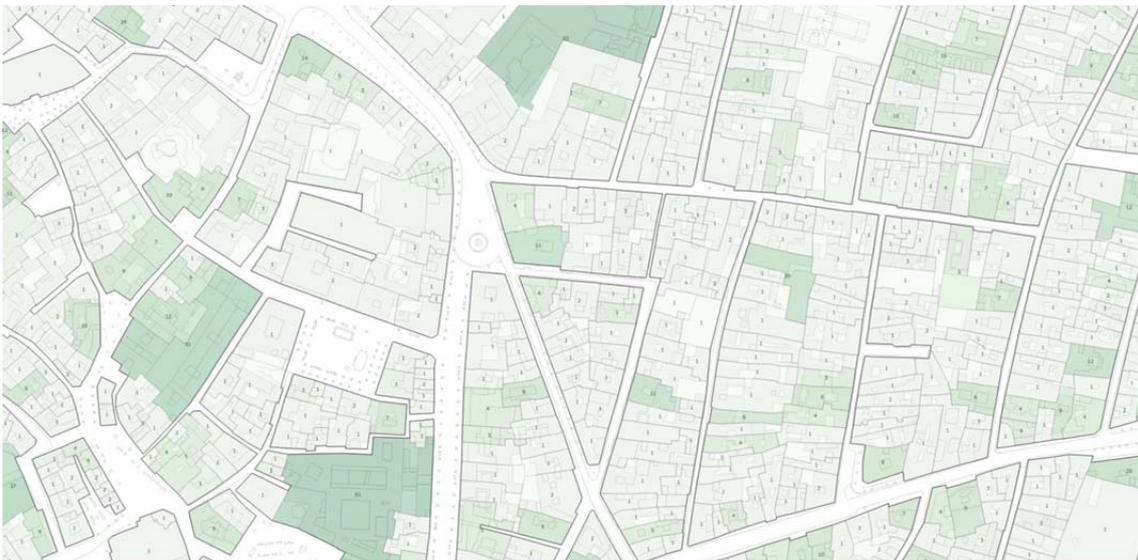


Fig.3. Plano base del parcelario mezclado con nuestra capa de puntos de datos de unidades inmobiliarias (UI)



Fig.4. Plano base del parcelario mezclado con nuestra capa de puntos de datos de antigüedad de edificación



Fig.5. Plano base del parcelario mezclado con nuestra capa de puntos de datos de tipologías residenciales

Se puede realizar muchas planimetrías adicionales, estas son solo un ejemplo de que con una simple capa podemos visualizar los datos de muchas formas, y del mismo modo enseñar a la maquina selectivamente cuando usar estos datos y cuáles de ellos.

En el caso para un cálculo de red por algoritmos como los que ofrece el software ArcGIS , los datos de bienes inmuebles y el de usos , junto con la edificabilidad y el coeficiente de participación de esos usos por parcela , nos permite afinar muy bien, a pesar de que nosotros aquí solo mostraremos el método pero no haremos el cálculo con esos pesos.

2.4. Reglas de diseño

Nuestra red está conformada de paradas que son los nodos de nuestra red y de la vía pública que son los tramos que las conectan entre sí.

Para la ubicación de las paradas tenemos dos problemas principales presentes, dado el tipo de infraestructura que deseamos obtener:

- Ubicación de las paradas iniciales para ofrecer unas condiciones mínima del servicio al núcleo urbano
- Ubicación de paradas suplementarios o el aumento de la capacidad de esta según los datos recopilados.

Este segundo no lo vamos a incluir en este trabajo dado la dificultad que requiere y por lo tanto del tiempo que necesitaría, solo se puede comentar que siempre es mejor ubicar todas las paradas posibles primeros y lo voy a graficar mediante este ejemplo.

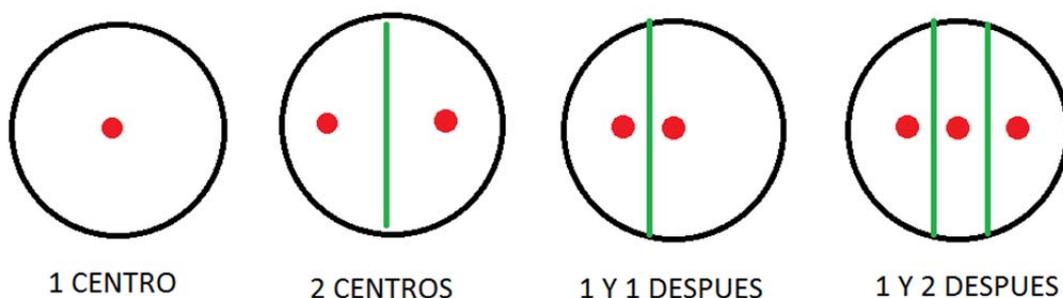


Fig 6. Esquema de la ubicación del centro geométrico en un círculo

Como vemos en el esquema, es más sencillo ubicar el centro geométrico de un servicio cuando no hay nada previo incluso para varias ubicaciones, pero si ya hay algo te lo descuadra ya que debes averiguar si te compensa dejar los centros desequilibrados o ubicar las necesarias para equilibrar de nuevo el sistema.

1.4.1. Ubicación de la demanda



Fig 7. Planos con los datos de las edificaciones y el parcelario (izquierda) y solo parcelario (derecha)

Uno podría pensar que el origen que geo posicionaremos es la salida al edificio es decir que haría falta el dato vectorial de los elementos constructivos como vemos a la izquierda. Sin embargo el portaleros se ubica siempre en el lindero de la parcela, esa será nuestra salida del edificio y la

ubicación de nuestra demanda, omitiendo el recorrido del individuo entre la salida de la puerta de la edificación y el de la parcela.



Fig 8. Plano con los datos de parcelario y el portalero como ubicación de la demanda

1.4.2. Ubicación de las paradas

Las paradas se deberían localizar prioritariamente en este orden:

- Plazas
- Acerados amplios típicos de avenidas o vías peatonales.
- Los estacionamientos de coches, en el que perfectamente se podría reemplazar dos o más a cambio de estas.

A continuación, hay que averiguar cuál es la **distancia a una terminal** en nuestra red. Es decir, si yo salgo de mi caso cuanto de media tendría que andar para llegar a una parada, o lo contrario, si estoy llegando a mi destino donde tengo que estacionar para no andar demasiado hacia el lugar deseado.

Se podría tomar el valor conocido de París o de Montreal, 300m (García Palomares, 2012), aunque yo prefiero analizar personalmente esa distancia mediante el modelo más cercano que sería la red ya existente en Sevilla, ya que las anteriores seguramente por facilidad se calculadas como distancias euclídeas y queremos al menos el recorrido por red viaria.

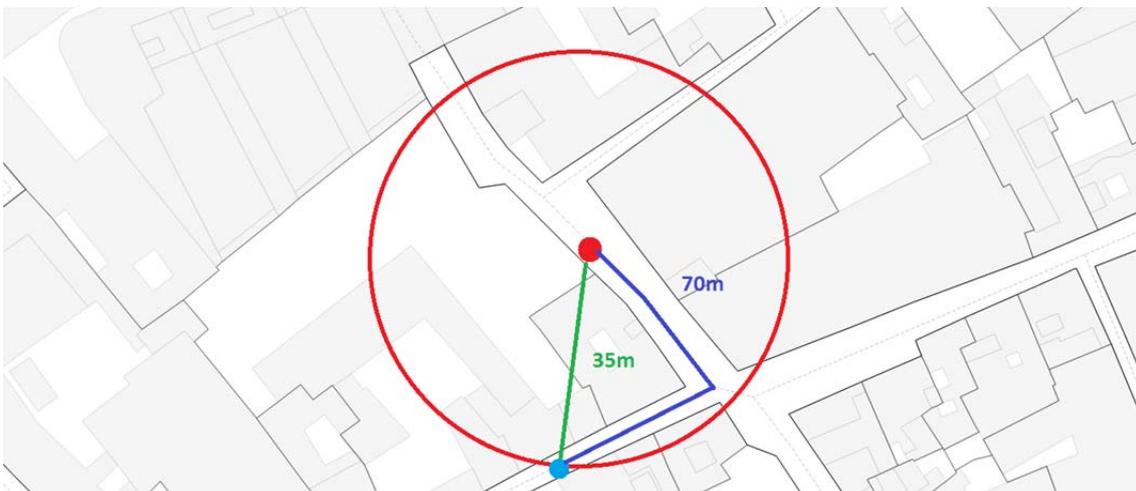


Fig. 9. Distancia euclídea frente a distancia por red viaria

El algoritmo de ArcGIS permite realizar la operación del cálculo de rutas desde un servicio a otros por el camino más corto sin aplicarle pesos mediante una variación de algoritmos de Dijkstra que ya veremos en más detalle en el apartado de los grafos. La primera vez lo hicimos sin límites y eso te produce las rutas desde una terminal a las otras 120 como en el caso de Sevilla para cada una de ellas. Para obtener un resultado más aproximado limitamos las rutas a 500m.

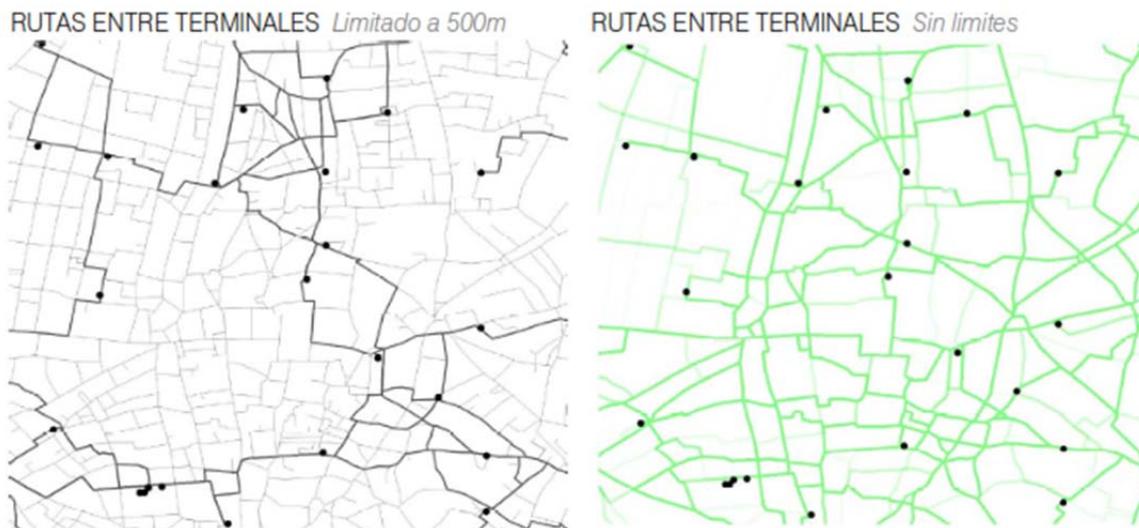


Fig. 10. Planos de rutas entre terminales de elaboración propia realizada mediante ArcGIS con el algoritmo de "closest facilities"

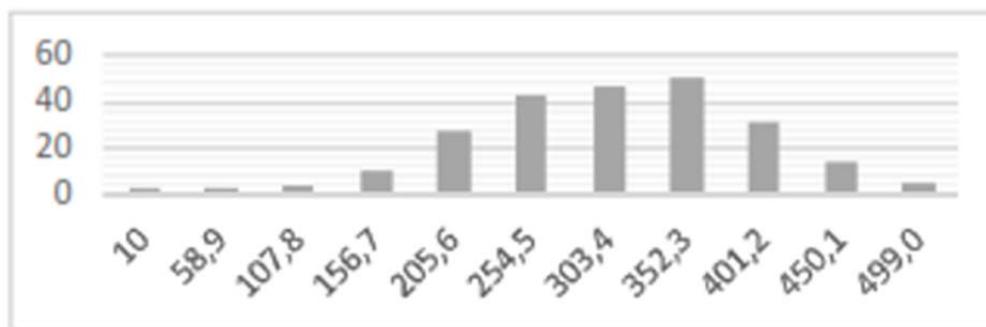


Fig. 11. Histograma de las distancias mínimas entre terminales limitado a 500m según el algoritmo de ArcGIS

Tenemos unos resultados prácticamente simétricos con una curtosis negativa ya que la mayoría de datos se concentran hacia los 350m. Podríamos decir que Sevilla satisface la accesibilidad de unos 300m ya que admitiría distancia entre terminales de hasta 600m.

A partir de esos resultados hacemos una segunda operación que si mostrará datos concluyentes en el que mediante el algoritmo de ArcGIS de "Área de servicio", hallamos la red viaria (abstraída en líneas) que desde un punto específico que para nosotros será la terminal parten todos los recorridos posibles con la distancia de accesibilidad elegida de 250m. Aunque también se representará el resto de área desde un rango de 50 a 500m como método alternativo para averiguar la distancia de accesibilidad entre terminales dado que la anterior no tiene en cuenta las distancias entre puntos de demanda (origen/destino) y terminales.

