



Tesis MBA

Sistemas de Información Georreferenciada en Supply Chain Management

Autor: Emiliano Lagarrigue

Tutor: Gustavo Vulcano

Curso: MBA 2014

Resumen	4
Introducción	5
Marco Teórico.....	9
Georreferenciación	11
Definición	11
Sistemas de Información Geográfica (GIS)	12
Arquitectura de un Sistema GIS.....	14
Fuentes de información georreferenciada	16
Representación de datos georreferenciados	19
Sistemas de coordenadas	20
Herramientas GIS	22
Bases de datos georreferenciadas	23
Análisis de información georreferenciada	25
GIS en Supply Chain Management	29
IT en Supply Chain Management.....	31
Last Mile Delivery.....	32
El rol de la tecnología en la última milla.....	35
Caso de estudio.....	39
Descripción de la solución	39
El problema del viajante (TSP)	40
Algoritmos Genéticos.....	42
Convergencia.....	46
Fitness	47
Construcción de la solución	48

Modelo espacial para la ciudad de Buenos Aires.....	49
Tráfico	52
Restricciones adicionales	54
Integración de la información georreferenciada	55
Definición de la función de fitness	56
Renderizado de la información.....	57
Arquitectura final de la solución.....	59
Resultados.....	60
Comparación con un proceso de ruteo tradicional	64
Precisión de la solución.....	66
Aplicaciones adicionales	69
Algoritmos Genéticos Multiobjetivos	70
Pronóstico de tráfico en el corto plazo	71
Conclusiones.....	74
Bibliografía	78

Resumen

El objetivo del presente trabajo consiste en abordar los conceptos de georreferenciación de la información, haciendo referencia a las posibilidades de implementación de soluciones basadas en Sistemas de Información Georreferenciados en los procesos de Supply Chain de una compañía.

Para esto, se desarrollará un marco teórico/conceptual de las definiciones y técnicas más importantes, herramientas para su tratamiento e integración con los sistemas actuales que se utilizan en la gestión de Supply Chain.

Por último, se ejemplificarán los conceptos desarrollados con la implementación de un caso práctico para la optimización de ruteo de entregas en la última milla en la Ciudad de Buenos Aires, detallando los orígenes de datos utilizados, técnicas de optimización elegidas y posibilidades de escalamiento de la solución.

Introducción

Actualmente, la gestión de los procesos de Supply Chain es un factor clave de éxito para una compañía. Los avances tecnológicos que han tenido lugar en los últimos años han incorporado numerosos canales de distribución que presentan un enorme desafío para las empresas teniendo que desarrollar procesos flexibles que puedan atender el lanzamiento constante de productos innovadores a clientes en cualquier lugar del mundo que cuenten con una conexión a Internet.

El ciclo de un proceso de Supply Chain generalmente incluye las etapas de Abastecimiento, Producción, Almacenamiento y Distribución. En particular, la distribución del producto final hacia el cliente desde las instalaciones productivas o de almacenamiento presenta numerosos desafíos como la localización de clientes, disponibilidad de medios de transporte, condiciones de infraestructura, entre otros. A su vez, se presentan numerosos trade-off entre flexibilidad, disponibilidad de productos, tiempo de entrega y el costo que esta estrategia hacia el cliente representa.

En función del pronóstico o forecast de la demanda de un determinado producto, una compañía puede optar por localizar centros de distribución intermedios para poder responder rápido al pedido de un cliente o una dependencia, de igual manera para poder absorber cualquier variabilidad de la demanda. El inconveniente es que el costo de esta configuración puede ser prohibitiva siendo necesario optimizar el proceso de distribución para que sea más eficiente, se realice en el menor tiempo posible y al menor costo.

Según un estudio de Accenture¹, más del 30% de los usuarios de internet pagaría por la entrega de productos en el mismo día. Un ejemplo de esto es el servicio Prime de Amazon en el cual la mayoría de los productos disponibles en su portal

¹ Accenture Study Shows U.S. Consumers Want a Seamless Shopping Experience Across Store, Online and Mobile that Many Retailers are Struggling to Deliver <https://newsroom.accenture.com/industries/retail/accenture-study-shows-us-consumers-want-a-seamless-shopping-experience-across-store-online-and-mobile-that-many-retailers-are-struggling-to-deliver.htm>

de compras puede ser entregado dentro del territorio de Estados Unidos en un tiempo máximo de 48 horas desde la confirmación de la cesta de compras. Este servicio funciona como una suscripción anual y da acceso a otros beneficios como streaming de películas, libros y beneficios. El servicio cuenta con más de 20 millones de usuarios con los beneficios que trae, para un negocio como el de Amazon, un modelo de suscripción con un cash-flow, por este concepto, predecible.

Luego, la necesidad de optimizar el proceso de distribución de un producto hacia el cliente final se hace evidente y cualquier mejora en esta etapa puede tener un impacto significativo en la experiencia del cliente con la compañía con un costo similar. Tradicionalmente, la optimización de este proceso hace foco en el armado de la red de distribución, selección del medio de transporte adecuado, armado de entregas y ruteo hacia el destino final. La configuración de una red de distribución consiste en seleccionar la configuración óptima de centros de distribución para poder satisfacer la demanda en una región determinada, en función de esta selección es que se deben seleccionar los medios de transporte adecuados en función de todas las variables que hacen a la entrega hacia el punto final de entrega previo a la dirección del cliente. La entrega desde el último punto logístico en una red de distribución hacia el cliente final se la denomina “entrega en la última milla” o “last mile delivery”.

La última milla es el eslabón final de la cadena en un proceso de Supply Chain y consiste en planificar una ruta que permita cubrir la mayor cantidad de puntos de entrega en un tiempo determinado y con un determinado costo. Este proceso puede verse afectado por diversos factores como el tráfico, la movilidad personal, restricciones locales para la distribución de mercaderías o consideraciones medioambientales. Esto ha motivado a las empresas a optar por distintas estrategias como la utilización de vehículos comerciales más livianos o la flexibilización en la ventana de entrega con el cliente, entre otros. A su vez, el factor que tiene mayor influencia en el costo de la entrega en la última milla es el tiempo

en realizar una determinada entrega y representa el 80% del total². Una forma de optimizar el proceso y obtener rutas mejoradas, es utilizar información georreferenciada que permita planificar las entregas de acuerdo a determinados parámetros y monitorear el estado de los despachos en tiempo real adaptando los mismos para que la escalabilidad no presente mayores inconvenientes.

La georreferenciación consiste en el agregado de un par de coordenadas (latitud y longitud) a un determinado registro de datos. Este registro puede ser una ubicación en sí misma, un registro de negocios como una venta, una entrega o el lugar donde tomar lugar un evento relevante. Aproximadamente un 80% de los datos que son generados por una compañía tienen el potencial de georreferenciarse (Pick, 2008). Para poder dar soporte a esta nueva dimensión de los datos, es necesario contar con un Sistema de Georreferenciación (GIS) que permita representar gráficamente la información, con un determinado sistema de referencia geográfica y un conjunto de límites y relaciones entre los objetos. Estas representaciones se denominan geometrías y permiten representar puntos, líneas y polígonos. Se estima que el 80% de los costos de desarrollo de un sistema GIS se corresponde con la disponibilidad y el manejo de los datos (Pick, 2008). La principal razón de este costo es que en general la información georreferenciada viene de fuentes de datos diversas, con un volumen en principio no procesable con una hoja de cálculo tradicional y en general contiene ciertos atributos con información no del todo precisa que necesita pasar por un proceso de adecuación para su integración en la solución final.

Lograr georreferenciar los datos maestros y las transacciones que se dan lugar en un proceso de Supply Chain permitiría modelar relaciones espaciales que serían complejas de representar con métodos tradicionales. Un escenario típico podría contener el seguimiento de la entrega de una determinada materia prima para el proceso productivo, el modelado de un determinado complejo productivo a fin de

² The 'last mile' problem, by Parcel2Go. <http://www.supplychainedigital.com/logistics/3355/The-last-mile-problem-by-Parcel2Go>

monitorear los movimientos internos o localización de activo, finalizando en el monitoreo y optimización del proceso de entrega hasta un cliente final. La disponibilidad actual de información de GPS o smartphones genera la necesidad de contar con herramientas integradas que puedan aprovechar este link de información entre un evento y el lugar en el que ocurrió.

Los sistemas ERP tradicionales carecen de funcionalidad estándar que permita representar de forma nativa datos georreferenciados integrados dentro de los procesos típicos a los que dan soporte. Por ejemplo, el sistema ERP de SAP cuenta con un conector que permite generar una interface con software externo (ej. ArcGIS) pero no cuenta con una funcionalidad estándar que permita integrar esta información en su funcionalidad intrínseca a fin de lograr soluciones que tomen ventaja de la posibilidad de modelar estas relaciones espaciales complejas. Ejemplo de esto es el módulo de creación de entregas (LE-TRA) que permite optimizar la generación de las mismas en función de un set de datos pre configurado sin posibilidad de integrar otros set de información relevantes como puede ser el estado del tráfico en una ruta particular.

El objetivo del presente estudio será analizar que herramientas se tienen para poder procesar información georreferenciada y como puede ser obtenida a fin de integrarla en distintas técnicas tradicionales de optimización de entrega en la última milla. Por último, se presentará un caso de estudio sobre las entregas en la ciudad de Buenos Aires implementando una herramienta de optimización para las entregas de la última milla vinculada con la información del módulo de transportes de SAP.

Marco Teórico

Pick (2008) presenta una de las referencias más importantes sobre la georreferenciación en los negocios. En su trabajo, se destaca la importancia de estos conceptos y como las herramientas GIS están logrando un impacto significativo en la productividad de las compañías y su economía. Establece que la tecnología de la información ha evolucionado hacia la interacción, movilidad e interconectividad, por lo que la tecnología de georreferenciación y posicionamiento espacial también lo ha hecho en ese sentido, considerando que cuando los conceptos GIS son aplicados de forma práctica a problemas de la vida real, se tiene una herramienta con fuerte foco en el management de los procesos. La posibilidad de mostrar en un mapa estas relaciones espaciales permite mejorar notablemente los procesos de forecasting construyendo simuladores que permitan integrar información.

Por su parte, Bossler (2002) destaca que aproximadamente el 80 por ciento de la información transaccional de una compañía tiene el potencial de georreferenciarse, esto es, agregar atributos geográficos para su tratamiento en una dimensión espacial. De esta manera, la integración de estos conceptos en las compañías puede ser una ventaja competitiva para optimizar, entre otras cosas, toda la cadena de valor.