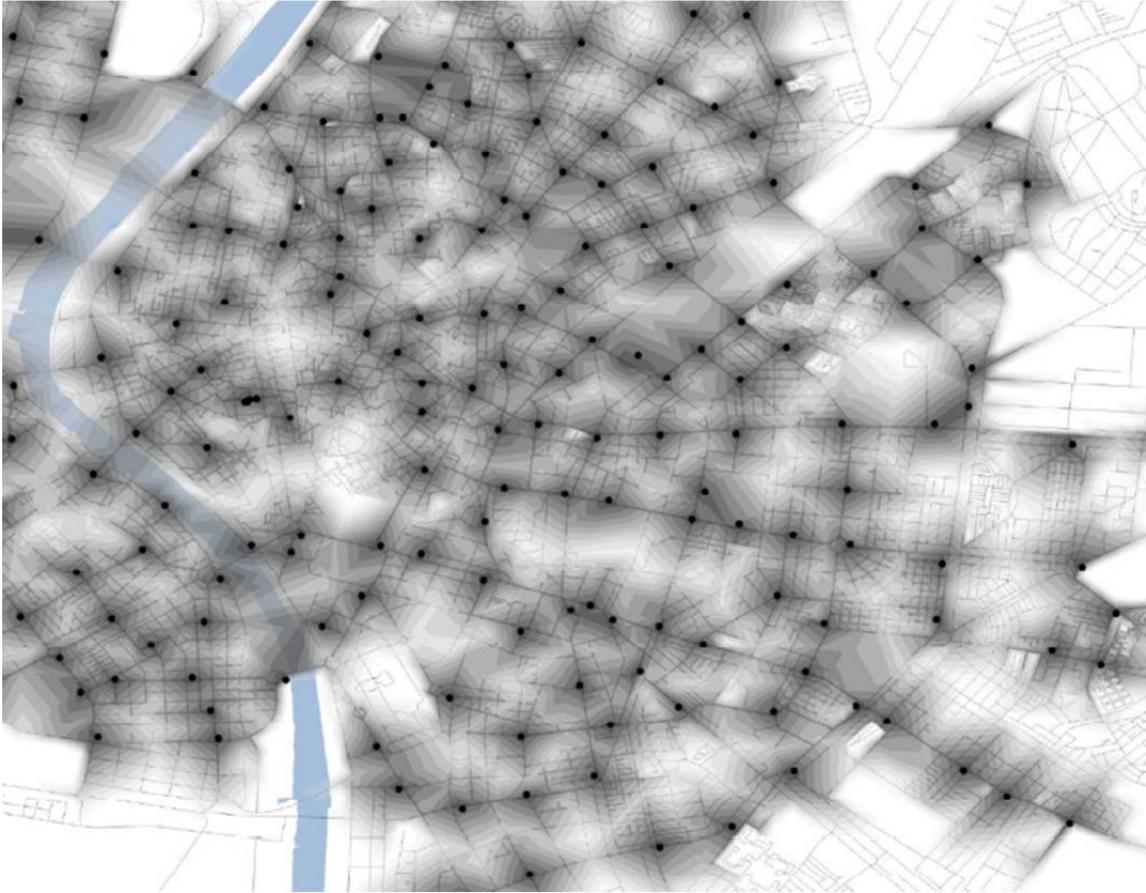


Fig. 12. Áreas de influencia en red viaria de las terminales de rango 50 a 500 m cada de elaboración propia

El siguiente diagrama refleja que aproximadamente a partir de los **300m** la recta va tendiendo a ser horizontal justificando y demostrando que la distancia elegida en Sevilla ha sido esta y por lo tanto es la que seguiremos a falta de analizar más casos.

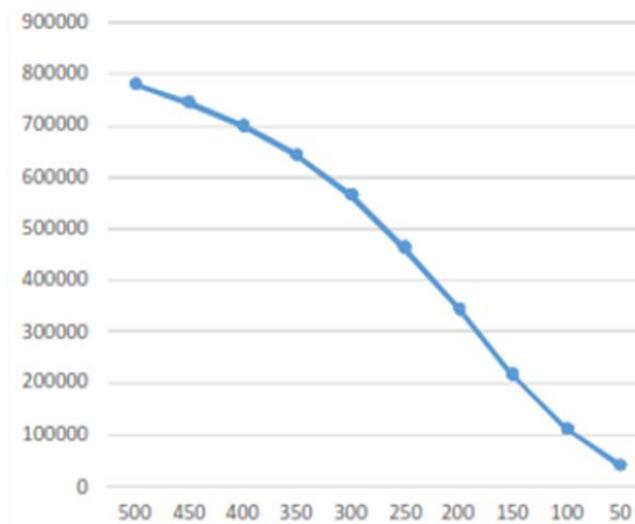


Fig. 13. Diagrama de las áreas totales abarcadas según el rango definido

1.4.3. Caracterización de las paradas

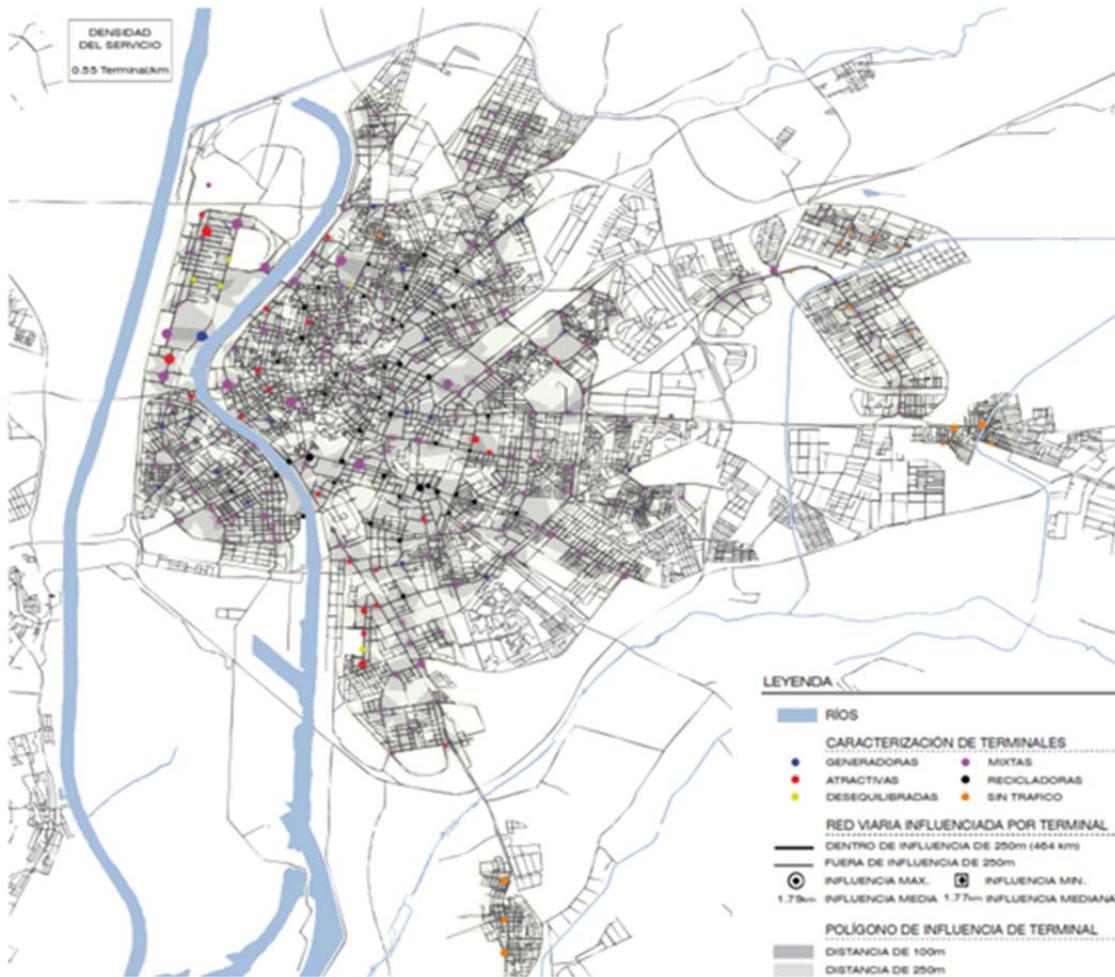


Fig. 14. Plano de elaboración propia de la caracterización de las terminales

Para entender el funcionamiento de las paradas realizamos un estudio de todas las paradas de Sevilla como caso cercano en detalle, exponiendo como ejemplo la de la terminal 1 y 153.

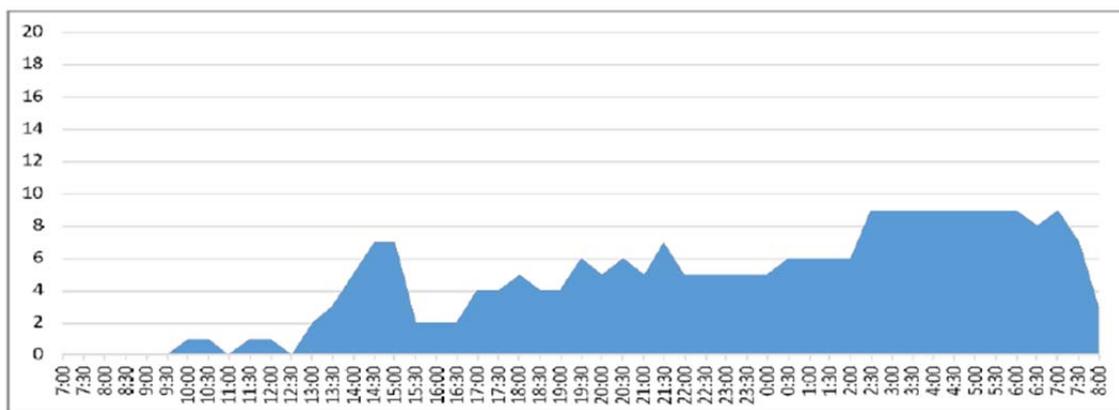


Fig. 15. Bicicletas disponibles en relación a capacidad máxima en Sevilla de la terminal de ID 1

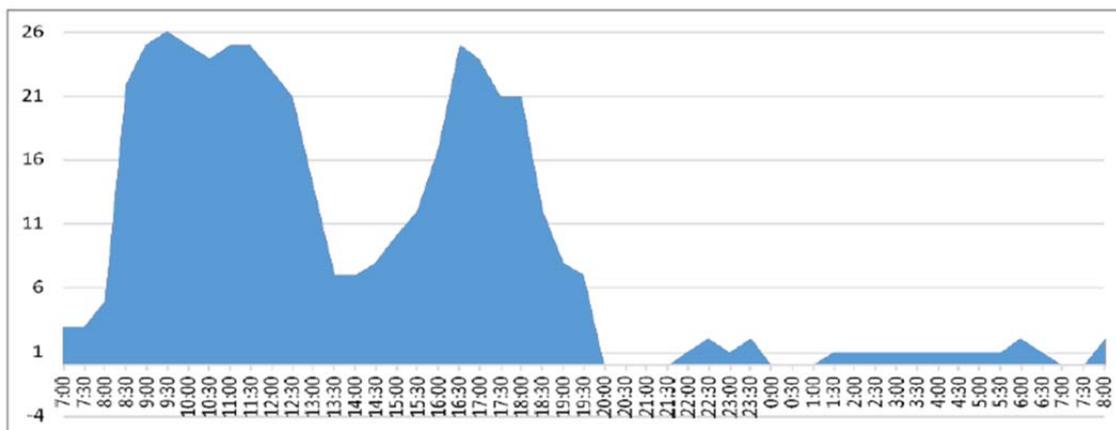


Fig. 16. Bicicletas disponibles en relación a capacidad máxima en Sevilla de la terminal de ID 153

Estas graficas solo indican si suelen estar llenas o vacías pero existe más información que se puede obtener mediante un estudio inteligente de la API:

uid	Bornales	Plazas libres	Bicicletas	latitute	longitute	timestamp
1	20	20	0	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 7:01
1	20	20	0	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 7:28
1	20	20	0	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 7:59
1	20	20	0	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 9:27
1	20	20	0	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 9:57
1	20	20	0	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 10:28
1	20	19	1	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 10:55
1	20	19	1	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 11:25
1	20	20	0	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 11:59
1	20	19	1	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 12:29
1	20	19	1	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 12:56
1	20	20	0	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 13:27
1	20	18	2	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 13:57
1	20	17	3	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 14:28
1	20	15	5	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 14:58
1	20	13	7	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 15:22
1	20	13	7	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 15:28
1	20	18	2	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 15:55
1	20	18	2	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 16:20
1	20	18	2	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 17:14
1	20	16	4	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 17:47
1	20	16	4	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 18:15
1	20	15	5	37,41292355	-5,988905938	31-5-16 18:45

Tabla. 4. Parte del tráfico de la terminal de ID 1 obtenido de consultas periódicas a la API

Explicaremos el porqué de cada tipo de terminal identificado:

- Recicladoras: Tienen un rato elevado de reuso a lo largo del día ya que son orígenes y destinos múltiples veces a lo largo del día:
 - o Suelen estar en zonas de actividad comercial o de ocio
- Desequilibradas: No se usan porque permanecen vacías o llenas durante un tiempo mayor a 30min(solo de los días que hicimos lo estudio)
- Generadoras: Se utilizan principalmente como puntos de demanda de origen hacia un destino cualquiera y regresan después.
- Atractivas: funcionan principalmente como puntos de destino por el cual un usuario se dirige desde un origen y regresan a él.
- Mixtas: No pertenecen a ninguno de los otros grupos. Suele funcionar como generadoras y atractivas por igual.

1.4.4. Recorridos por la red

Según “Space Syntax”, el movimiento potencial es medido de dos formas, reflejando que en cada trayecto hay dos componentes involucradas.

- El “To-Movement”: Selección de un destino desde un origen.
- El “Through-Movement”: Selección del espacio por el cual circular para llegar al destino escogido.

Existe una base científica que confirma que el flujo del movimiento del peatón o del vehículo es debido a la estructura de la red, medida según su accesibilidad espacial. Esto no significa que el espacio determina el movimiento individual de las personas, solo que estas siguen patrones predecibles.

Por regla general el demandante del servicio busca llegar lo más rápido posible a su destino, no le importa tanto saber el camino más corto sino como llegar antes, es decir el condicionante básico del trayecto es el **tiempo**.

En el “To-Movement” nos interesa el tiempo ya que es por donde tardaremos menos. En el “Through-Movement” sería que fuese sin pendiente para no agotarse, segura, rectilínea, iluminada o/y activa de flujo de personas.

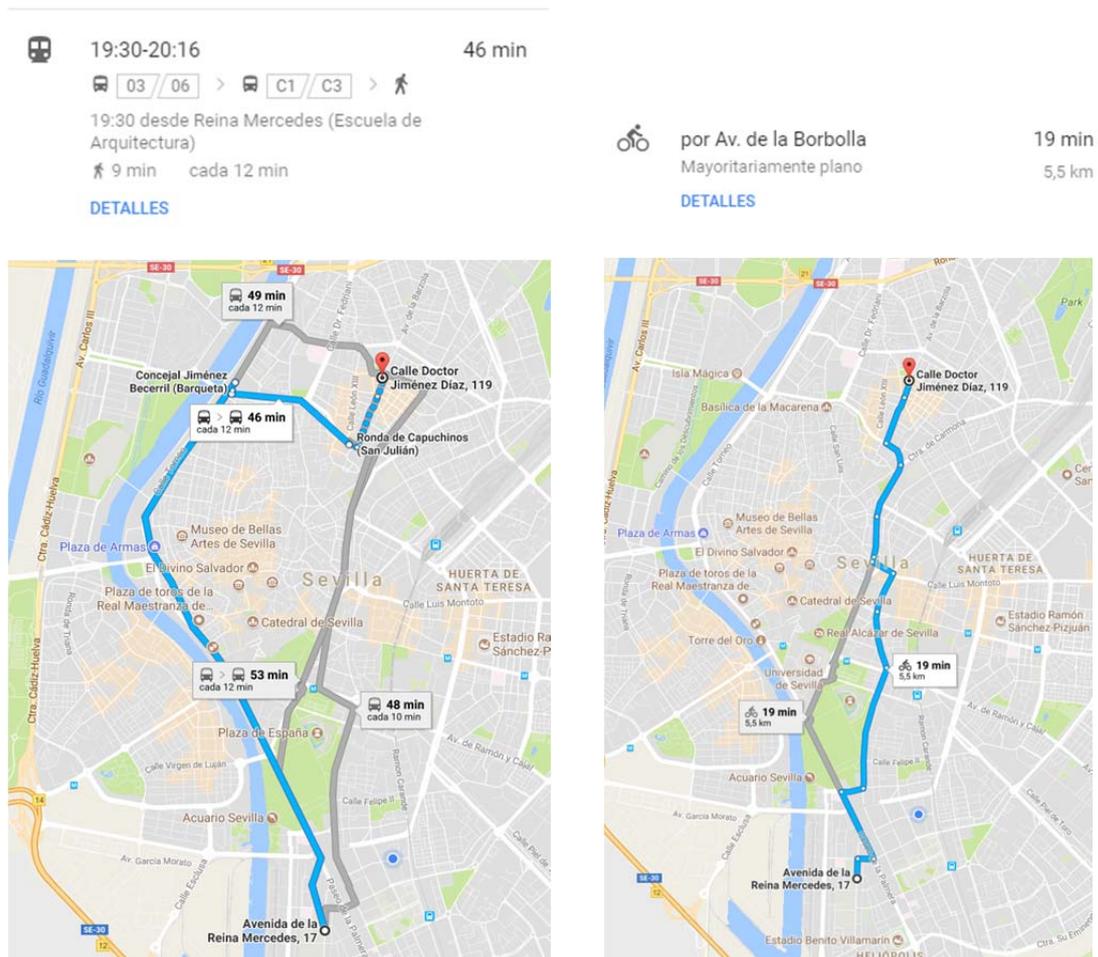


Fig. 17 Captura de la interfaz de trazado de rutas obtenidas por API de Google Maps

De hecho, el API de rutas de Google¹⁰ suele dar resultados más acordes con la realidad que otros servicios de cálculo de rutas en el "To-Movement" debido a que este utiliza el histórico de los tiempos tardados a parte de las distancias mínimas. Sin embargo el "Through-Movement" lo omite a día de hoy, quién sabe si en un futuro al tener un histórico de tus gustos te recomienda por donde pasar integrando los pesos con el camino que menos se tarda.

El tiempo se puede parametrizar de muchas formas, pero la más acertada es la usada por esta última ya que es más inteligente obtener los tiempos de trayecto medio según las horas y días del año (Laboral, fin de semana y Festivos) que ponerse a contabilizar los semáforos, los flujos de vehículos según horario u otros condicionantes, ya que directamente tratamos con el parámetro que queremos optimizar.

Si nos fijamos de nuevo en la ruta que ofrece la API, te muestra los recorridos principales en el que se aprecia una cierta cualificación de la **jerarquía viaria**, de hecho, los Web Maps (Servicios de visualización de mapas alojados en la red) para indicar que una línea es más ancha que otra es porque ese dato vectorial tiene una geometría formado por coordenadas con un dato común para todos los viales, que hace que puedan ensancharse esa línea de forma variable según ese valor. Es decir, podríamos visualmente tomar la jerarquización que plantea Google o reelaborarla nosotros mismos.

Uno de los factores característicos del tipo de servicio que ofrecemos, es la **pendiente**. Esto se debe a que no suele gustarnos subir pendientes en bicicleta, pero si bajarlas, y aunque parezca trivial, desequilibra todo el sistema de préstamos de bicicletas, ya que, si sube 3 personas en bicicleta por la razón que sea y otras tres llegan en autobús o en coche, luego si las tres personas que llegaron en autobús usan esas tres bicicletas, los otros tres se quedan sin poder bajar y crea descontento en el servicio.

¹⁰ Características del API de Google Maps: <https://enterprise.google.com/intl/es-419/maps/products/mapsapi.html>

3. TEORIA DE GRAFOS Caso simplificado de la problemática

3.1. Introducción

Antes de poder utilizar softwares que utilizan algoritmos ya muy modificados y optimizados, vamos a estudiar su base, el fundamento que hizo posible que se originaran estos, la teoría de grafos. Estudiaremos un área pequeña de la ciudad para resolver el mismo problema que no estamos planteando en este trabajo, la ubicación de terminales y el trazado de su red. De esta forma podremos entender lo que hace la máquina para toda la ciudad de Sevilla, incluso para su área metropolitana que difícilmente seríamos capaz de hacer manualmente por el gran manejo de parámetros y de combinatorias posibles.

3.2. Antecedentes históricos

La resolución en 1736 por Leonhard Euler del célebre problema de los puentes de Königsberg dio origen a la teoría de los grafos.¹¹ Su nombre se debe a Königsberg (Fig.1), la ciudad de Prusia Oriental, actualmente la ciudad rusa de Kaliningrado. Esta se dividía en cuatro regiones por el río Pregel y para ir de un lado a otro se utilizaba uno de los siete puentes. El problema formulado consistía en encontrar un recorrido para cruzar a pie toda la ciudad pasando sólo una vez por cada uno de los puentes, y regresando al mismo punto de inicio.¹²

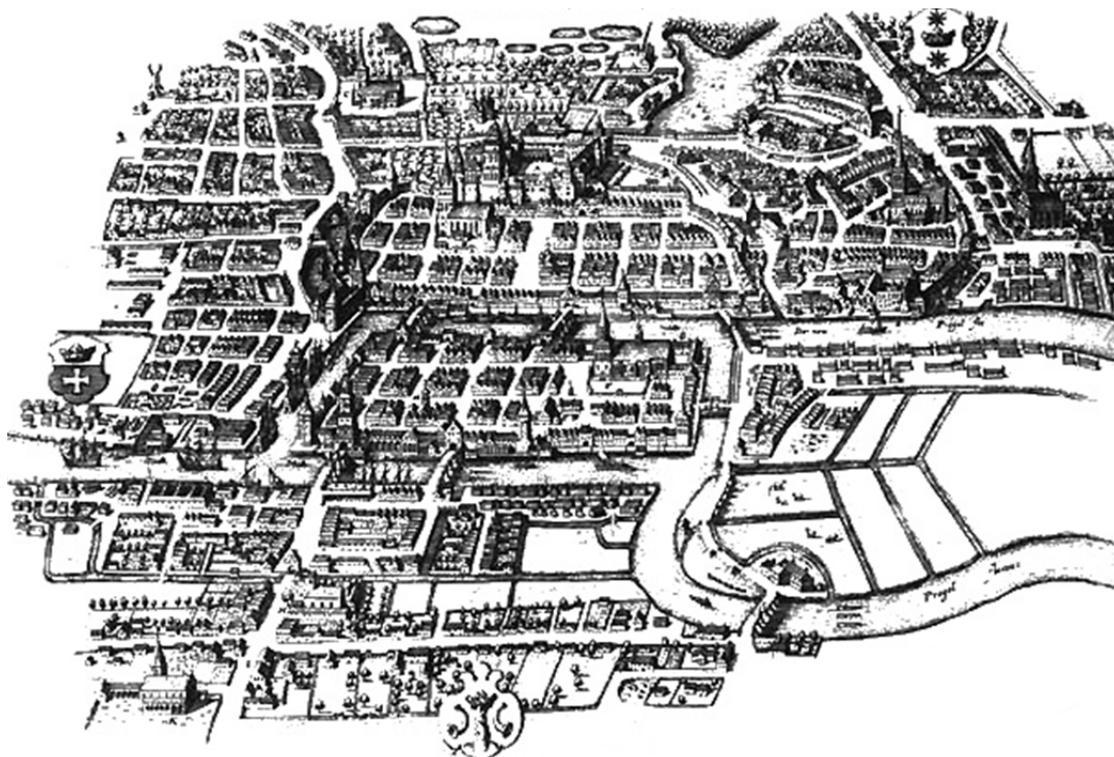


Fig. 181 Plano de 1652 de Königsberga por Merian Erben con modificación propia

La solución de Euler fue negativa pero más que enunciar las conclusiones obtenidas nos interesa más destacar como dio respuesta al problema realizando una abstracción del mapa para

¹¹ Euler, Leonhard (1736). «Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis». *Comment. Acad. Sci. U. Petrop* 8, 128-40 (en latín) (Reimpreso en *Opera Omnia Series Prima*, Vol. 7. pp. 1-10, 1766). Consultado el 11 de abril de 2010

¹² Weisstein, Eric W. «Problema de los puentes de Königsberg». En Weisstein, Eric W. *MathWorld* (en inglés). Wolfram Research.

quedarse únicamente con los datos involucrados, obteniendo así un modelo simplificado en el que las regiones se reducen hasta ser vértices, y los puentes en aristas.