Para el tratamiento de las distintas fuentes de información, es importante comprender las mejores prácticas para su tratamiento. Respecto del tratamiento de tráfico, en Vlahogianni (2014) se encuentra una extensa revisión para las distintas técnicas de forecasting, considerando la ventana de tiempo en el futuro que se desea y remarca que es un excelente campo para el desarrollo y testeado de complejos algoritmos de predicción por la abundancia de información a muy alta resolución, esto es, capilaridad y precisión en el tiempo. Dado que el objetivo del proceso de predicción de tráfico consiste en integrar la información del tráfico a un módulo de ruteo de entregas, en el cual el tiempo de respuesta es más importante que la precisión, la solución se implementará considerando que la variable aleatoria

que representa el tráfico en un determinado punto en el espacio puede ser analizada como un problema de series temporales. Smith (2002) considera que si se tiene una determinada cantidad de mediciones del flujo de tráfico medidos a intervalos regulares, siendo el objetivo determinar el mismo en un intervalo futuro, pueden aplicarse las técnicas de análisis de series temporales para su resolución. Existe numerosas referencias sobre la conveniencia de implementar un modelo estacional ARIMA (autoregressive integrated moving average) pero la determinación de los regresores y factores de estacionalidad sería un proceso prohibitivo considerando el tiempo de cálculo y las necesidades de la solución buscada.

Smith (2002) detalla que el flujo vehicular tiene un comportamiento basado en picos y mesetas, en donde los patrones de movimiento de las curvas durante los días de semana son relativamente similares entre sí (variando de alguna manera en sus patrones en alguna medida), siendo los días de fines de semana totalmente diferentes. En terminología de análisis de series temporales, se dice que es una diferencia estacional semanal.

Laporte (1991) menciona que el problema de viajante (Traveler Salesman Problem) es uno de los problemas más estudiados en la literatura de la optimización combinatoria dada su simpleza, intuitividad y complejidad en la resolución. En Dostál (2010) puede encontrarse una comparación de los principales métodos comparando tiempo de ejecución y calidad de la solución final. Los algoritmos genéticos han sido aplicados a este problema con números enfoques, desde implementaciones como en Bryant (2000) hasta enfoques dirigidos a la optimización en tiempos de ejecución como en Tsai (2014).

Georreferenciación

Definición

La georreferenciación es un método que permite lograr un posicionamiento espacial de un objeto o conjunto de objetos en el espacio, en función a un sistema de referencia que permite lograr la ubicación de forma unívoca. De esta manera, permite modelar la relación e interacción de grandes volúmenes de datos, de diversos orígenes, vinculados mediante una referencia espacial a fin de lograr la integración y detección de interacciones en el contexto en el que se dan.

Para lograr un dato georreferenciado, es necesario agregarle al mismo un atributo de coordenadas, representadas como latitud y longitud, con relación a un sistema de referencia específico. Ejemplos de un dato georreferenciado puede ser la ubicación de una determinada persona en una ciudad, la trayectoria recorrida o la ubicación en la que una determinada fotografía fue tomada, entre otros.

Existen numerosas fuentes de información georreferenciadas ya definidas, como estadísticas públicas, notificaciones de redes sociales, tráfico, entre otros. A su vez, es posible realizar la georreferenciación de un determinado dato de forma individual. Un ejemplo de esto sería en caso de que se tenga una lista de clientes dentro de una determinada empresa, agregar un par de columnas más para identificar la latitud y longitud de la ubicación de los mismos. Si se cuenta con un dato georreferenciado, existen diversas aplicaciones que permiten representarlos en una disposición visual y generar un análisis geográfico que permita encontrar relaciones específicas en el espacio-tiempo que serían muy complejos de computar con técnicas tradicionales.

Generalmente, dentro de un determinado registro de información georreferenciada, se denomina a los campos de referenciación geográfica como Geometrías y a los campos de datos como Atributos.

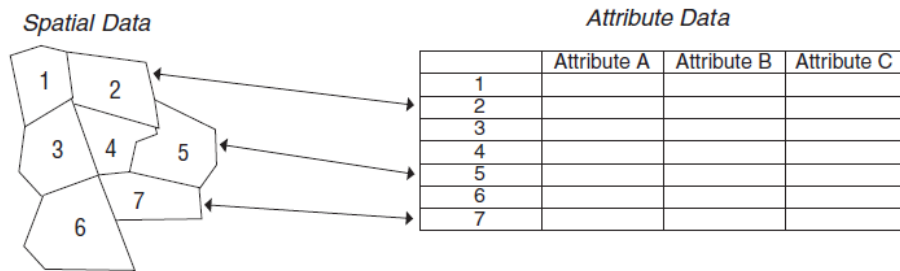


Figura 1. Registros de información geográfica y su representación (Pick, 2008)

La georreferenciación de la información está en proceso de expansión dentro de las compañías. La razón por la que ha tenido su mayor expansión en los últimos años se debe sobre todo a la percepción de que representa un alto costo con beneficios que no son visibles en el corto plazo. Los sets de datos georreferenciados o *espaciales*, son mayores a los tradicionales y requieren un poder de procesamiento sensiblemente superior. Adicionalmente, los conceptos y potencialidades de la georreferenciación para el manejo de datos espaciales no son de conocimiento común en las compañías.

Actualmente, estas técnicas se usan en campo de aplicación diversos como el transporte, la comunicación, exploración petrolera, servicios, medio ambiente, agricultura y geodesia.

Sistemas de Información Geográfica (GIS)

Un Sistema de Información Geográfica (comúnmente llamado GIS por sus siglas en inglés) es un conjunto de aplicaciones que se utilizan para integrar diversas fuentes de información a fin de almacenar, analizar y modelar grandes volúmenes de datos con una referencia en el espacio, dando soporte para la integración de esta componente en los procesos de tomas de decisiones en todas las instancias posibles donde la información georreferenciada pueda ser implementada. De esta manera, permiten generar y procesar flujos de información no solo de información

compuesta por atributos sino con el agregado de la componente geográfica del lugar donde estos ocurren u ocurrieron.

El objetivo principal de un GIS es facilitar la resolución a cuestiones relacionadas con la información espacial y sus relaciones, permitiendo a partir de estas respuestas tomar las decisiones correspondientes en cada proceso. La posibilidad de procesar información con esta combinación de atributos y datos geográficos permite, por ejemplo, la identificación de determinadas zonas que requieran una particular atención por el entorno en el que se encuentran como pueden ser potenciales zonas urbanas sujetas a contaminación, confeccionar un mapa de demanda de un determinado producto para entender que factores geográficos inciden en la misma, entre otros.

Una aplicación GIS funciona como una base de datos con un identificador geográfico asociado a un mapa digital. De esta manera, es posible conocer para un determinado punto o conjunto de puntos de una base de datos espacial, cuáles son sus atributos y a su vez, de forma inversa, saber para un registro, o conjunto de registros, con un determinado atributo cuál es su posición geográfica. Un ejemplo de esto sería contar con una base de datos con la localización de cada uno de los clientes con su volumen de ventas y poder realizar consultas para saber cuáles son los clientes de una determinada locación que tienen un volumen de ventas particular, o de forma inversa, poder identificar para un determinado volumen de ventas cual es la localización geográfica a fin de, por ejemplo, identificar clúster comerciales o analizar la posibilidad de abrir un centro de distribución en el área. Es importante destacar que este tipo de análisis puede realizarse sin aplicaciones GIS pero la ventaja es que estos sistemas permiten realizarlo de una forma eficiente y relativamente rápida a diferencia de cualquier otro método tradicional que se quiera implementar.

La evolución de internet y las posibilidades de geolocalización han permitido la adopción de plataformas GIS en diversas áreas desde el transporte a la geología, no obstante, su origen se remonta mucho antes en el tiempo diferenciándose

Arquitectura de un Sistema GIS

La arquitectura de los Sistemas GIS ha ido evolucionando en el tiempo a medida que se fueron elaborando conceptos y se desarrollaron las herramientas necesarias para el óptimo almacenamiento, procesamiento y renderizado de la información. La evolución puede ser esquematizada en tres diferentes generaciones.

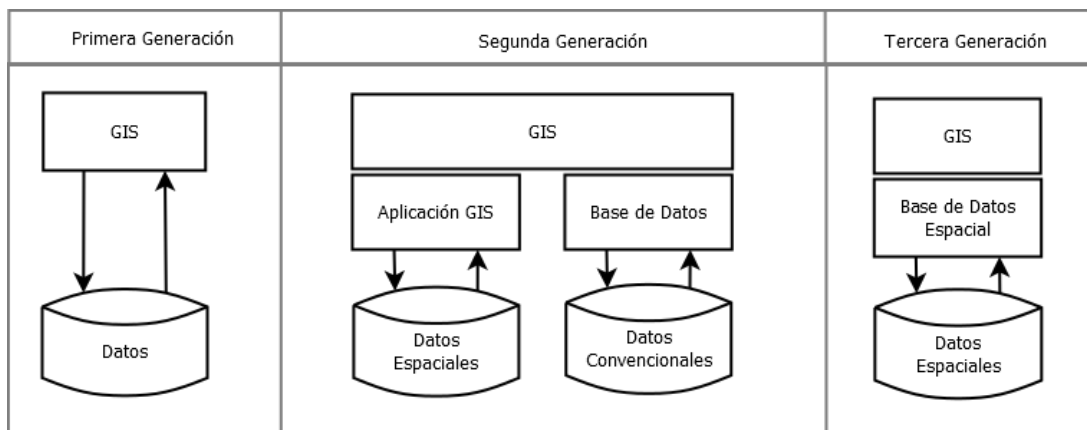


Figura 2. Distintas generaciones de arquitecturas de aplicación GIS

Actualmente, la arquitectura a detalle de un sistema GIS puede dividirse en capas, a nivel componente de Software, comprendiendo una interface de consumo de la información, un servidor de mapas que lo renderiza (muestra) y un componente de procesamiento de datos espaciales que obtiene y almacena información de una base de datos georreferenciada.