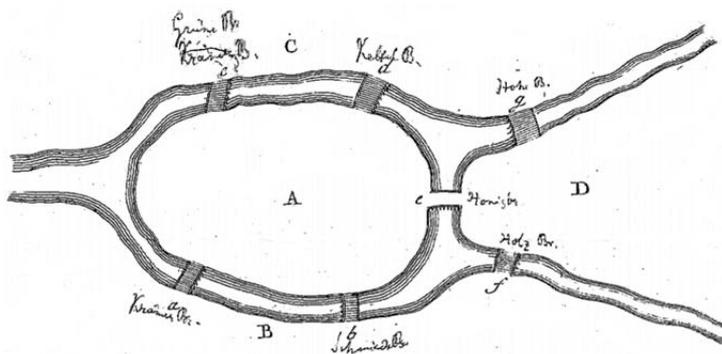


Fig. 19 Grafo del problema

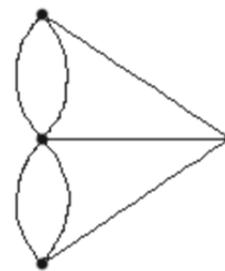


Fig. 20 Abstracción del mapa de Leonhard Euler con modificación propia

En 1852 se planteó el problema del mapa de cuatro colores por el estudiante Francis Guthrie que lo comunicó a Augustus de Morgan y este a su vez a la comunidad científica. El teorema actualmente declara que cualquier mapa en un plano puede colorearse usando únicamente cuatro colores de tal forma que las regiones que comparten una frontera en común distinta a un punto no tienen el mismo color. Appel and Haken lo demostraron gracias a la ayuda de un algoritmo que elaboraron en un ordenador. Pero debido a que la razón fue el análisis extensivo de un gran número de casos discretos, algunos matemáticos no aceptan el teorema.¹³

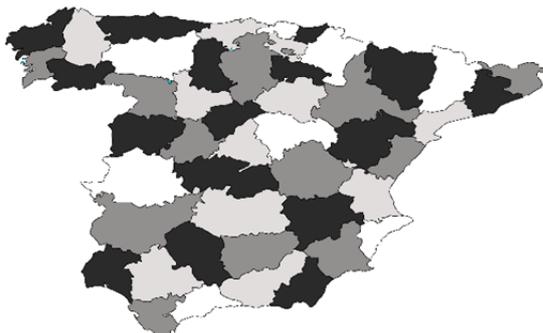


Fig. 21 CCAA de España en 4 colores de elaboración propia

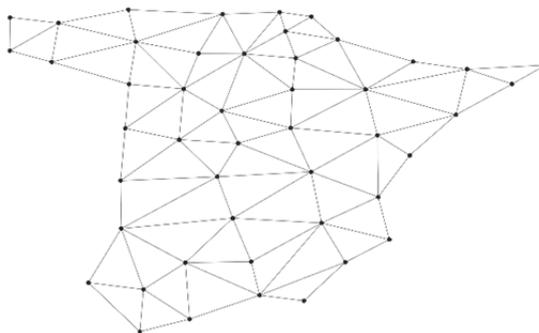


Fig. 22 Abstracción de las CCAA de elaboración propia

Observamos Esto se asemeja al caso que tenemos, en el que primero modelábamos el problema en su forma más sencilla para poder parametrizarlo. Luego elaboramos el algoritmo o usamos el de otro para obtener un resultado rápido y óptimo de algo que tiene casi infinitas soluciones y no solo puede tardar en hallarse una similar, sino que es más difícil de demostrar cómo lo más óptimo.

¹³ Weisstein, Eric W. "Four-Color Theorem." From *MathWorld*--A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/Four-ColorTheorem.html>

3.3. Algoritmo de Dijkstra

Este algoritmo concebido por Edsger W. Dijkstra en 1956 y publicado tres años después, determina la longitud más corta del vértice "a" al "z" en una gráfica conexa con pesos positivos. El peso de la arista (i,j) es $w(i,j) > 0$ y la etiqueta del vértice x es $L(x)$. Al concluir, $L(z)$ es la longitud de la ruta más corta de "a" a "z".^{14 15 16 17}

Entrada: Un grafo conexo con pesos positivos y vértices de "a" a "z"

Salida: $L(z)$ la longitud más corta de "a" a "z"

Paso inicial: $L(a)=0$.

Paso 1: Para todos los vértices $x \neq a$ hacer: //Todos los vértices que no son el vértice inicial escogido

$L(x) = \infty$ //El vértice toma un valor infinito de indeterminación

$T :=$ Conjunto de todos los vertices //Obtenemos una matriz de una fila y n columnas

Paso 2 (Repetitivo): Mientras "z" \in T:

Paso 2a: Elegir "v" \in T con $L(v)$ mínimo //Asignar "v" como vértice con $L(v)$ mínimo en la matriz

$T := T - \{v\}$ //Eliminamos el vértice de la matriz para que no se asigne de nuevo el mismo porque ya se ha hallado que es el que pasa por el camino más corto. Cuando el vértice sea z, el paso 2 dejara de repetirse.

Paso 2b: Para cada vértice "x" adyacente a "v" hacer: //Actualizamos los datos de los vértices adyacentes al que ya hemos asignado como el que pasa por el camino más corto.

$L(x) := \min[L(x), L(v) + w(v,x)]$ //El valor mínimo entre el valor que ya tenía y el nuevo calculado

Dado el procedimiento desglosado vamos a ver este ejemplo de grafo conexo no dirigido de pesos positivos y realizarlo manualmente para confirmar su validez y entender mejor su funcionamiento. Ejemplo: Queremos saber cuáles de los viales que unen estas dos estaciones hay que adaptar para ciclista para obtener un trazado de red óptimo. Se tendrán en cuenta la distancia.

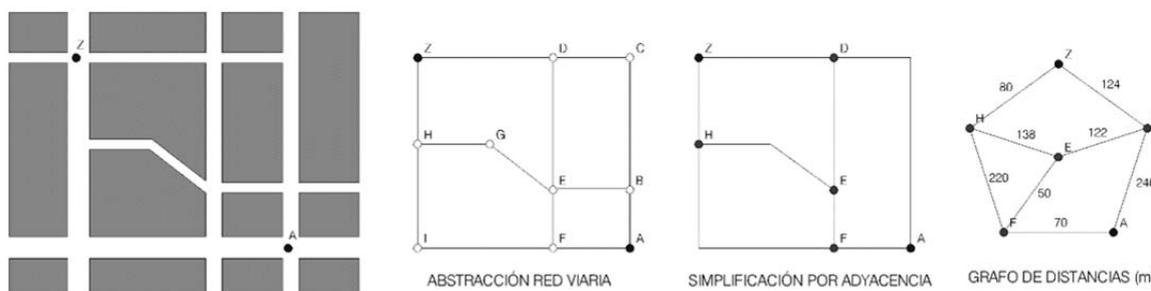


Fig. 23 Proceso de parametrización del enunciado del problema hacia un grafo. De elaboración propia

¹⁴ Frana, Phil (August 2010). "An Interview with Edsger W. Dijkstra". *Communications of the ACM* 53 (8): 41–47.

¹⁵ Dijkstra, E. W. (1959). "A note on two problems in connexion with graphs". *Numerische Mathematik* 1: 269–271.

¹⁶ Mehlhorn, Kurt; Sanders, Peter (2008). *Algorithms and Data Structures: The Basic Toolbox*. Springer.

¹⁷ R. Johnsonbaugh, *Matemáticas Discretas*, Prentice Hall, Cuarta Edición, pag. 338–340

x	A	D	E	F	H	Z
A	0	1	0	1	0	0
D	1	0	1	0	0	1
E	0	1	0	1	1	0
F	1	0	1	0	1	0
H	0	0	1	1	0	1
Z	0	1	0	0	1	0

x	A	D	E	F	H	Z
A	0	245	0	70	0	0
D	245	0	122	0	0	124
E	0	122	0	50	138	0
F	70	0	50	0	220	0
H	0	0	138	220	0	80
Z	0	124	0	0	80	0

Tabla. 5 Matriz de adyacencia a la izquierda

Tabla. 6 Matriz de distancias a la derecha

La matriz de adyacencia es bastante importante ya que es la que nos permite saber cuáles distancias de las aristas hay que ir comprobando. Si se realizará una simplificación eliminando vértices para facilitar el algoritmo de búsqueda del camino más corto, habría que sumar previamente las distancias de los tramos intermedios. A continuación, exponemos la tabla del proceso semejante que haría una máquina realizada manualmente: (QUITAR INFINITOS PASO1)

A	D	E	F	H	Z	Pasos
0	∞	∞	∞	∞	∞	1
0	∞	∞	∞	∞	∞	2a
	254	∞	70	∞	∞	2a
	254	120		290	∞	2a
	242			258	∞	2a
				258	366	2a
					338	2a
	Paso 2b					

Tabla. 7 Pasos realizado por el algoritmo

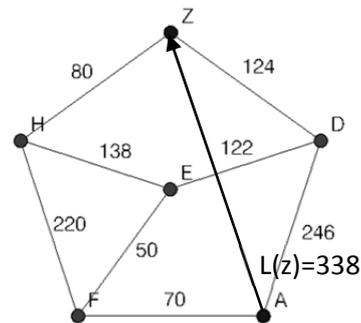


Fig. 24 Grafo de distancias con resultado final

Resultado: $L(x)=L(z)=338$

En la figura superior se quiere mostrar que este algoritmo solo calcula la distancia del camino más corto y queremos que también nos indique cual es la ruta de esa solución más óptima, como hace varios servicios de mapas alojadas en la web o sistemas de información geográfica como ArcGis o QGis. Nos podríamos aproximar al resultado deseado con los siguientes cambios al pseudocódigo:

Entrada: Un grafo conexo con pesos positivos y “m” vértices de “a” a “z”

Salida: $L(z)$ la longitud más corta de “a” a “z” y su ruta

Paso inicial: $L(a)=(0,-)$.

$i=m-(m-1)$ // Pone el contador según el número de vértices a 1

Paso 1: Para todos los vértices $x \neq a$ hacer:

$L(x)=(\infty,-)$

T:= Conjunto de todos los vertices

Paso 2 (Repetitivo): Mientras “z” E T:

Paso 2a: Elegir “v” E T con $L(v)$ mínimo

T:= T – {v}

$Q_{1 \times m} = \text{“v”}$ // Matriz de “m” columnas y una fila indicando el camino más corto

Paso 2b: Para cada vértice "x" adyacente a "v" etiquetar L(x) como:

$$L(x) := (\min[L(x), L(v) + w(v,x)], v)$$

Paso 2c: $m = m + 1$ // *Decrece el número de vértices*

Paso 3: Imprimir L(x) y $Q_{1 \times m}$

A	D	E	F	H	Z	Pasos
(0,-)	(∞,-)	(∞,-)	(∞,-)	(∞,-)	(∞,-)	1
(0,-)	(∞,-)	(∞,-)	(∞,-)	(∞,-)	(∞,-)	2a
	(254,A)	(∞,-)	(70,A)	(∞,-)	(∞,-)	2a
	(254,A)	(120,F)		(290,F)	(∞,-)	2a
	(242,E)			(258,E)	(∞,-)	2a
				(258,E)	(366,D)	2a
					(338,H)	2a
Paso 2b						

Tabla. 8 Pasos realizado por el algoritmo

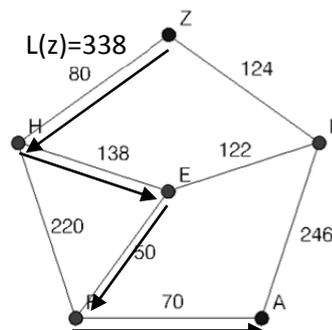


Fig. 25 Grafo de distancias con el resultado final

Resultado del paso3: $L(x)=L(z)=338$; $Q_{1 \times m} = (A,F,E,H,Z)$

Este procedimiento solo dibuja una de las rutas con menor distancia pero si hay dos o más con la misma longitud no te la dibuja y eso supondría quedarte con un resultado incompleto.

A continuación, vamos a complejizar el algoritmo de nuevo cambiando el enunciado para pasar a un problema de optimización de localización de servicios. Ejemplo: Siguiendo la misma trama urbana correspondiente a una barriada ficticia, los vértices son candidatos para la ubicación de estaciones de bicicleta y queremos ubicarlo bajo un criterio centro de tal forma que el más alejado este lo más cerca posible de los portales de vivienda que dan a la red viaria y a su vez bajo criterio mediana para que a la mayor parte de la población le quede el servicio más cercano.

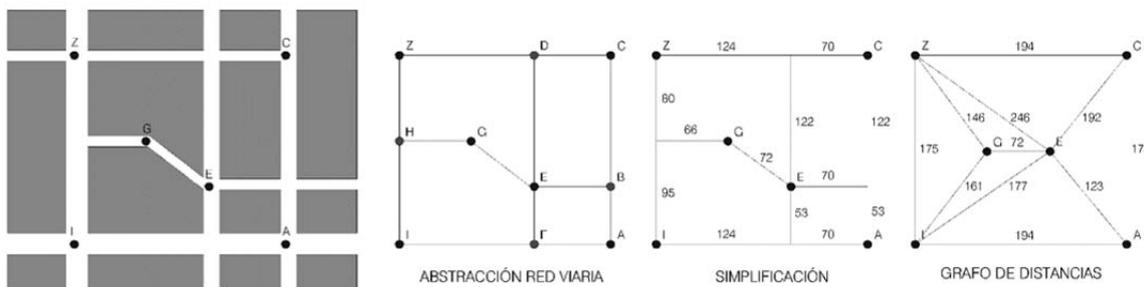


Fig. 26 Proceso de parametrización del enunciado del problema hacia un grafo. De elaboración propia

Entrada: Un grafo conexo con pesos positivos, vértices de conectividad y más de un vértice candidato geolocalizados.

Salida: Las distancias desde cada candidato al resto de vértices

Paso inicial: $n = \text{contar el número de vértices candidatos}$

$m = \text{contar el número de vértices de conectividad}$ // *En este ejemplo es igual a n*

Paso 1 (Repetitivo): Mientras $n \geq 1$

Elegir el vértice "a_n"

$$L(a_n) = (0,-)$$

Paso 1a: Para todos los vértices $x \neq a_n$ hacer:

$$L(x) = (\infty, -)$$

$Q_n := T :=$ Conjunto de todos los vertices

Paso 1b (Repetitivo): Mientras $m \geq 1$

Paso 1b1: Elegir "v" E T con $L(v)$ mínimo

$$T := T - \{v\}$$

$$L(v) = Q_{n \times m} // \text{ Guardar en una matriz de filas "n" y columnas "m"}$$

Paso 1b2: Para cada vértice "x" adyacente a "v" etiquetar $L(x)$ como:

$$L(x) := (\min[L(x), L(v) + w(v,x)], v)$$

Paso 1b3: $m = m - 1$

Paso 1c: $n = n - 1$

Paso 2: Imprimir $Q_{n \times m}$

Lo que estamos haciendo en este algoritmo es para cada candidato buscar las distancias a todos los demás vértices. Luego simplemente es trabajar con la matriz para sacar las rutas y ubicaciones óptimas.

x	A	C	E	I	G	Z
A	0	1	1	1	0	0
C	1	0	1	0	0	1
E	1	1	0	1	1	1
I	1	0	1	0	1	1
G	0	0	1	1	0	1
Z	0	1	1	1	1	0

x	A	C	E	I	G	Z
A	0	175	123	194	0	0
C	175	0	192	0	0	194
E	123	192	0	177	72	246
I	192	0	177	0	161	175
G	0	0	72	161	0	146
Z	0	246	246	175	146	0

Tabla. 9 Matriz de adyacencia a la izquierda

Tabla. 10 Matriz de distancias a la derecha

pero esta vez en vez del ancho de calle vamos a tener la jerarquía viaria. Esto hace que tengamos que hacer una modificación del algoritmo base ya que queremos que se asigne el vértice "v" a la distancia mínima $L(v)$ de las adyacentes posibilidades de orden mayor y si no existen, reducir el orden y buscar de nuevo y así hasta que haya resultado:

Entrada: Un grafo conexo con "n" ordenes de jerarquía asignado a las aristas como pesos y vértices de "a" a "z"

Salida: $L(z)$ la longitud más corta de "a" a "z"

Paso inicial: $L(a) = 0$. $n = 1$.

Paso 1: Para todos los vértices $x_n \neq a$ hacer: //Todos los vértices que no son el vértice inicial escogido

$$L(x_n) = \infty // \text{El vértice toma un valor infinito de indeterminación}$$

$T :=$ Conjunto de todos los vertices //Obtenemos una matriz de una fila y n columnas

Paso 2 (Repetitivo): Mientras "z" E T: //Mientras el vector de destino exista en la matriz repetir

Paso 2a (Repetitivo): Mientras "v" iE T //Mientras no se haya asignado un vértice con $L(v)$ mínimo

Paso 2b: Elegir "v" E T con $L(v)$ mínimo //Asignar "v" como vértice con $L(v)$ mínimo en la matriz

$T := T - \{v\}$ //Eliminamos el vértice de la matriz para que no se asigne de nuevo el mismo porque ya se ha hallado que es el que pasa por el camino más corto. Cuando el vértice sea z, el paso 2 dejara de repetirse.

Paso 2c: Para cada vértice “x” adyacente a “v” hacer: //Actualizamos los datos de los vértices adyacentes al que ya hemos asignado como el que pasa por el camino más corto.

$L(x) := \min[L(x), L(v) + w(v,x)]$ //El valor mínimo entre el valor que ya tenía y el nuevo calculado

3.4. Sistemas de información geográfica

La definición¹⁸ de los Sistema de Información Geográfica es la siguiente:

“Un sistema de información geográfica (también conocido con los acrónimos SIG en español o GIS en inglés) es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial.”

Yo lo resumiría comparándolo con una herramienta usado en arquitectura en la última década, el CAD (ej: Autocad de Autodesk). Nosotros cuando dibujamos en un CAD una red de instalación urbana hacemos un dibujo vectorial de líneas y bloques (que al final son punto que referencian a otro dibujo que simula la simbología), y el etiquetado es un texto aparte que se sabe que es referente a ese elemento porque está cercano a él, pero el software CAD no, ya que no está creado para tener en cuenta relaciones espaciales.

¿ Como funcionan el dibujo en GIS?

Se resume a abstraer los dibujos en vectores de ahí que se llame dibujo vectorial

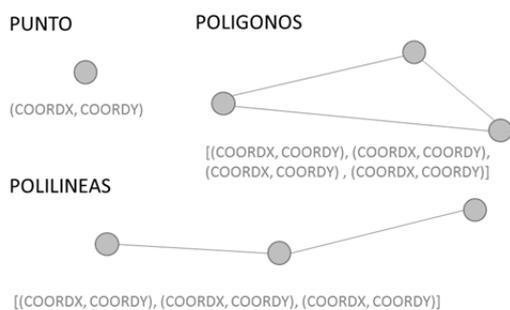


Fig.27 Esquema del dibujo en GIS según coordenadas

¿ Como funcionan los datos en GIS?

Se puede resumir a una base de datos con una columna mas que sería la geometría.

AREA	VIA	REFCAT	COORDY	COORDX
7367	0	46035A01209001	4353410.03	722858.76
2592	0	46035A01209003	4353403.86	722865.50
124	0	46035A01409008	4353590.51	722902.55
6303	0	46035A01400204	4353625.32	722976.08
1501	0	46035A01400075	4353645.76	723031.02
69665	0	46035A00609025	4350872.31	724140.44
5311	0	46035A00700153	4349953.99	723716.20
396	0	46035A00700154	4350023.83	723748.71

Fig.28 Muestra de datos de un elemento vectorial

Sin embargo, en un GIS dibujamos una línea en el que esta tiene una base de datos en el que podemos ya albergar la información que pondríamos en la etiqueta, como el grosor, el material, la longitud, la jerarquía o el equipo origen/destino al que está vinculado. Este aspecto adicional que nos permite agregar base de datos a dibujo vectoriales, es el principio para que luego el programa que si le tienen enseñado hacer relaciones espaciales nos diga por ejemplo la eficiencia de cada tramo en el recorrido, para saber cómo llega en sus puntos más desfavorables.

¹⁸ Sistema de información geográfica. (2017, 21 de mayo). Wikipedia, La enciclopedia libre.

Fecha de consulta: 07:35, junio 7, 2017 desde

https://es.wikipedia.org/w/index.php?title= Sistema_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica&oldid=99274373.

En definitiva, el hecho que la herramienta nos permita tener un mayor control de todos los aspectos de las redes que diseñemos y que encima nos sirva como una calculadora espacial que nos hace comprobaciones muy rápidas difícilmente replicable por el humano, como los antecedentes visto anteriormente, es la razón de la cual la escojamos para resolver nuestro enunciado que plantearemos a continuación.

3.5. Enunciado del ejemplo

Nos planteamos el problema que somos una empresa que queremos introducirnos en los servicios de préstamo de bicicletas, y buscamos realizar el diseño de la red en GIS para luego una vez realizada poder mantenerla adecuadamente y hasta integrarlo con monitorización a tiempo real de las terminales como se hizo para el caso de Sevilla.

El enunciado específico que resolveremos es:

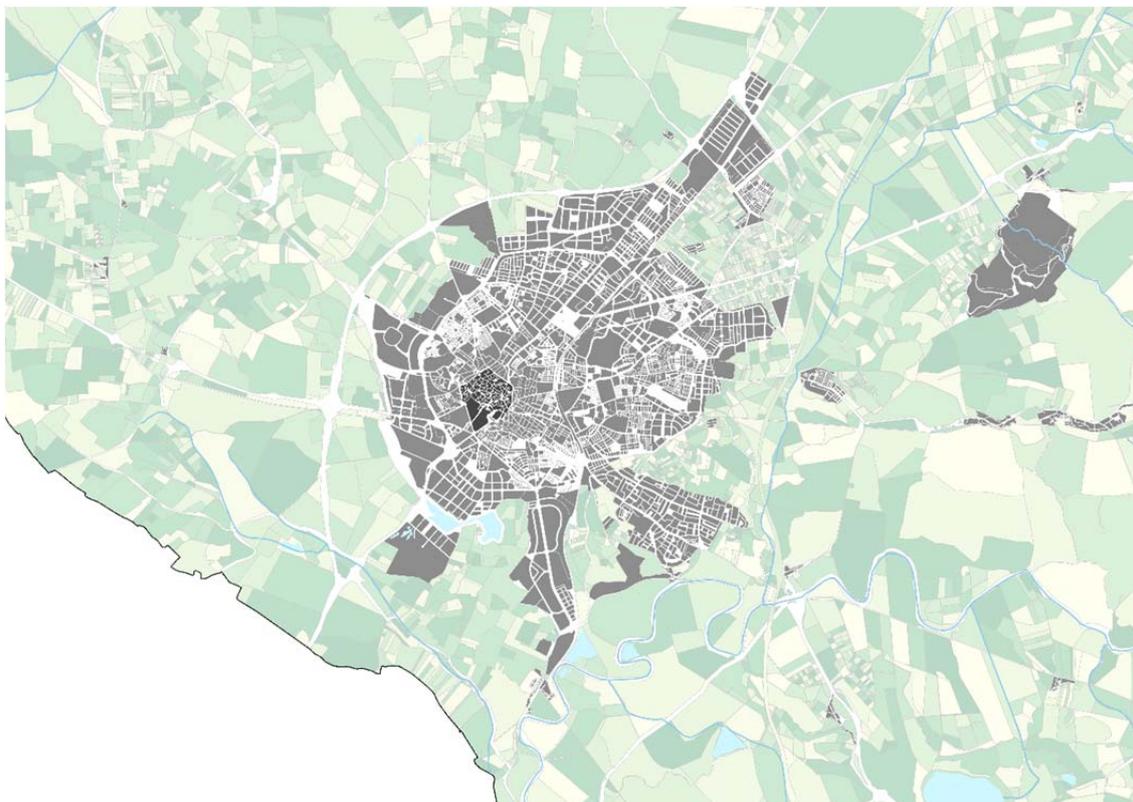


Fig.29 Plano de realización propia de Jerez de la Frontera realizado en GIS basado en las fuentes BTN100 y Catastro

Dado el municipio de Jerez de la Frontera se busca el diseño de la red más óptima usando algoritmos matemáticos de relación espacial según los criterios establecidos por uno mismo. El problema se resolverá al obtener la localización óptima de las terminales y el trazado de la red del carril bici. Se deberá hacer un diseño completo de la red y un faseado para resolver temas de costes y ejecución de la obra.

4. DISEÑO DE LA RED Mediante un enfoque basado en SIG

4.1 Límite del diseño

Toda red debe ser limitada, para así poder centrar la máquina en un área en concreta y limitar así los tiempos de tratado de la información. Esta labor siempre será manual y necesitará un estudio específico según el servicio que se esté diseñando.

En primer lugar, reduciremos del límite municipal que abarca tanto el ámbito rural como el urbano a únicamente este último, ya que no hay tanta demanda en los núcleos



Fig.30 Limite urbano de Jerez de la frontera basado en datos Catastrales de realización propia

Nuestro ámbito de actuación será el espacio público de tal forma estamos restringiendo aún más la ubicación posible de nuestras terminales al ordenador.



Fig.31 Plano del espacio parcelado como lleno



Fig.32 Plano del espacio público como vacío

Sin embargo, aún sigue habiendo demasiada información. Ya que estamos diciendo que la cuadrícula de esa mancha negra, digamos cada metro cuadrado de ella, es una posible ubicación de la terminal.

Para afinar y simplificar más nos apoyaremos en unos planos realizados mediante procesamiento de los datos alfanuméricos ofrecidos públicamente por el Catastro del Gobierno de España. De esta forma conseguimos geolocalizar en cada parcela la siguiente información para colorearlas como queramos según los datos mostrados a continuación:

CP	11	CP	11
CM	20	CM	20
AMBITO	R	AMBITO	U
PARCELA	53020A01200008	PARCELA	6513004QA5661D
VIA_ID	10505	VIA_ID	1610
VIA_TIPO	LG	VIA_TIPO	AV
VIA_NOMBRE	LUGAR GIBALBIN	VIA_NOMBRE	ALCALDE CANTOS ROPERO
VIA_NUM	93	VIA_NUM	38
VIA_LETRA		VIA_LETRA	
IND_EDIF	0.02	IND_EDIF	0.79
SUP_LIBRE	13559	SUP_LIBRE	3080
SUP_C_TOTL	208	SUP_C_TOTL	2428
SUP_C_SBRS	208	SUP_C_SBRS	2428
SUP_C_BJRS	0	SUP_C_BJRS	0
SUP_C_CUB	208	SUP_C_CUB	2428
ALTURA	1	ALTURA	1
DESTINO	['AAP', 'AAL', 'V']	DESTINO	['I', 'O']
TIPOLOG_V	21	TIPOLOG_V	NULL
YR_ANTIGUE	1987	YR_ANTIGUE	1976
YR_REFORMA	2000	YR_REFORMA	0
CALIDAD	4	CALIDAD	6
UI_TOTAL	2	UI_TOTAL	1

Fig.33 Datos ligados a dos elementos vectoriales, una parcela rural y otra urbana de la capa creada mediante el procesamiento de los datos alfanuméricos del Catastro del Gobierno de España

El primer plano que vamos a realizar para ayudar a reducir los candidatos donde ubicar una terminal de bicicleta son el de usos industriales, reflejado en el atributo "destino". Nos interesara conseguir un plano donde solo aparezcas los usos industriales reflejados porque empieza con la letra "I".