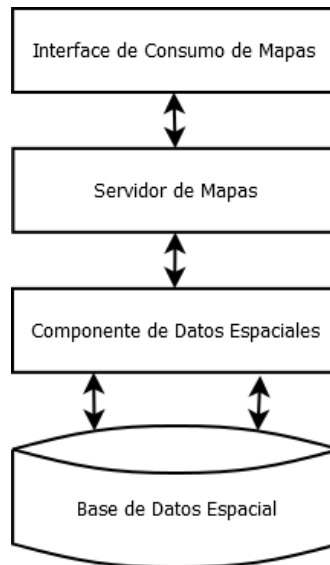


Figura 3. Arquitectura de un Sistema GIS

La interface de consumo de mapas, es una componente que reside en la computadora del usuario local que es capaz de consultar, renderizar (mostrar) e interactuar con un mapa. El Servidor de Mapas es una plataforma que puede almacenar internamente la representación gráfica de un mapa y puede enviar la información en un formato entendible por la interface de consumo de mapas. El componente de datos espaciales es un conjunto de herramientas que permiten adicionar la dimensión correspondiente a las coordenadas cartográficas y contienen funcionalidad para poder operar en este espacio, como pueden ser transformaciones, cálculo de distancias, computo eficiente de áreas de proximidad, intersecciones, entre otros. La base de datos es una plataforma capaz de almacenar la información de forma perdurable en el tiempo y puede ser nativa (creada para tal fin) o puede ser una base de datos tradicional capaz de manejar el concepto mediante un complemento específico para la plataforma.

Las herramientas GIS permiten separar la información en capas o layers que son almacenadas independientemente para ser procesadas de forma individual, permitiendo el relacionamiento de las mismas dentro del campo espacial con la ubicación dentro de un sistema de referencia. Un ejemplo puede ser una representación geográfica de zonas peligrosas dentro de los barrios de una

determinada ciudad. Para construir esta representación, es posible obtener una capa que represente los límites de la ciudad con sus respectivas calles y manzanas. Por otro lado, puede almacenarse en una capa separada cuales son las delimitaciones de los distintos barrios y comunas y por último una capa que tenga la localización de los llamados a emergencias. Combinando toda esta información en un espacio temporal, respecto de un igual sistema de coordenadas de referencia, permitiría contar un mapa integrado que podría ser, por ejemplo, utilizado para definir corredores seguros de transporte dentro de la ciudad. Teniendo la información georreferenciada disponible, hacer este tipo de análisis es relativamente sencillo.

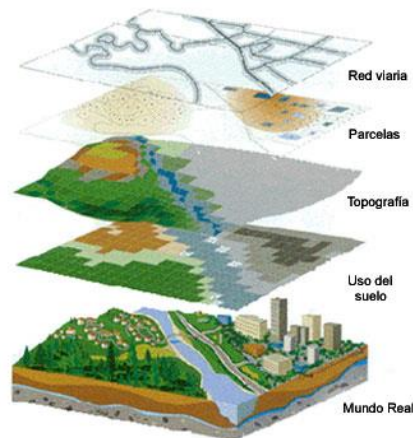


Figura 4. Capas en un Sistema GIS³

Fuentes de información georreferenciada

Un dato se georreferencia agregando los respectivos atributos de latitud y longitud, relativo a un sistema de coordenadas de referencia al objeto o evento que se desea representar en el espacio. Un ejemplo sencillo sería georreferenciar una lista de clientes que se tiene dentro de una planilla de cálculo. Para esto, es necesario agregar las dos columnas y encontrar las coordenadas de la ubicación. Esto puede hacerse en base a la dirección o el código postal con cualquier proveedor de mapas

³ <http://www.unesco.org>

que permita obtener dichas coordenadas (ej.: Google Maps). Una vez completos estos valores, deben transformarse para que puedan ser interpretados por la herramienta de renderización de la información.

El método más utilizado para la digitalización de la información consiste en tomar un mapa con información impresa o un esquema de una determinada área y transferirlo a un formato digital a través de herramientas de software de Diseño Asistido con funcionalidad para georreferenciar información.

Existen numerosas fuentes de información georreferenciadas que pueden descargarse de internet y comenzar a ser utilizadas. A continuación se listarán algunas de ellas:

- **FreeGIS⁴**: Proyecto que provee herramientas de análisis y reúne distintos proyectos de armado de bases de datos globales de información. Promueve la colaboración y la difusión de los conceptos y herramientas para el manejo de información georreferenciada
- **Geonames⁵**: Provee un directorio de lugares en el mundo con ubicaciones geográficas. Brinda información de lugares, regiones administrativas y código postal, junto con enlaces a números set de datos georreferenciados de acceso libre. Provee un entorno colaborativo de modificación y agregado de información.
- **Open Street Maps⁶**: Proyecto colaborativo para crear mapas libres y editables. Es creada por un grupo colaborativo de usuarios que actualiza la información tales como rutas, espacios, usos de suelos, restaurants, entre otros, y genera un mapa del mundo entero con un enfoque colaborativo. La información es distribuida con una Licencia Abierta de Bases de Datos y se estima que tiene una frecuencia de actualización de 90000 km semanales. La forma de actualización es mediante trazas de GPS que los mismos usuarios se encargan de generar transitando a pie, bicicleta u otro medio de transporte las cuales son subidas a la herramienta,

⁴ <http://www.freegis.org>

⁵ <http://www.geonames.org/>

⁶ www.openstreetmaps.org

depuradas y presentadas. Al acceder a la página principal se puede interactuar con un entorno que renderiza la información como cualquier otro proveedor de servicios de mapas online pero a su vez permite bajar la información a una base de datos local. La base de datos del mundo completo se estima en unos 270 GB sin comprimir pero puede seleccionarse fácilmente una determinada región para hacer una descarga localizada. La información disponible en la base de datos está estructurada como:

▪ **Estadísticas públicas:** Existen disponibles en internet numerosos sitios que proporcionan información y estadísticas georreferenciadas. Particularmente, numerosas ciudades del mundo tienen sitios donde publican información para que puedan ser utilizadas a fin de crear aplicaciones que puedan lograr optimizaciones en base a la misma. Algunas de ellas son:

- Buenos Aires⁷
- New York⁸
- Boston⁹
- Chicago¹⁰

En la página de Buenos Aires puede obtenerse un diagrama de sus calles, numeración bloque a bloque y una completa referencia del uso de suelo indicando si en la coordenada en cuestión hay una casa residencial, un edificio o un local comercial entre otros. Adicionalmente información sobre la localización de los semáforos, ciclo vías, departamentos en venta, intervenciones de defensa civil. La página de New York contiene información aún más específica como, por ejemplo, lugares de avistamiento de roedores dentro de la ciudad.

⁷ <http://data.buenosaires.gob.ar/>

⁸ <http://gis.ny.gov/>

⁹ <http://www.bostongis.com/>

¹⁰ <https://data.cityofchicago.org>

Representación de datos georreferenciados

La representación de datos georreferenciados consiste en definir la técnica para el almacenamiento de la información, la cual puede hacer referencia a objetos discretos o continuos dependiendo del tipo de variable en tratamiento. Un objeto es discreto si puede ser identificado individualmente en el espacio. Una variable tiene un comportamiento continuo si no es individualizable sino que se corresponde a un valor para una determinada región o área.

En función de la catalogación anterior, existen dos alternativas para la representación de la información.

Una capa o layer raster es un modelo que se utiliza para representar variables continuas y permite dividir una determinada área como una grilla compuesta por celdas que tendrán un determinado valor asociado. Un ejemplo de una capa raster puede ser un mapa de lluvia registrada en período de tiempo para un región en la que se tendrá. Los datos raster son una abstracción de la realidad, cada celda debe ser rectangular aunque no necesariamente cuadrada y la localización de la misma es implícita ya que depende de la referencia dentro de la grilla completa. De esta manera, es posible realizar de forma eficiente la superposición de capas layers para combinar un resultado final, cálculo de superficies, entre otros, que serían sensiblemente más complejos de realizar si se tiene un detalle completo e individual de los objetos dentro del área cubierta por la capa raster. Los datos raster se utilizan cuando es necesario mostrar información continua en un área y no puede ser fácilmente interpretada como entidades individuales.

Una capa o layer vectorial permite representar objetos espaciales del mundo real. Cada uno de estos objetos tiene atributos que consiste en una descripción o información numérica sobre cada objeto individual. Cada objeto espacial (calles, regiones) es representado como una geometría, la cual se compone de uno o más vértices interconectados que contienen un atributo X e Y representando la latitud y la longitud del objeto (puede modelarse un eje Z para objetos tridimensionales).

Cada una de las geometrías se corresponde con un registro dentro de una base de datos en el cual se almacenan las coordenadas y los atributos cualitativos/cuantitativos. Existen 3 tipos de geometrías que se utilizan para modelar objetos de la vida real como datos vectoriales:

- **Puntos:** Se utilizan para modelar objetos que se corresponden a un único punto de referencia en el espacio. Ejemplos puede ser la ubicación de un cliente o una unidad de producción específica para una compañía.
- **Líneas:** Se utilizan para modelar rasgos lineales como una calle, un camino o una vía de tren. Una línea tendrá implícitamente dos puntos indicando el origen y el fin de la misma, los cuales pueden ser calculados y representados como puntos pero no son parte de la geometría en sí.
- **Polígonos:** Se utilizan para modelar objetos que cubren una determinada área. A diferencia de la línea, deben ser cerrados y representan la estructura más compleja de modelización de objetos. Pueden utilizarse para representar edificios, parques, lagos, entre otros.

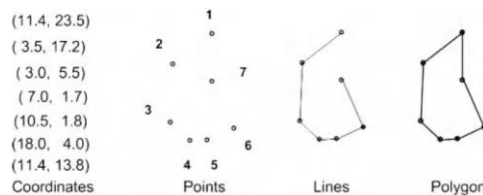


Figura 5. Tipos de geometrías en una capa vectorial (Pick, 2008).

Sistemas de coordenadas

La georreferenciación consiste en poder ubicar en la superficie de la tierra diferentes entidades. Para poder realizar esta ubicación es necesario definir un marco sobre el cual establecer las referencias. Un sistema de coordenadas geográficas es la referencia que se utiliza para asignar las ubicaciones a los diferentes objetos. El globo terráqueo tiene forma de geoide el cual puede ser aproximado idealmente como un elipsoide o un esferoide. Esto plantea un desafío

dado que debe realizarse una transformación para poder representar esta superficie de forma plana. Este proceso de aplanamiento se denomina proyección. Existen diferentes proyecciones y su utilización dependerá fundamentalmente de la escala, el tamaño y el propósito del análisis que se desea efectuar. Existen tres tipos de proyección según la superficie adoptada:

- **Plana:** Consiste en situar un plano tangente al esferoide en un determinado punto. En función del punto elegido, puede ser Polar, Ecuatorial u Oblicua.
- **Cónica:** Consiste en situar sobre la superficie del esferoide un cono de forma tangente o secante a un paralelo del mismo. Esta proyección suele utilizarse para representar mapas de tamaño considerable en zonas situadas en latitudes medias.
- **Cilíndrica:** Consiste en proyectar los puntos de la superficie sobre una superficie cilíndrica que se situó de forma tangente al esferoide. El cilindro puede situarse en dirección al Ecuador, de forma transversa (normal) u oblicua.

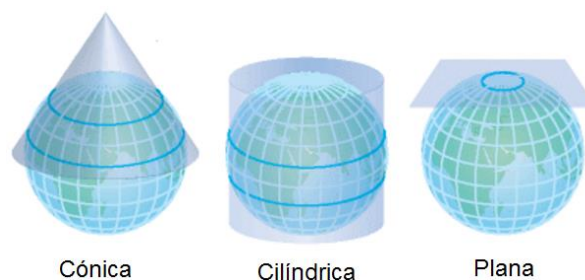


Figura 6. Sistemas de proyección cónica, cilíndrica y plana¹¹

La proyección geográfica más utilizada es la de Mercator la cual es cilíndrica con una orientación normal. En esta proyección, los meridianos son representados como rectas paralelas que cortan en un ángulo de noventa grados a los paralelos horizontales, variando a su vez el espaciamiento entre los mismos a medida que se acerca a los polos. Google Maps utiliza esta proyección para el renderizado de sus mapas cuando las latitudes se sitúan en rangos menores a los +- 85 grados.

¹¹ <http://resources.arcgis.com/>

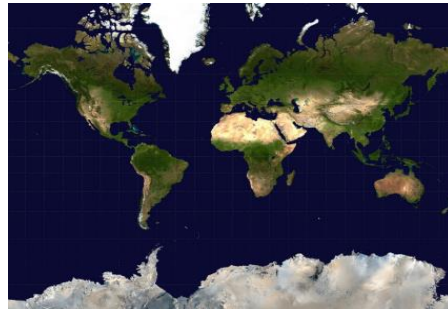


Figura 7. El globo terráqueo proyectado con el sistema Mercator¹²

Una adaptación de la proyección Mercator Transversa consiste en hacer pasar el cilindro de forma secante y no tangente, delimitando a su vez dos regiones en las que no se produce deformación. A su vez, divide al mundo en 20 zonas de 8° las cuales se denominan por letras desde la C a la X (obviando las letras I y O dado que se parecen a los números uno y cero), obviando las zonas polares para las que se utilizan caracteres especiales. Esta proyección es llamada UTM por las siglas en inglés (Universal Transversal Mercator) y es una de las más utilizadas en la actualidad.

Herramientas GIS

Existen diversas herramientas para la creación, almacenamiento, análisis y renderización de información georreferenciada. A continuación se hará una referencia sobre alguna de ellas.

- **Excel:** Con su complemento Power Map, permite georreferenciar datos en la planilla y mostrarlos en mapas 2D y 3D.
- **ArcGIS:** plataforma incluye herramientas para la captura, edición, análisis y publicación de información. Es una de las herramientas más utilizadas
- **GeoMedia:** Es la competencia comercial directa de ArcGIS.

¹² http://www.fing.edu.uy/imfia/imfiaweb/sites/default/files/Clase%202_sistemasdecoordenadas.pdf

- **QGIS:** Quantum es una herramienta de Software libre con una potente funcionalidad para gestionar información georreferenciada.
- **GRASS:** Es una aplicación que permite gestionar datos Vectoriales y Raster, focalizados en estos últimos.
- **Google Earth:** Permite ver una representación del globo a partir de una superposición de imágenes satelitales, fotografías aéreas y modelos creados por computadora.
- **Servidores de Mapas en la nube**
 - **Google Maps:** Servidor de aplicaciones de mapas en la nube provisto por Google. Permite integrar cierta información particular y mediante interfaces de programación (API) permite a aplicaciones externas consultar, renderizar y actualizar la información.
 - **HERE:** Servidor de aplicación de mapas en la nube originalmente provisto por Nokia (Microsoft). Contiene una funcionalidad similar a la de Google Maps pero se caracteriza por tener una mejor interfaz de programación para aplicaciones externas con opciones diferentes.
 - **MapBox:** Sitio Web que permite crear mapas customizados de una forma sencilla. Se basa en tecnología open source y utiliza la información de mapas provista por OpenStreetMaps a fin de seleccionar los orígenes, subir información georreferenciada propia, seleccionar distintos templates o estilos y aplicar animaciones predeterminadas.
 - **CartoDB:** Provee un servicio similar a MapBox pero con una interface de usuario simplificada orientado a la creación rápida de mapas sobre una serie de templates predefinidos.

Bases de datos georreferenciadas

Las bases de datos georreferenciadas son extensiones a las bases de datos tradicionales que permiten agregar la dimensión espacial al conjunto de datos. Incorporan un tipo de datos especial que generalmente es una geometría

representando un punto, una línea o un polígono con las correspondientes coordenadas asociadas a un Sistema de Referencia sobre una determinada proyección cartográfica. Una vez establecida la columna georreferenciada en las correspondientes tablas, las bases de datos contienen un conjunto de operaciones para poder analizar y procesar la información.

Una base de datos espacial es una extensión sobre una base de datos tradicional que permite el almacenamiento de información georreferenciada. Funciona como un repositorio en el cual se provee el marco para el almacenamiento de la información para su acceso de forma conveniente, además de dar soporte a distintas operaciones de consulta y transformación de la información. Provee una colección de datos organizados de tal manera que puedan servir a una o varias aplicaciones GIS.

Incorporan el concepto Spatial SQL (SSQL) que representa una extensión al tradicional lenguaje de consulta de base de datos para operar en el campo georreferenciado. Los principales motores son:

- Microsoft SQL Server / Spatial Data
- Oracle Spatial
- PostgreSQL/PostGIS Spatial Features

En los tres casos, la herramienta consiste en un motor de base de datos tradicional que incorpora herramientas para manejar georreferenciación ya sea como un componente licenciado de forma separada o una extensión a instalar. PostgreSQL es una aplicación OpenSource y puede ser instalada fácilmente junto con la extensión PostGIS para incluir el procesamiento de la georreferenciación.

Una base de datos es una herramienta que permite procesar de forma eficiente grandes volúmenes de datos. Por ejemplo, en una base de datos es muy sencillo importar datos exportados del proyecto OpenStreetMap para su análisis. La información puede ser consultada directamente por usuarios avanzados o

fácilmente manipulada a través de herramientas de visualización de información como ArcGIS o QGIS.

Análisis de información georreferenciada

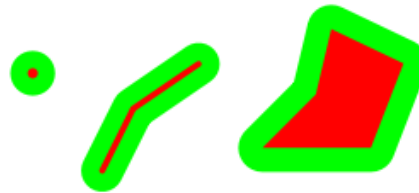
Es posible realizar numerosas operaciones sobre un set de datos georreferenciados agrupados en distintas capas que contengan geometrías. Estas operaciones permiten combinar información con el objetivo de realizar el análisis correspondiente explotando las posibilidades de procesamiento espacial de los objetos en un marco de referencia. Las operaciones básicas de análisis son:

- *Join espacial*: La operación de Join o cruce entre dos tablas por una columna georreferenciada devolverá aquellos registros en los cuales sus geometrías superponen en algún punto sus respectivos “bounding box”. Un bounding box es una figura imaginaria que representa el mínimo cuadrado en el que puede almacenarse una determinada geometría en el espacio. La ventaja de esta técnica es que para un motor de base de datos esta operación es muy eficiente y puede computarse con un bajo costo transaccional. Esto puede ser importante cuando se tienen sets de datos e miles de figuras en los cuales se quiere conocer la proximidad entre ellos ya que con un enfoque tradicional este análisis debería hacerse revisando exhaustivamente la totalidad de las figuras computando su distancia y seleccionando los que están dentro del rango buscado. En el campo espacial esta operación está optimizada por el uso de índices y se resuelve de forma natural.

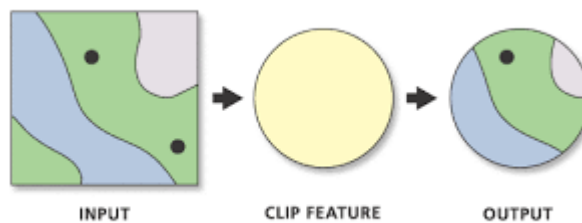


Figura 8. Bounding Box de geometrías¹³

- *Buffer*: Permite delimitar un área de influencia en base a una geometría para poder realizar un análisis de proximidad, con un diámetro dado. El resultado es una nueva capa vectorial con la geometría comprendida por esta zona. Es una de las operaciones más utilizadas en el procesamiento de información.

Figura 9. Operación de Buffer sobre un punto, una línea y un polígono¹⁴

- *Clip*: Permite recortar una capa de información con una geometría. Se la utiliza para filtrar información de una determinada capa, por ejemplo, cortando e una capa de información general solo un perímetro particular para un análisis a detalle.

Figura 10. Operación de Clip sobre una capa utilizando una figura circular como filtro¹⁵

¹³ <http://geoshepherds.com/>

¹⁴ <http://docplayer.es>

¹⁵ <http://pro.arcgis.com>

- *Dissolve*: Permite unir geometrías que tengan un atributo en común. El atributo puede ser cualquier campo de la geometría en cuestión y el resultado es una nueva geometría agrupada.

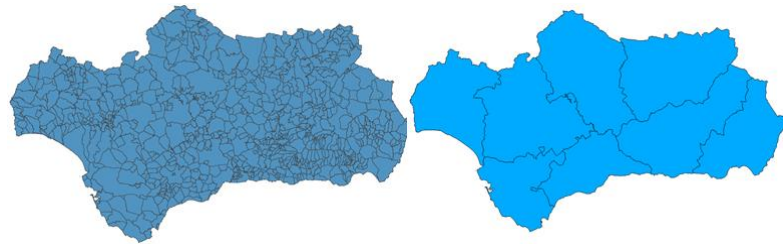


Figura 11. Operación de Dissolve sobre un conjunto de geometrías representando ciudades por el atributo estado¹⁶

- *Union y Merge*: Permiten unir diferentes capas de información. Merge superpone la información que se solapa mientras que unión fusiona registros duplicados.