Fig.34 Plano de realización propia de usos industriales por parcela

Gracias a esto detectamos visualmente que la zona sur es un área con una alta concentración de parcelas destinadas a uso industriales, aunque cualquiera que vive en Jerez puede llegar a esta conclusión igualmente, de todas formas, este nos permite reducir aún más el límite quitando toda esa rama, dado que ofrece muchas probabilidades de vandalismo.



Fig.35 Limite para la ubicación de candidatos de realización propia

Hemos dejado el espacio de campos y cultivos dentro del ámbito rural según los datos catastrales y no lo hemos descartado antes debido a que a veces si sabemos que existe posibilidad de que haya actuaciones urbanísticas para calificar el suelo en residencial hay que tenerlo en cuenta en el diseño y al menos ubicar un portal ficticio antes de acceder a esa nueva zona a través del viario como si hubiese 1000 viviendas únicamente para que de un peso geométrico en la red y obtener un trazado de la red de bicicleta más fiel a la realidad.

Sin embargo, en nuestro trabajo vamos a simplificar y vamos a descartar ese análisis de esas posibles recalificaciones para crear más suelo residencial o de un cambio importante de la red viaria.



Fig.36 Limite para la ubicación de candidatos de realización propia

Una vez tenemos limitado nuestro núcleo urbano, de los datos necesarios para hacer el cálculo hacemos un típico análisis espacial para borrar el inverso seleccionado:

- seleccionar los puntos dentro de un polígono
- seleccionar las líneas dentro del polígono y también las que intersectan

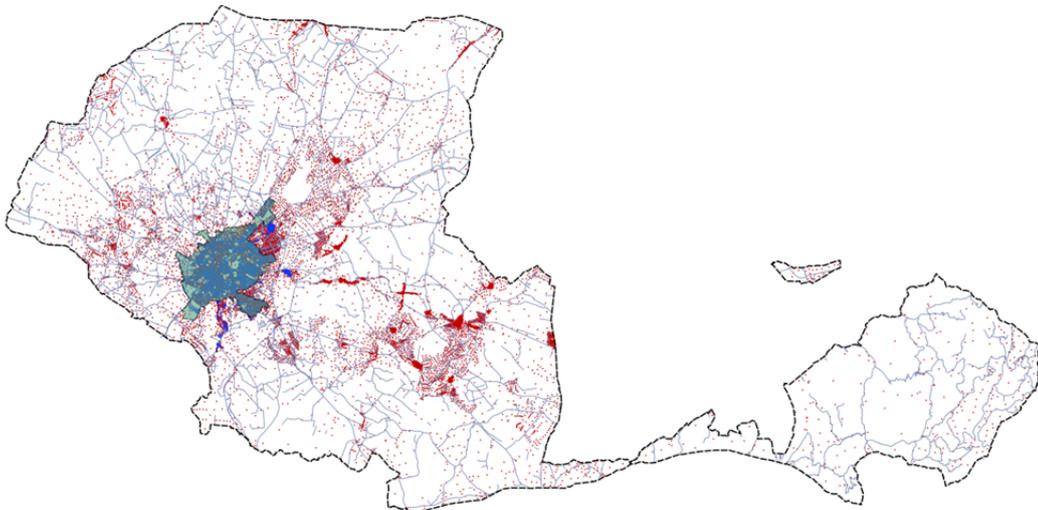


Fig.37 Limite municipal de Jerez de la frontera con datos espaciales de la demanda y ejes del viario

De este modo, concluimos obteniendo nuestras capas vectoriales iniciales limitadas para replantearlas y posteriormente introducirlas en ArcGIS. A pesar que borremos lo que no necesitamos para el análisis en caso de gestionar a posteriori la red sería conveniente tener los datos de todo el municipio replanteado.

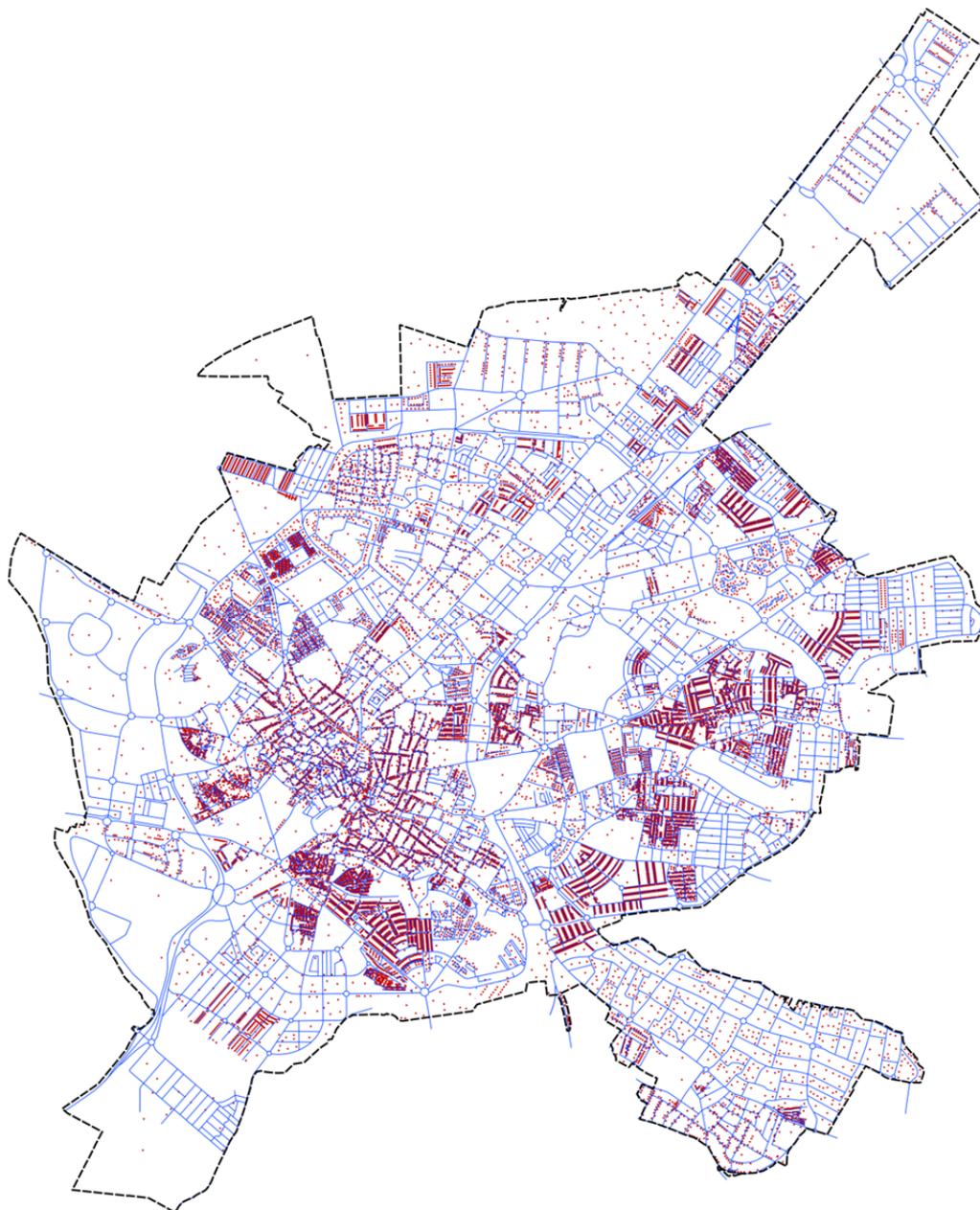


Fig.38 Limite elegido con datos espaciales de la demanda y ejes del viario limitados

Este es el paso más fácil, ahora queda lo más importante, el replanteo de la red viaria.

3.2 Replanteo de datos

Vamos a basarnos principalmente en los datos abiertos del catastro, ya que es la fuente que nos ofrece más fiabilidad de la realidad urbana, sin embargo, eso no descarta que hay que realizar una gran labor de replanteo para poder garantizar que los tratamientos posteriores de datos con algoritmos en GIS se lleven a cabo sin ninguna incidencia y que ofrezca resultados veraces.

El replanteo se llevará a cabo según el límite establecido por eso conviene haberlo simplificado lo máximo posible.

Este proceso configura la elaboración de la infraestructura virtual de bicicletas la que estará alojado en una plataforma online o en software de escritorio para realizar labores de cálculo, análisis, gestión o mantenimiento

3.2.1. Vuelos aéreos

Para realizar las labores de replanteo vamos a utilizar el último vuelo actualizado de Google que nos ofrece datos rasters en alta resolución para ver bien lo que hay.



Fig.39 Vuelo de Google del Digital Globe del 2017

3.2.2. La red viaria

El viario para que refleje perfectamente la realidad urbana, se adecue como grafo y tenga los datos necesarios requeridos por el servicio de préstamo de bicicletas tiene que satisfacer las siguientes características:

1. La red viaria debe estar completa sin faltarle ningún tramo. Hay que asegurarse de que todos los tramos están completos, sino fallaran los algoritmos futuros que usaremos.



Fig.40 Vuelo de Google superpuesto con los ejes viarios del Catastro e indicando el fallo

2. Los tramos deben intersectar o continuar según un criterio y no aleatoriamente. Esto se debe a que la mayoría de algoritmos diferencian si es un puente o túnel en vez de un cruce porque la línea termina en este o sigue(o por un dato que es menos óptimo). En este caso la línea que cruza por la rotonda no es ni túnel ni nada, es un tramo obsoleto que se ha quedado perdido en la rotonda por lo que hay que eliminarlo al no haber ni tránsito peatonal o rodado en él.

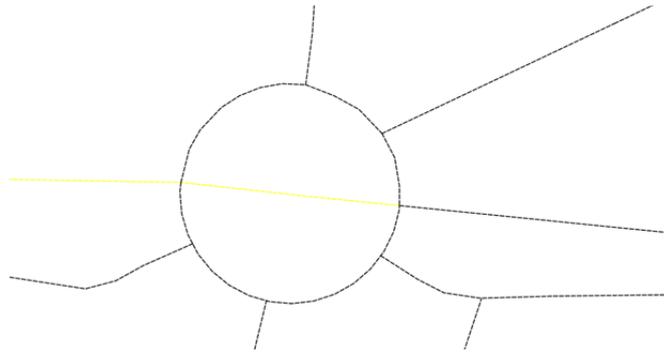


Fig.41 Capa de ejes viarios tomado del catastro en el que se ve los fallos de diseño sin criterio

3. La red viaria debe ser conexas. Si interrumpimos la red en ciertos puntos puede significar que es una calle secundaria de acceso a la vivienda y no tiene salida, pero por desgracia el catastro no está tampoco bien replanteado y en este sentido hay muchos tramos que cuando es inconexo en vez de ser por esto es porque se ha dibujado mal.

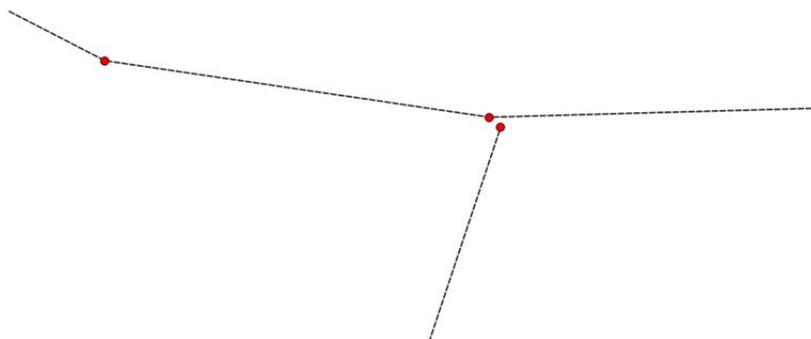


Fig.42 Capa de ejes viarios tomado del catastro en el que se ve los fallos de conectividad en el diseño

Si nos basamos en los conceptos tratados en la teoría de grafos un truco para detectarlos rápido a simple vista es utilizando el concepto de matriz de adyacencia. Es decir, creo un algoritmo que en todos los vértices de mi trama viaria me hace un círculo con un radio de búsqueda digamos de 0.1m que es el intervalo máximo de fallo que puede producirse al buscar la intersección de este con un punto de otro vértice de otro tramo.

Esto me creara un mapa visual de red, en el que cuando es 1 es un camino sin salida o punto límite de la red. Cuando tenga un valor de adyacencia 2 es un paso y si tiene un valor superior a 2 es un cruce de a cada vez más tramos. Esto ya será muy útil porque nuestras terminales se dispondrán preferentemente cerca de los cruces al tener una mayor visibilidad por temas de seguridad.