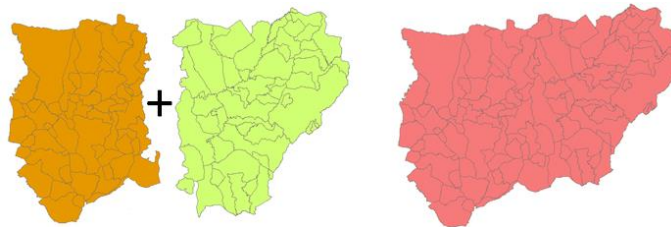
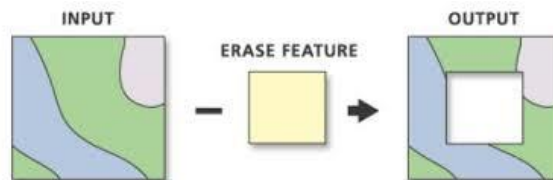


Figura 12. Operación de Merge sobre dos conjuntos de geometrías¹⁷

- *Erase*: Permite borrar geometrías de una capa según la intersección con una figura.



¹⁶ <http://gis.stackexchange.com>

¹⁷ <http://gis.stackexchange.com>

Figura 13. Operación de Erase sobre una capa de información ¹⁸

Todas estas operaciones pueden ser realizadas a nivel de base de datos o través de las distintas herramientas de análisis de información como ArcGIS o QGIS. A modo de ejemplo, se podría considerar un escenario donde se tiene la información georreferenciada de la provincia de Buenos Aires. Por otro lado, si se tiene una figura del perímetro de la ciudad es posible obtener un set de datos de las calles de la ciudad de Buenos Aires realizando una operación de clip del primero sobre el segundo. Adicionalmente, si se tiene un set de datos del tráfico de la ciudad por coordenadas, es posible combinar la información del tráfico con las calles mediante un join espacial y de esa manera poder integrar la información. Una de las mayores fortalezas de trabajar con información georreferenciada consiste en poder vincular sets de datos de distintos orígenes en el terreno georreferenciado que, a igual sistema de coordenadas de referencia, debería ser el mismo.

¹⁸ <http://pro.arcgis.com>

GIS en Supply Chain Management

El flujo de mercaderías desde los proveedores, a través del proceso de producción y almacenamiento hasta el cliente final es un proceso crítico en cualquier compañía. Por ejemplo, en el negocio de la salud representa más del 40 por ciento de los costos operativos totales. Adicionalmente, se estima que el costo de almacenamiento es un 25 por ciento del valor del stock¹⁹. Estos números son significativos en la estructura de balance de cualquier compañía por lo que debe focalizarse en reducir el stock sin comprometer el nivel de servicio al cliente.

Para lograr los objetivos, los procesos de Supply Chain deben optimizarse y estar alineados con los objetivos de la compañía. En general, los problemas que se enfrenta en esta actividad son complejos y con un impacto horizontal en la mayoría de las áreas funcionales. Es importante que al llevar adelante procesos de optimización, el foco se concentre en encontrar una solución que maximice la performance de la compañía en su totalidad y no solo de un área particular. Un ejemplo de esto puede ser la negociación de un determinado nivel de servicio con un cliente particular. En este escenario, mientras más alto es el nivel de servicio prometido más alto puede ser el precio que se obtenga por los productos vendidos, pero en contraposición puede que sea necesario llevar mayor stock con los consiguientes costos asociados al mismo (almacenamiento, manejo, costo de capital). Estos trade-off entre soluciones locales pueden evidenciarse en la mayoría de los procesos de optimización por lo que deben atacarse con un enfoque global. La estrategia típica de optimización incluye definiciones como:

- Determinar el número óptimo de almacenes y centros de distribución para cubrir una determinada demanda.
- Determinar la localización geográfica de cada uno de ellos.
- Determinar el tamaño y el mix de productos a llevar en cada inventario.

¹⁹ Strengthening health care's supply chain: A five-step plan
<http://www.mckinsey.com/industries/healthcare-systems-and-services/our-insights/strengthening-health-cares-supply-chain-a-five-step-plan>

- Diseñar la organización interna para el correcto almacenamiento de cada uno de los productos.
- Determinar las necesidades de transporte con el tamaño óptimo de lote para su tratamiento.
- Determinar la mejor disposición de entregas dentro de un vehículo considerando las restricciones de capacidad y destino final, junto con la determinación óptima de la ruta a seguir.

La asociación de los datos con la locación que provee una herramienta GIS, ofrece nuevos enfoques que pueden ser de suma utilidad en el proceso de toma de decisiones en función de las posibilidades de control global que las mismas permiten. Los principales puntos de dolor relevados por la compañía UPS en 2010 son²⁰:

- 48%: Falta de visibilidad del proceso punta a punta
- 44%: Proveedores poco confiables
- 44%: Planificación de la demanda
- 38%: Administración de inventarios

La utilización de información georreferenciada a través de una aplicación GIS puede colaborar en reducir estos factores. Respecto a la falta de visibilidad del proceso, una aplicación GIS permitiría realizar un seguimiento del progreso del flujo de materiales desde su origen hacia su destino, incorporando un control mediante dispositivos con conectividad GPS que pueda monitorear la entrega en camiones de un destino a otro. En cualquier etapa del proceso, pueden identificarse gráficamente ciertos patrones o situaciones que provoquen cuellos de botellas o demora en la operación que pueden ser atacados y corregidos con el objetivo de incrementar la eficiencia. Una aplicación GIS no puede hacer por su cuenta a los proveedores más confiables pero puede contribuir en el análisis de datos para detectar, por ejemplo, patrones de demora en la entrega de mercaderías según su

²⁰ Eighth UPS® Pain in the Chain Survey. <https://www.ups.com/media/en/UPS-PITC-Executive-Summary-North-America.pdf>

origen y destino. De igual manera, puede contribuir al seguimiento de las entregas y localización de stocks con el fin de tener una visión integral de la cadena de valor.

Una aplicación GIS puede resolver problemas como

- Optimización de rutas el transporte del producto al cliente final.
- Programación y secuenciamiento de entregas.
- Aprovechamiento de territorio y optimización de distancias.
- Optimización de flota interna manteniendo el nivel de servicio sin incrementar costos.
- Armado de redes de distribución.

IT en Supply Chain Management

Las plataformas de software más utilizadas en Supply Chain Management son sistemas ERP. Estos sistemas dan soporte a buena parte de los procesos de negocio de una compañía pero en ocasiones suelen ser complementadas con soluciones externas más específicas que amplían el concepto genérico del ERP. Esto es, los sistemas ERP contienen funcionalidad genérica para poder modelar y dar soporte prácticamente a cualquier escenario de negocios de una compañía pero en ocasiones cuando se requiere una funcionalidad más específica quedan limitados y se requiere alguna solución adicional. Existen numerosos paquetes de software externos que se encargan de dar soporte a un proceso de negocios específico y vienen preparados para poder colaborar con los sistemas ERP líderes de mercado, en forma nativa, y con posibilidades de desarrollo para soluciones a medida. Ejemplos de esto son aplicaciones para el manejo interno de un almacén (Warehouse Management), transporte y optimización de rutas, diseño de redes de distribución, entre otras:

- Warehouse Management: WMS - Manhattan Associates²¹
- Transporte: Mojo – Mercury Gate²²

²¹ <http://www.manh.com/>

²² <http://www.mercurygate.com>

- Diseño de redes de distribución: Supply Chain Strategist (SCS) – JDA Software²³

Muchas de estas herramientas incorporan conceptos GIS de forma satisfactoria, permitiendo así incorporar esto junto a un ERP. El inconveniente es que al ser una herramienta totalmente externa está preparada para recibir cierta información, procesarla con todo el poder de los conceptos GIS y devolver un resultado para que sea mostrado dentro del ERP, o utilizado para un tratamiento posterior. Un enfoque completamente distinto sería tener la posibilidad de usar herramientas GIS dentro de la plataforma ERP ya que permitiría ejecutar directamente los procesos de optimización con este concepto y obtener mejores resultados. Esto es posible en un ERP como Oracle a diferencia de SAP. La única forma de lograr un resultado similar es con un desarrollo a medida para una solución específica, mediante los mecanismos de integración ya definidos.

Last Mile Delivery

La entrega en la última milla es un término que se utiliza en Supply Chain para denominar el movimiento de mercaderías desde un centro de distribución hacia un cliente final. El término tiene su origen en las dificultades que se encontraban las empresas de telecomunicaciones para conectar los clientes finales con las troncales centrales que llevaban el servicio de forma centralizada a distintas partes de una ciudad, el cual fue adoptado en Supply Chain para representa el último eslabón de la cadena. Se estima que este costo comprende más del 50% del costo total de entrega hacia un cliente.

²³ <http://www.jda.com>

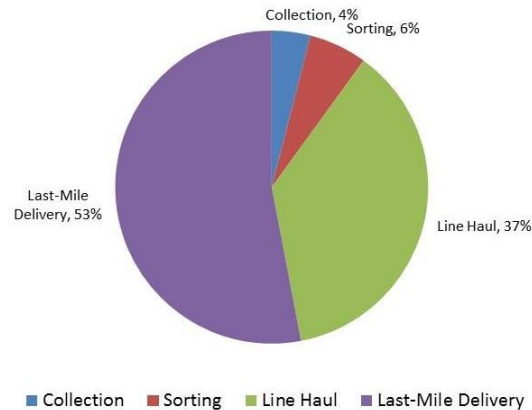


Figura 14. Costo de entrega de mercaderías a clientes finales²⁴

Se la considera la parte de la cadena de suministros de mayor importancia dado que es la que finalmente une a la empresa con el cliente por lo que debe tenerse el mayor de los cuidados. La persona que entrega el producto es el representante no solo de la compañía para la que trabaja sino que comprende a todas las compañías que trabajaron en las distintas etapas de la cadena de valor.

La noción de lo que representa la última milla ha cambiado en el último tiempo especialmente por el crecimiento de las transacciones con la modalidad B2C (business to consumer) influenciados por el comercio electrónico. Tradicionalmente, esta etapa estaba limitada a la entrega de mercaderías pesadas o de un gran valor, pero actualmente los patrones de consumo de la gente se basan en comprar ítems cada vez más livianos, cada vez más económicos y con mayor frecuencia, prácticamente conectando la cadena de valor directamente con el servicio correspondiente de entrega. De esta manera, ciertas etapas que se consideraban en el Upstream de la cadena empiezan a ser integradas dentro del concepto de la última milla y el fenómeno viene creciendo fuertemente.

Algunos de los desafíos en la entrega en la última milla son:

²⁴ <http://www.koganpage.com/article/challenges-of-the-last-mile-delivery-in-serving-e-commerce-business>

- **Locaciones físicas:** En general, las compañías cuentan con 8 a 12 locaciones en promedio para suplir la demanda de una determinada región. Incrementando el número de centros de distribución se disminuye la distancia hacia los clientes incrementando el tiempo de respuesta hacia los clientes finales. En contrapartida, esto representa un mayor nivel de costos que deben ser dimensionados para determinar la mejor alternativa.
- **Distancia:** La ubicación de los centros de distribución es clave y deberían estar localizados lo más cerca posible a la locación de los clientes. Si esto no se evalúa correctamente, pueden incurrirse en grandes costos en términos monetarios y tiempo.
- **Tiempo:** En general, los centros de distribución están localizados en complejos industriales algo alejados de zonas residenciales. Debe monitorearse constantemente los tiempos de entrega ya que pueden ser un indicador de la necesidad de contar con nuevos centros de distribución.
- **Tráfico:** En zonas residenciales, y especialmente en las denominadas Mega Ciudades, el tráfico puede ser uno de los mayores inconvenientes para cumplir la entrega. Esto puede afectar directamente a un cliente que espera una determinada entrega adquirida en ese momento, o puede ser un factor determinante en la planificación anticipada de entregas para un centro de distribución que necesita reponer mercadería en una determinada sucursal.
- **Coordinación:** Si la compañía pudo satisfactoriamente colocar una orden en tiempo y forma en destino pero en ese momento la contraparte no puede recibirlo, no podrá completar el ciclo. La coordinación en general se alcanza estableciendo ventanas de entrega en destino, las cuales en función de la probabilidad de alcanzar el destino en tiempo pueden ser de un par de horas a un día completo.

Estos factores pueden tener distinta ponderación en función de la región en cuestión. Por ejemplo, en India se está viviendo un boom de consumo electrónico,

pronosticado en ventas por \$100 billones para 2020 por Morgan Stanley²⁵, y se está poniendo especial énfasis en la distribución en la última milla dado que la infraestructura del país no está preparada para un flujo de mercaderías de ese tamaño. Actualmente varios proveedores están formando alianzas para consolidar operaciones y disminuir costos pero es un camino a recorrer. Particularmente, el proveedor estadounidense Amazon creó la compañía Amazon Transportation Services Private Limited para ofrecer servicios logísticos en la región.

El rol de la tecnología en la última milla

La tecnología ha logrado mejorar notablemente la comunicación y la coordinación en esta etapa. Tradicionalmente se manejaba como un agujero negro en el que solo se tenía visibilidad de lo que sucedía al final. Actualmente es práctica común contar con algún esquema de seguimiento online de un determinado pedido el cual, con mayor o menor detalle, permite visualizar el estadio dentro de la cadena para disminuir las posibilidades de que la entrega no pueda realizarse. En caso de que esto ocurra, se activa un proceso que se denomina “logística inversa” en el cual la modalidad es C2B y requiere un enorme esfuerzo de coordinación. Estos sistemas de seguimiento usualmente brindan un status individual sobre donde se encuentra el paquete en el momento y detallan una tentativa fecha de entrega. El seguimiento por GPS, en general, no es una alternativa dado que no es posible asignar un receptor individual a cada paquete, pero sí puede implementarse con una aproximación incorporando el seguimiento al transporte final hacia el cliente. Uno de los mejores ejemplos de un sistema de seguimiento es el que tiene Domino’s Pizza en algunos países permitiendo seguir la entrega de la pizza en tiempo real desde una aplicación móvil o la página web con un determinado número de entrega.

²⁵ <http://www.morganstanley.com/ideas/rise-of-internet-in-india>



Figura 15. Sistema de seguimiento de órdenes de Domino's Pizza²⁶

Como fue visto anteriormente, el tráfico puede ser un gran inconveniente para el cumplimiento de las entregas. Para atacar este factor, numerosas compañías han implementado distintos vehículos que son más adecuados para moverse en determinadas áreas congestionadas. No obstante, con la incorporación de la tecnología, y sobre todo la georreferenciación, han permitido desarrollar y explorar soluciones innovadoras, algunas actualmente en investigación o prueba de concepto y otras se encuentran implementadas de forma parcial. Algunos ejemplos de esto son:

- **Amazon Prime Air:** La compañía Amazon se encuentra desarrollando un proyecto para realizar entregas de mercadería utilizando drones, prometiendo entregas en 30 minutos para paquetes con un peso inferior a 5 libras y con restricciones de tamaño particulares. Según la compañía, el 86% de sus entregas calificarían en este segmento. La compañía ha encontrado numerosos inconvenientes para regular el uso por razones de seguridad y privacidad, actualmente tiene permisos para testear prototipos con ciertas limitaciones.

**Google, DHL y Wal-Mart se encuentran trabajando en proyectos similares*

- **Starship Technologies:** La compañía se encuentra desarrollando unos Rovers automáticos para entregas locales los cuales son capaces de llevar una modesta carga (equivalente a dos bolsas de compras) transitando por

²⁶ <https://www.dominos.com.au>

las calles de forma autónoma hasta su destino final. El compartimento de carga solo puede ser abierto por el destinatario con su teléfono móvil y el trayecto puede ser monitoreado por las dos partes, pudiendo el proveedor tomar el control manual del equipo ante un obstáculo imprevisto, intento de robo o cualquier otra situación que requiera la intervención manual.



Figura 16. Dron de Amazon Prime Air²⁷ y Rover de Starship Technologies²⁸

La coordinación también ha sido motivo de implementación de soluciones que permitan facilitar el proceso de entrega. Es frecuente que se den situaciones en donde la mercadería llegue a destino pero no se encuentre en condiciones de ser recibida. Esto es un escenario frecuente en compras online.

Para dar solución a esto, ciertas compañías han instalado lockers de autogestión en lugares públicos a fin de tener un único punto de reposición donde las compañías pueden dejar los productos con un código de autorización que les envían a sus clientes. De esta manera, pueden ir al lugar elegido el día y horario que les sea conveniente y retirar el producto. El beneficio es mutuo dado que la empresa puede concentrar muchos productos en un solo lugar disminuyendo el número de entregas, y el cliente puede seleccionar un punto de entrega con una locación acordada y flexibilidad en los horarios.

²⁷ <http://www.amazon.com/primeair>

²⁸ <https://www.starship.xyz/>



Figura 17. Lockers de Amazon (USA)²⁹, DHL (Alemania)³⁰ y OCA (Argentina)³¹

En la misma línea, Amazon y DHL llegaron a un acuerdo con la firma alemana de autos Audi para implementar un mecanismo llamado Audi Connect Easy Delivery mediante el cual las compras realizadas electrónicamente podrán ser entregadas directamente en el baúl del auto. Para esto, el dueño del auto deberá aceptar el seguimiento de su ubicación georreferenciada en una determinada ventana de tiempo y se generara un código de autorización que tendrá la misma vigencia para que el repartidor pueda acceder al baúl del auto.



Figura 18. Audi Connect Easy Delivery³²

²⁹ <http://en.wikipedia.org>

³⁰ <http://people.hofstra.edu>

³¹ <http://canal-ar.com.ar>

³² <http://www.volkswagenag.com>

Caso de estudio

Descripción de la solución

En el transcurso del presente trabajo se definieron los sistemas ERP, se revisó a detalle en que consiste la georreferenciación con las correspondientes herramientas para su tratamiento y sus posibles aplicaciones en las distintas etapas de Supply Chain. El objetivo será implementar parte de estos conceptos en una aplicación para la planificación de entregas en la “Última milla” o “Last Mile Delivery” en la ciudad de Buenos Aires, integrando el proceso con el módulo LE-TRA de SAP.

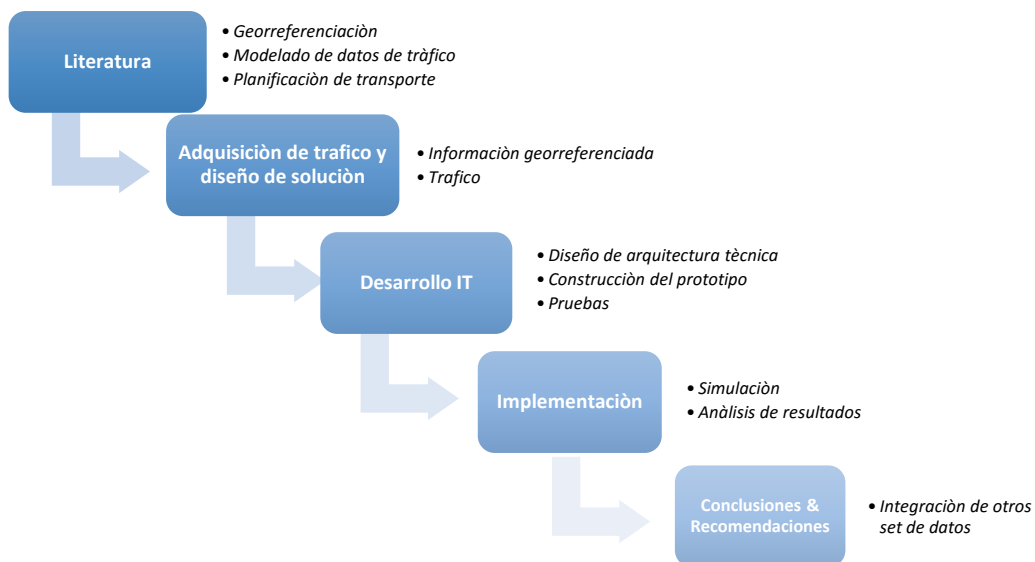


Figura 19. Metodología para el desarrollo de la solución

El proceso a definir se encargará de optimizar el ruteo de entregas de una serie de clientes. Este secuenciamiento se realiza tradicionalmente dentro de los sistemas ERP con una serie de reglas establecidas en función de las distancias. Por lo general, estas parametrizaciones se realizan una sola vez dentro de la herramienta y son modificadas ocasionalmente.

Según lo visto, este tipo de problemas puede ser instanciado dentro de una herramienta GIS para poder procesar de forma óptima el secuenciamiento. Una primera aproximación puede ser planteada considerando la distancia mínima

recorrida de todo el trayecto, pero un análisis minucioso permite detectar otros factores que pueden influir en el armado de una ruta óptima. Algunas de ellas pueden ser:

- Tráfico en los distintos segmentos
- Tipo de segmento (avenida, calle residencial, autopista)
- Día y hora.
- Restricciones locales para la circulación

La propuesta consiste en poder construir una herramienta externa al ERP que reciba la información correspondiente a los clientes que debe visitar en un determinado día y horario, y en función de las restricciones que puedan modelarse en la plataforma, devuelva el secuenciamiento y la ruta óptima para poder realizar las entregas.