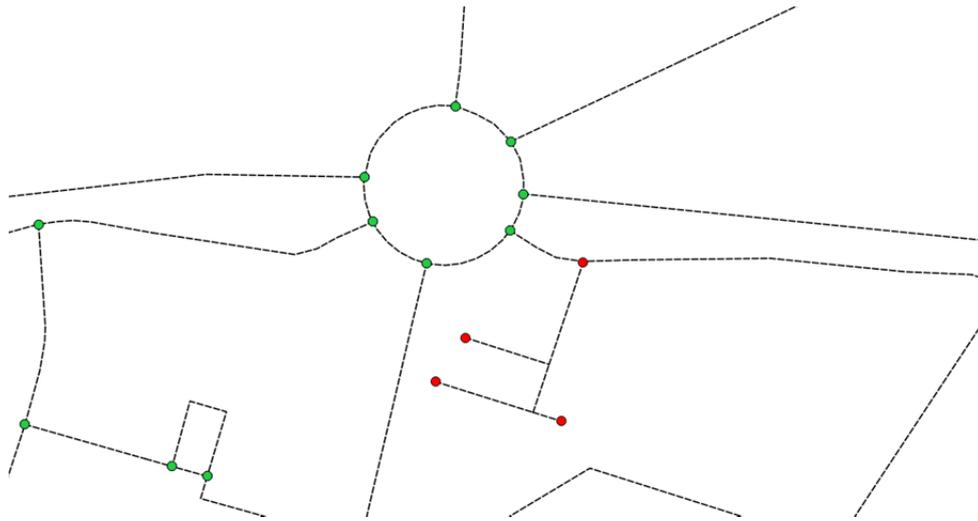


Fig.43 Esquema de adyacencia según los datos del catastro en el que se descarta los vértices de paso.

4. La red viaria debe tener un criterio claro de lo que es eje. Si una línea representa el eje del viario perdemos la posibilidad de distinguir si hay varios carriles o de como es el acerado, sin embargo, nos simplifica mucho el cálculo. En vez de replantear bien y crear ejes para acerado calzada y carriles, lo que haremos un eje único superficie lineal de espacio público comprendido entre manzanas.



Fig.44 Carretera N-IV en el que se ha borrado los ejes adicionales paralelo a esta de acceso interior.

5. Las rotondas no deben tener los ejes dibujados. Para poder decir al ordenador que cuantas más entradas/salidas tenga la rotonda es mejor ubicación para poner una terminal habría que prolongar los ejes para que todos interseccionen en un punto y así tener un vértice de adyacencia 8 en el caso del ejemplo, y no vértices de adyacencia 3.
6. La red peatonal también forma parte de la red viaria. Como el catastro descarta las vías peatonales debemos nosotros integrarlas dibujando la línea y añadiendo un campo tipo para especificar: peatonal, rodada, híbrida



Fig.45 Camino que parte desde avenida María Auxiliadora y llega a la avenida de Lebrija

7. Las líneas del deseo deben ponerse para situaciones peatonales. Dado que al final estamos creando un diseño de red, podemos proponer caminos no existentes como ejes, ya que estamos seguro que al final el comportamiento humano hará que se recorre a través de él.

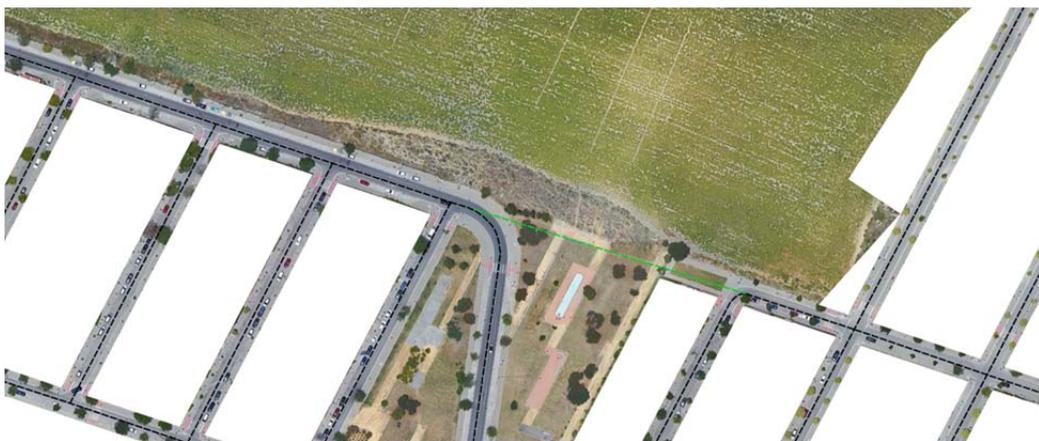


Fig.46 Solución lógica de trazado adicional a la calle Mar de Alborán que cruza en diagonal

3.2.3. Portaleros como origen/destino

Los portaleros son los más perjudicados en el catastro ya que idealmente debería haber uno por parcela y ubicada siempre en el lindero, no en el vial, no en la casa del vecino, no en el lindero trasero de acceso secundario al coche, sino el acceso oficial por el cual se guiaría un cartero para entregar el correo tanto a casa como a un edificio público en caso de tener vario criterios. (Estos portales proceden de CartoCiudad del cual ellos hacen un procesado masivo espacial para localizarlos en los linderos automáticamente,

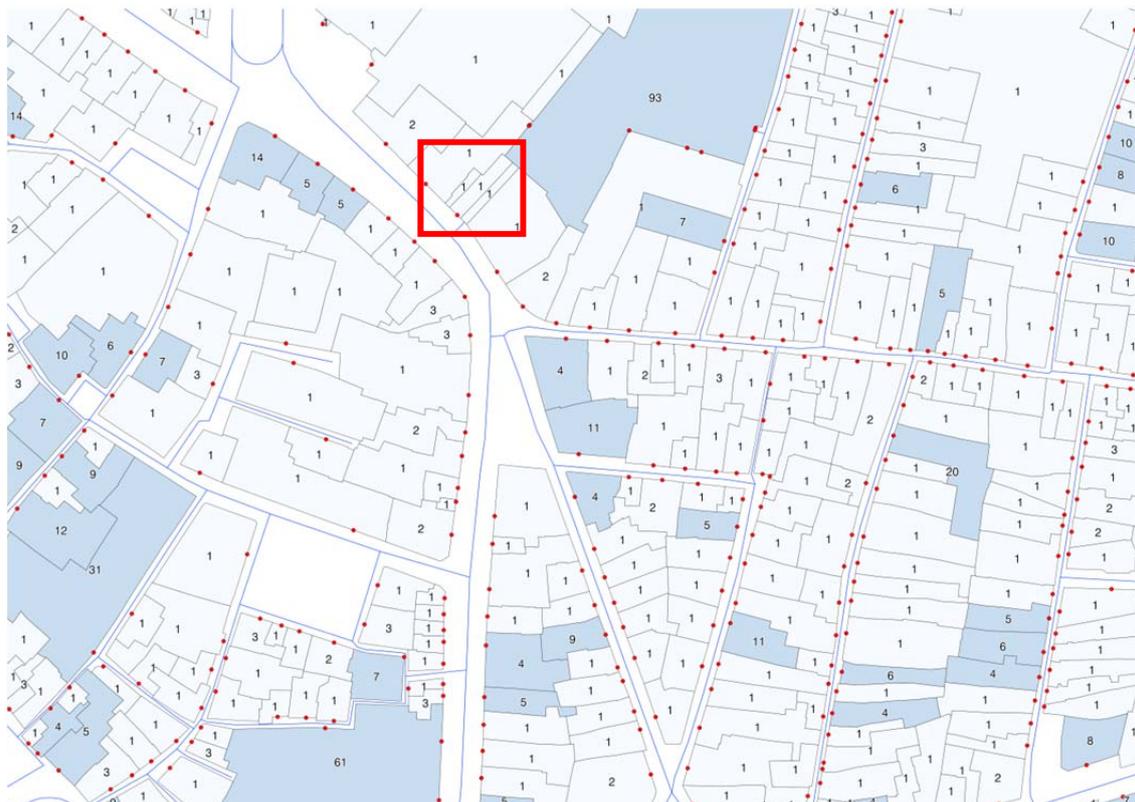


Fig.47 Plano de número de bien inmuebles por parcela asociado a un portalero mostrando error de replanteo en el que faltan 2 portales

Una vez todas las parcelas estén correctas, el valor de los datos contenidas en ella pasarían por procesamiento espacial a estar en los portales. Por lo cual en verdad a la hora de replantear el contenido de la parcela la geometría que nos interesa es únicamente el punto de acceso a la parcela localizado en el lindero.

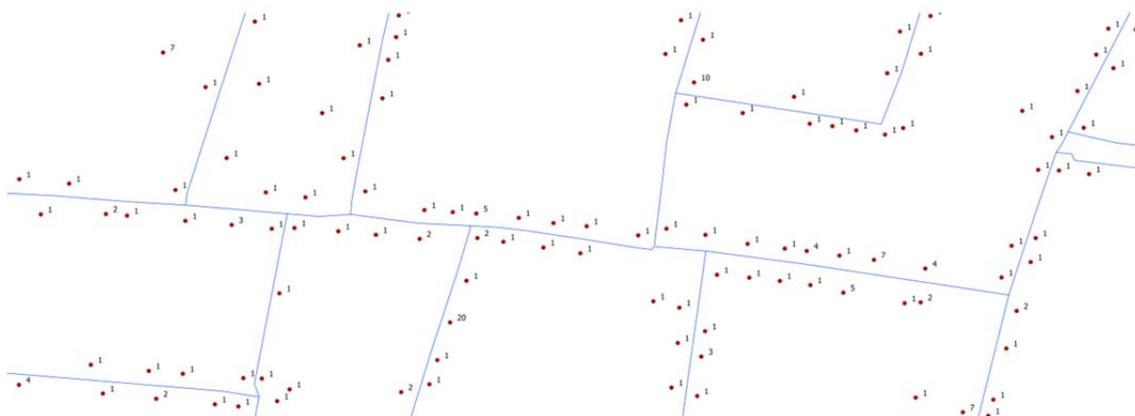


Fig.48 Plano de ejes y portales

3.3 Cálculo de la red

Este sería el resultado de Dijkstra con el algoritmo de ArcGIS de “Ubicación-Asignación” con la opción de “mínima impedancia” en el que hemos puesto como candidatos los mismos puntos de demanda para agilizar el tiempo del cálculo para ubicar 200 terminales.

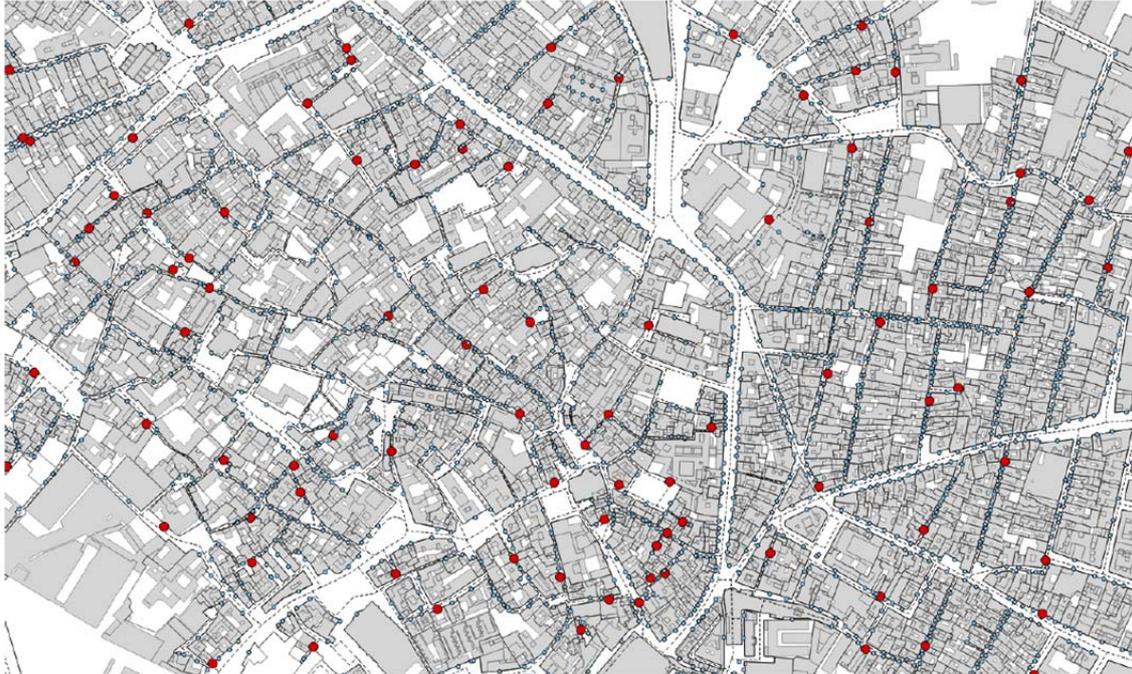


Fig.11 Plano de número de bien inmuebles por parcela asociado a un portalero mostrando error de replanteo en el que faltan 2 portales

Como vemos no se han ubicado ninguno en la avenida ya que no hemos puesto pesos en los candidatos, si hubiéramos puesto un valor de 1.5 para plazas, 1.3 para avenidas, 1.1 para cruces y 1 para el resto ubicado a lo largo de la red viaria nos hubiera ubicado mejor todo.