El problema de establecer la ruta óptima para una serie de puntos de entrega es un escenario clásico en optimización de procesos y es conocido como “El problema del Viajante” o “Traveler Salesman Problem”.

El problema del viajante (TSP)

El problema del viajante consiste en establecer la ruta óptima dada una lista de ciudades y las distancias entre cada una de ellas con el objetivo de visitar cada una solo una vez y retornar al origen. El problema puede parecer intuitivo al ser visualizado gráficamente pero en la lógica de la computación es clasificado como un problema NP-Complejo dado que la cantidad de combinaciones posibles es el factorial de la cantidad de ciudades ($n!$). Este número para unas 20 ciudades representa un valor de 19 cifras y para valores de n cada vez mayores el crecimiento es exponencial.

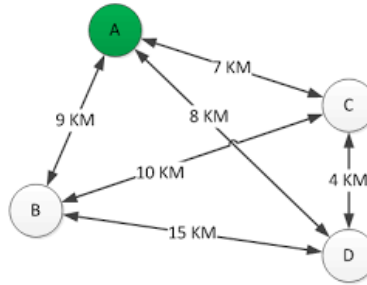


Figura 20. El problema del viajante³³

Este problema fue formulado en 1930 y ha sido muy estudiado dada su naturaleza intuitiva y complejidad. Existen numerosas soluciones heurísticas para poder resolverlo para un gran número de ciudades. Para ello se modelan los nodos y los arcos como grafos matemáticos y se realizan ensayos para su resolución. Algunas de ellas son:

- **Nearest Neighbor (Vecino más próximo):** Consiste en comenzar con cualquier nodo y siempre ir al nodo que se encuentre más cercano.
- **Cheapest Insertion (Inserción de menor costo):** A partir de una subsecuencia de ciudades que se componga de aquellas que se encuentren en el perímetro de una figura convexa, tomar el próximo nodo que se encuentre más próximo a la figura de forma recurrente.
- **Furthest Insertion (Inserción de mayor costo):** A partir de una subsecuencia de ciudades que se componga de aquellas que se encuentren en el perímetro de una figura convexa, tomar el próximo nodo que se encuentre genere el costo mayor.
- **Map Reduce (Reducción de mapa):** Consiste en subdividir el mapa en regiones y obtener soluciones óptimas en cada una de ellas. Luego, disminuir el número de regiones conectando las soluciones sub-óptimas hasta tener el resultado final

³³ <http://www.ingenieriaindustrialonline.com>

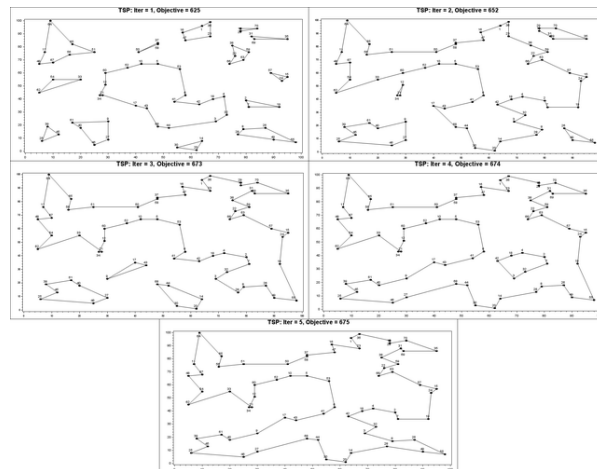


Figura 21. Ejemplo de resolución del problema por reducción de mapa³⁴

Existen otras técnicas de resolución que se denominan meta-heurísticas, las cuales consisten en optimizar el problema no desde su naturaleza sino desde un punto de vista combinatorio. Algunas de ellas son:

- **Opt. Heuristics:** Consiste en armar una solución completamente aleatoria, luego recorrer la solución identificando pares de ciudades en las cuales el costo total es menor si las misas se invierten. Luego, realizar este análisis hasta que no queden pares de ciudades que puedan ser seleccionadas.
- **Tabu Search:** Consiste en armar una solución inicial con cualquier otro método (por ejemplo el vecino más próximo). Luego, se crean soluciones sucesivas intercambiando el orden de dos ciudades adyacentes y evaluando si el costo total disminuye. Si es así, se toma esta secuencia como correcta y se busca una nueva solución.

Algoritmos Genéticos

Existe un mecanismo de resolución meta-heurístico basado en Algoritmos Genéticos. Esta técnica de resolución ha sido implementada y estudiada en la

³⁴ <http://support.sas.com/>

bibliografía por su capacidad de encontrar soluciones con posibilidades sencillas de configuración en función del grado de exactitud de la solución que se desea encontrar.

Un Algoritmo Genético se basa en encontrar soluciones de forma heurística simulando el origen y evolución de las especies en la vida real. De esta manera, se basa en armar un conjunto inicial de soluciones denominado población. Cada solución dentro de la población se denomina individuo y cada una de estas soluciones tiene asociado un valor numérico que determina que tan buena es como solución. Este valor numérico se lo denomina fitness por su significado en inglés y depende solo de la solución en cuestión.

En el caso de TSP, una solución se corresponde a una lista de ciudades a visitar. Por ejemplo, si se tiene una lista de ciudades como en la figura 20, alguna de las posibles soluciones son ABCD, ACBD, DBCA, etc. El conjunto de soluciones representa la población y en este caso la cantidad serán $4! = 20$ soluciones que pueden ser parte de una población, donde una o varias serán las óptimas por definición. Cuando las ciudades son, por ejemplo 100, no será posible representar todas las combinaciones por lo manifestado anteriormente por lo que será necesario definir un tamaño de población. Este número es arbitrario pero de forma intuitiva puede verse que cuanto mayor sea este valor, mayor será la probabilidad de que la óptima solución esté presente en la población. La población, puede definirse de forma aleatoria. Para esto, dado una determinada cantidad de ciudades, puede armarse tantas soluciones de forma totalmente aleatorias como el tamaño de la población con el que se quiera trabajar.

Una vez definida la población, el siguiente paso consiste en evolucionar la población para obtener una nueva a partir de la reproducción de las soluciones de la generación previa. Para esto, se toman las dos mejores soluciones de la población, simulando ser soluciones padre y madre, y se los cruza para obtener una solución hija. De esta manera, la nueva solución es insertada en la nueva población y se repite este proceso hasta tener tantas soluciones insertadas en la nueva población

como el tamaño definido. A partir de este momento, esta es la nueva población sobre la que se trabajará. El proceso de generar una nueva población a partir del cruce de las soluciones de una población previa se lo denomina generación.

El proceso de cruce de las soluciones (obtener una solución hija a partir de soluciones padres y madres) se lo denomina crossover y consiste en combinar la cadena de cada padre (lista ordenada de ciudades a visitar) como una cadena de cromosomas combinando cada uno de los casilleros de la cadena para obtener un hijo. En el ejemplo anterior, si el padre es ABCD y la madre DCBA una forma de cruzar las cadenas es partir cada una a la mitad y concatenar la mitad del primero con la mitad del segundo, obteniendo la solución ABBA. El inconveniente con este mecanismo de crossover es que la solución resultante puede tener ciudades repetidas lo que incumple la premisa original. Una variación de esto puede ser tomar la primera parte de la cadena del padre y completar los casilleros restantes con las ciudades faltantes en el orden en el que aparecen en la madre. De esta manera, la cadena resultante del ejemplo anterior sería ABDC.

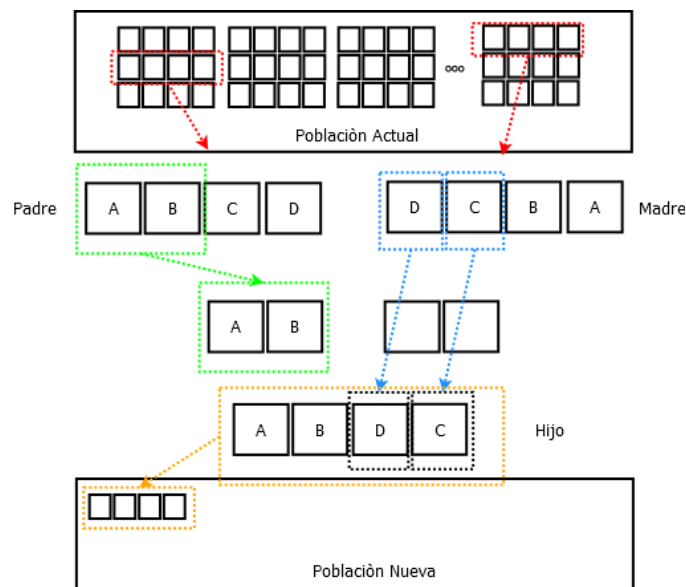


Figura 22. 1) En rojo se modela la selección de los dos mejores individuos de la población. 2) En verde se selecciona la primera parte de la cadena del padre. 3) En azul, se completa la cadena resultante del hijo con las ciudades que faltan

en el mismo orden en el que aparecen en la madre. 4) El hijo resultante se inserta en la nueva población.

El resultado final, será la solución que tenga el mejor valor de fitness al cabo de una cierta cantidad de generaciones. Considerando que la solución siempre es construida en base a dos soluciones previas, las distintas poblaciones en cada generación deberían incorporar cada vez mejores soluciones. El número de generaciones a ejecutar estará, en la mayoría de los casos, directamente relacionado con la calidad de la solución final.

Existen algunas adaptaciones que se realizan al modelo general que permite obtener mejores resultados:

- **Elitismo:** este proceso consiste en elegir el mejor individuo de la población actual e insertarlo directamente en la población siguiente. De esta manera, se garantiza que las mejores soluciones que se van encontrando en las iteraciones sobrevivan y no se pierda material genético (buenas soluciones parciales).
- **Mutación:** La diversidad de las posibles soluciones depende directamente de la población inicial. Esta población usualmente se calcula de forma totalmente aleatoria. Esta inicialización, limitará de entrada todo el material genético con el que se cuenta para poder realizar los cruces. Para poder obtener ciertas soluciones diferentes y poder tener algo de diversidad, se puede incluir un factor de mutación mediante el cual se establece una probabilidad de ocurrencia (por lo general menor al 1%) mediante el cual en caso de que se active, se intercambian aleatoriamente dos posiciones dentro de una misma solución. En el ejemplo anterior, si una cadena DCBA resulta que por la probabilidad debe mutar, se seleccionan dos posiciones cualesquiera y se las intercambia, si estas posiciones son la 1 y la 2, esa cadena es directamente modificada como CDBA. Este concepto puede parecer poco intuitivo pero se ha demostrado que permite agregar diversidad en las soluciones y no converger rápidamente a soluciones locales.