ObjectID	Shape	Name	FacilityType	Weight	DemandCount	DemandWeight	Total Length	TotalWeighted Length	SourceID	SourceOID	PosAlong	SideOfRd
2916	Point	Location 2916	Chosen	1	6	784	717,168378	73621,386867	EJES	930	0,375045	Left
6154	Point	Location 6154	Chosen	1	5	581	889,25977	43491,562457	EJES	4723	0	Left
3285	Point	Location 3285	Chosen	1	9	566	1496,360671	67639,915177	EJES	1660	1	Left
4377	Point	Location 4377	Chosen	1	11	564	613,74026	31757,339847	EJES	2923	1	Left
4495	Point	Location 4495	Chosen	1	3	441	324,274701	29512,692276	EJES	4419	0	Left
2142	Point	Location 2142	Chosen	1	5	423	298,156097	4749,586327	EJES	5095	0,383418	Left
3106	Point	Location 3106	Chosen	1	6	423	585,664682	38604,287687	EJES	3356	1	Left
2552	Point	Location 2552	Chosen	1	63	404	5468,911071	46919,207936	EJES	2629	0	Left
6293	Point	Location 6293	Chosen	1	22	368	2315,807593	34612,193242	EJES	3028	1	Left
3966	Point	Location 3966	Chosen	1	15	348	1760,323503	37112,27799	EJES	1701	1	Left
2614	Point	Location 2614	Chosen	1	125	346	17127,225361	41551,948343	EJES	105	1	Left
2716	Point	Location 2716	Chosen	1	5	343	435,457548	51208,379568	EJES	1343	0	Left
4611	Point	Location 4611	Chosen	1	6	342	613,307058	25636,968307	EJES	4417	0	Left
870	Point	Location 870	Chosen	1	3	327	201,23372	6266,593437	EJES	5236	0	Left
2936	Point	Location 2936	Chosen	1	43	327	4468,920276	32670,564335	EJES	578	0	Left
2326	Point	Location 2326	Chosen	1	18	323	2263,859039	35099,638847	EJES	1896	1	Left
4786	Point	Location 4786	Chosen	1	8	321	1169,872139	50159,558531	EJES	3680	0	Left
3561	Point	Location 3561	Chosen	1	12	313	1963,119536	54727,364162	EJES	2646	0	Left
2506	Point	Location 2506	Chosen	1	10	305	930,01296	11276,973727	EJES	1789	0	Left
1079	Point	Location 1079	Chosen	1	14	292	1362,518652	52453,111774	EJES	3151	1	Left
3206	Point	Location 3206	Chosen	1	12	291	1443,083708	32493,412772	EJES	2563	0	Left
4025	Point	Location 4025	Chosen	1	14	291	1000,608014	14886,079223	EJES	3025	1	Left
667	Point	Location 667	Chosen	1	8	285	1646,099545	24186,169501	EJES	3168	0,612807	Left
664	Point	Location 664	Chosen	1	11	281	857,246795	20084,522379	EJES	2395	1	Left
2524	Point	Location 2524	Chosen	1	86	279	6830,286683	27149,836799	EJES	132	1	Left
2545	Point	Location 2545	Chosen	1	25	276	3235,433685	34553,410008	EJES	1754	1	Left
1152	Point	Location 1152	Chosen	1	57	270	8351,87405	31937,876543	EJES	1629	1	Left
2327	Point	Location 2327	Chosen	1	24	270	2709,992117	16199,460092	EJES	509	0	Left
671	Point	Location 671	Chosen	1	14	267	1246,861028	22029,506961	EJES	1222	1	Left
2549	Point	Location 2549	Chosen	1	19	263	1988,035638	19901,264381	EJES	195	0	Left
914	Point	Location 914	Chosen	1	17	260	1941,797994	25190,985593	EJES	1698	1	Left
1768	Point	Location 1768	Chosen	1	1	260	139,433919	36252,818999	EJES	4616	0	Left

ArcGIS nos ofrece una tabla resumen para mostrar que cada punto en rojo elegido corresponde a un candidato elegido por que tiene una demanda acumlada de x.

CONCLUSION RESUMEN

Este trabajo ha buscado mostrar todo el procedimiento, la complejidad y la problemática que rodea el diseño de una infraestructura para integrarla en un sistema inteligente. Es imprescindible dominar la teoría de grafos y tener claros los conceptos de localización de un servicio ya que para obtener un caso acorde con la realidad habrá que hacer modificaciones de los algoritmos óptimos base como el de dijkstra.

También hemos visto que los resultados se ven altamente influenciados por cómo están dibujamos los datos. Un ordenador solo entiende de normalización por lo que tiene que haber criterios estables como el más importante, si usamos un algoritmo que se basa en los puntos finales e inicio de sus tramos para conectar con el siguiente tramo para hacer la ruta pues no dibujar cruces como líneas que no interseccionan entre sí porque lo interpretará como un camino sin salida. Esto fue lo que denominamos como la infraestructura virtual de bicicletas.

Se ha buscado exponer todas las posibles condicionantes en el diseño de una red de bicicletas y como se podría parametrizar, entendiendo lo urbano como una realidad simplificable. Si somos capaces de diseñar una infraestructura mediante ordenador somos capaces de replicarlos para su auto-gestión, la máquina absorbe los propios criterios del diseñador.

Se deja abierto muchas vías de investigación, ya que apenas se ha podido entrar en detalle en cada apartado y así ofrecer un resultado final verídico con lo que de verdad demandaría el servicio. Posiblemente deban continuarse por parte de otras especialidades, como el estudio de toda la algoritmia derivada de dijkstra por parte de ArcGIS para aprender a coordinarlas en la elaboración de un proyecto de integración, sin perder de vista los tiempos de ejecución.

También se podría estudiar el mismo tema para una instalación urbana integrándola con criterios más acotados para pre dimensionado automatizados de redes.

ANEXO 1 Pesos de la demanda de origen y destino según usos catastrales

COD	DESCRIPCION	F.ORIGEN	F.DESTINO	COD	DESCRIPCION	F.ORIGEN	F.DESTINO
A	Almacenamiento	0	0	GS3	Hostal p 3E	1	0
AAL	Almacén	0	0	GTL	Colonias Lujo	1	0
AAP	Aparcamiento	0	0	GT1	Colonias Lujo 1C	1	0
AAV	Aparcamiento Viv.	0	0	GT2	Colonias Lujo 2C	1	0
AES	Estación	0	0	GT3	Colonias Lujo 3C	1	0
BCR	Caseta riego	0	0	I	Industria	0	0
BCT	Caseta transformacion	0	0	IAG	Agropecuaria	0	0
BIG	Inst. Ganaderas	0	0	IAL	Alimentación	0	0
C	Comercio	0	1	IAR	Agrícola	0	0
CAT	Automóviles	0	1	IBB	Bebida	0	0
CBZ	Bazar	0	1	IBR	Barro	0	0
CCE	Menor no Diferencia	0	1	ICN	Construcción	0	0
CCL	Calzado	0	1	ICT	Canteras	0	0
CCR	Carnicera	0	1	IEL	Electricidad	0	0
CDM	Personal o Domestica	0	1	IIM	Química	0	0
CDR	Droguería	0	1	IMD	Madera	0	0
CFN	Financieros	0	1	IMN	Manufacturada	0	0
CFR	Farmacia	0	1	IMT	Metálica	0	0
CFT	Fontanería	0	1	IMU	Maquinaria	0	0
CGL	Galerías	0	1	IPL	Plásticos	0	0
CIM	Imprenta	0	1	IPP	Papel	0	0
CJY	Joyería	0	1	IPS	Pesca	0	0
CLB	Librería	0	1	IPT	Petróleo	0	0
CMB	Mueles	0	1	ITB	Tabaco	0	0
CPA	Por Mayor	0	1	ITX	Textil	0	0
CPR	Perfumería	0	1	IVD	Vidrio	0	0
CRL	Relojería	0	1	JAM	Almazaras	0	0
CSP	Supermercado	0	1	JAS	Aserraderos	0	0
CTJ	Tejidos	0	1	JBD	Bodegas	0	0
E	Enseñanza	0	2	JCH	Campiñoneras	0	0
EBL	Biblioteca	0	10	JGR	Granjas	0	0
EBS	Basica	0	2	JIN	Invernaderos	0	0
ECL	Casa Cultura	10	0	K	Deportivo	0	5
EIN	Instituto	0	15	KDP	Deporte	0	5
EMS	Museo	0	2	KES	Estadio	0	5
EPR	Profesional	0	2	KPL	Polideportivo	0	5
EUN	Universidad	0	20	KPS	Piscina	0	5
G	Hotel	1	0	M	Suelo sin edificar	0	0
GC1	Café 1T	0	1	O	Oficina	0	1
GC2	Café 2T	0	1	O02	Prof. Superior	0	1
GC3	Café 3T	0	1	O03	Prof. Medio	0	1
GC4	Café 4T	0	1	O06	Medicos, Abogados...	0	1
GC5	Café 5T	0	1	O07	ATS, Similares	0	1
GH1	Hotel 1E	1	0	O11	Profesores Mercant.	0	1
GH2	Hotel 2E	1	0	O13	Prof. Universitarios	0	1
GH3	Hotel 3E	1	0	O15	Escritores	0	1
GH4	Hotel 4E	1	0	O16	Artes plásticas	0	1
GH5	Hotel 5E	1	0	O17	Músicos	0	1
GPL	Apt. Bloq. Lujo	1	0	O43	Vendedores y viaj.	0	1
GP1	Apt. Bloq. Lujo 1C	1	0	O44	Agentes	0	1
GP2	Apt. Bloq. Lujo 2C	1	0	O75	Tejedores	0	1
GP3	Apt. Bloq. Lujo 3C	1	0	O79	Sastres	0	1
GR1	Restaurante 1T	0	1	O81	Carpinteros	0	1
GR2	Restaurante 2T	0	1	O88	Joyeros	0	1
GR3	Restaurante 3T	0	1	O99	Otras activ.	0	1
GR4	Restaurante 4T	0	1	P	Público	0	1
GR5	Restaurante 5T	0	1	PAA	Ayto. 20.000 hab	0	1
GS1	Hostal p 1E	1	0	PAD	Audencia	0	1
GS2	Hostal p 2E	1	0	PAE	Ayto. +20.000 hab	0	1

COD	DESCRIPCION	F.ORIGEN	F.DESTINO
PCB	Cabildo	0	1
PDL	Delegación	0	1
PGB	Gobierno	0	1
PJA	Juzgado Comarcal	0	1
PJO	Juzgado provincial	0	1
R	Religioso	0	1
RBS	Basílica	0	1
RCP	Capilla	0	1
RCT	Catedral	0	1
RER	Ermita	0	1
RPR	Parroquia	0	1
RSN	Santuario	0	1
T	Espectáculos	0	3
TAD	Auditorio	0	3
TCM	Cine	0	3
TCN	Cine no decorado	0	3
TSL	Sala Múltiple	0	3
TTT	Teatro	0	3
V	Vivienda	2	0
Y	Otros usos	0	1
YAM	Ambulatorio	0	1
YCA	Casino 20.000h.	0	1
YCB	Club	0	1
YCE	Casino +20.000h.	0	1
YCL	Clínica	0	1
YDG	Depósitos de gases	0	0
YDL	Dep. liquid, tanques	0	0
YDS	Dispensario	0	0
YGR	Guardería	0	1
YHG	Higiene	0	1
YHS	Hospital	0	1
YJD	Jardin priv 100%	0	0
YOU	Obras Urban Interior	0	0
YPO	Porche 100%	0	0
YRS	Residencia	0	1
YSA	Sindicato Local	0	1
YSC	Socorro	0	1
YSL	Silos, dep. solid	0	1
YSN	Sanatorio	0	1
YSO	Sindicato Prov.	0	1
YSP	Soportal 50%	0	0
YTD	Terraza desc 100%	0	0
YTZ	Terraza cubta. 100%	0	0
ZBE	Balsas, estanques	0	0
ZCT	Canteras	0	0
ZDE	Depuradoras	0	0
ZDG	Depositos de gases	0	0
ZDL	Dep. liquid, tanques	0	0
ZGV	Graveras	0	0
ZMA	Minas cielo abto.	0	0
ZME	Muelles y embarc.	0	0
ZPC	Piscifact., cetareas	0	0
ZSL	Silos, dep. solid	0	0
ZVR	Vertederos	0	0

BIBLIOGRAFÍA REFERENCIAS

Juan Carlos García-Palomares, Javier Gutiérrez, Marta Latorre. Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: A GIS approach .Applied Geography 35 (2012) 235-246.

Ying hang, Tom Thomas, M. J. G. Brussel, and M. F. A. M. van Maarseveen. Expanding Bicycle-Sharing Systems: Lessons Learnt from an Analysis of Usage. PLoS One. 2016; 11(12): e0168604.

Xiaolu Zhou. Understanding Spatiotemporal Patterns of Biking Behaviour by Analyzing Massive Bike Sharing Data in Chicago. PLoS One. 2015; 10(10): e0137922.

Gulab Singh, Brajesh Singh, Shubham Rathi, Saurabh Haris. Solid Waste Management using Shortest Path Algorithm. Internation Journal of Engineering Science Invention Research & Development; Vol. I Issue II August 2014