- **Torneo:** El torneo consiste en hacer una preselección previa antes de elegir al padre y a la madre. Para esto, se seleccionan aleatoriamente una cantidad predefinida de candidatos y se seleccionan luego los dos mejores en base a esta preselección, para que sean padre y madre de un hijo de la próxima población. El objetivo de un torneo es poder elegir individuos sub-óptimos para que generen descendencia y de esta manera evitar rápida convergencia a buenas soluciones sin explorar el espectro completo de potenciales soluciones.

Con la inclusión de los conceptos anteriores, el diagrama de flujos del proceso completo se esquematiza en la figura 23.

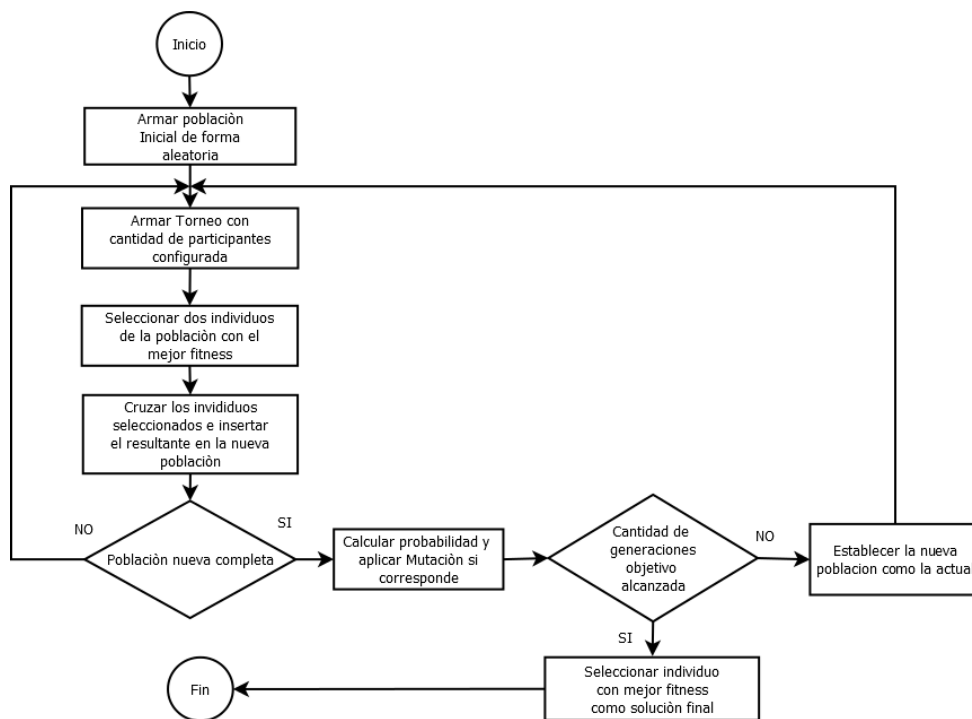


Figura 23. Diagrama de flujo del algoritmo genético propuesto

Convergencia

El proceso descrito para los algoritmos genéticos puede repetirse un número fijo de veces o establecer otro método de corte. Una forma es analizar la convergencia

de la población. Una población se dice que converge a un valor cuando las sucesivas iteraciones de una generación a otra no producen soluciones que mejoren significativamente. Cuando una población llega a esta situación, puede repetirse el proceso por 1000 generaciones más y el resultado puede ser muy similar al que ya se tiene. La mutación puede ayudar a aportar nuevo material genético que permita variar algo las soluciones pero su impacto puede no ser del todo significativo. Para determinar si una población alcanza un punto de convergencia puede analizarse el valor de fitness del mejor individuo de la generación previa con el mejor individuo de la generación actual y verificar el porcentual de optimización. Si ese valor es menor a un valor de tolerancia preestablecido por una cierta cantidad de generaciones, puede concluirse que la población convergió a un valor óptimo y finalizar la ejecución.

La convergencia temprana de un algoritmo genético puede ser un problema dado que en situaciones en las que una población cuenta con unas pocas buenas soluciones que son muy similares entre sí la población puede converger rápidamente a estos valores, dado que las soluciones serían fácilmente seleccionables, y al ser similares, que el resultado del cruce no varíe de forma significativa. Debe tenerse presente que este mecanismo de cálculo es heurístico y estas situaciones se pueden dar, en general se realizan varias ejecuciones sobre el mismo problema con distintos parámetros para obtener un valor representativo y comparable con la solución óptima del problema.

Fitness

La función de fitness establece para un determinado individuo dentro de una población, su aptitud. Esto puede ser un valor numérico que represente en algún sentido esta magnitud. En la implementación del TSP para una serie de ciudades, la función de fitness puede ser la distancia total que se necesita recorrer para esa solución. De esta manera, se podría decir que el individuo con mejor fitness será

aquel que tenga la menor distancia total. Otra aproximación puede ser utilizar el tiempo requerido. Si por ejemplo se cuenta con datos de velocidad, quizás no es tan relevante tener en consideración la distancia recorrida sino que es más relevante el tiempo total en hacer el tour completo.

Puede verse que en ocasiones una configuración puede tener varias soluciones u objetivos que necesita maximizar. Un algoritmo genético es mono-objetivo (Single Objective Genetic Algorithm o SOGA por sus siglas en inglés) si solo tiene un valor a optimizar, esto es, cuenta con un único valor de fitness. En caso de que el problema tenga varios valores a maximizar en su conjunto, es necesario diseñar una función que los agregue en un solo valor que sea comparable entre soluciones. Por otro lado, un algoritmo genético es multi-objetivo (Multi Objective Genetic Algorithm o MOGA por sus siglas en inglés) si tiene objetivos individuales y todos tienen que maximizarse al mismo tiempo. En este caso, no hay una solución óptima sino que pueden encontrarse varias formando una frontera de Pareto.

Construcción de la solución

Para poder crear un módulo de creación de rutas para la entrega en la última milla que sirva para la programación dentro de un ERP, se implementará una solución que en base a un algoritmo genético solucione el problema del viajante (TSP) para la ciudad de Buenos Aires utilizando una arquitectura GIS con información georreferenciada.

La naturaleza de una aplicación GIS permitirá modelar relaciones espaciales entre los datos y lograr optimizaciones que sean superiores a modelos que solo consideren cuestiones como distancia simple. El objetivo será la integración de información georreferenciada para el proceso de optimización de forma que la función de fitness definida incorpore conceptos como:

- Distancia, clasificaciones de calles y topología

- Tráfico
- Restricciones de transito

Para computar el proceso de optimización, se obtendrán sets de datos georreferenciados que tengan esta información y se combinarán en una función de fitness del algoritmo genético.

Modelo espacial para la ciudad de Buenos Aires

El primer paso en la construcción consiste en obtener una set de datos georreferenciado de las calles de la ciudad de Buenos Aires. Según lo detallado al hacer una revisión de los posibles orígenes de datos georreferenciados, esta información puede ser obtenida del proyecto OpenStreetMaps. Para hacer esto, es posible invocar a este servicio dentro de un explorador indicando en los parámetros dos pares de coordenadas que determinaran la región rectangular a bajar (bounding box)

```
http://api.openstreetmap.org/api/0.6/map?bbox=-34.537945,-58.531317;-  
34.647039,-58.358969
```

El resultado es un archivo de extensión SHP que tiene el detalle. Un archivo SHP (o DBF) es un archivo que contiene información georreferenciada y puede ser procesado por la mayoría de las aplicaciones vistas. Estos archivos son vectoriales y contienen las geometrías correspondientes con su localización (de acuerdo a un sistema de referencias) y sus atributos. Si se abre este archivo con la aplicación QGIS el resultado puede verse en la figura 24.

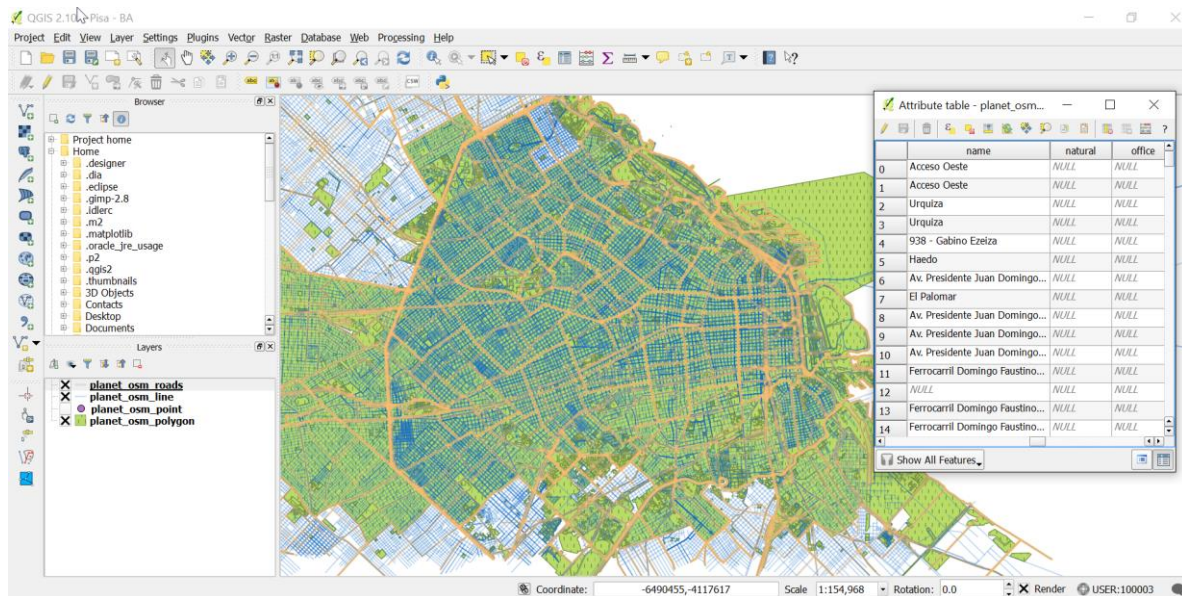


Figura 24. Información de OpenStreetMaps renderizada en QGIS vectorialmente, con el detalle de los datos tabulados en columnas

Puede verse que se cuentan con cuatro capas: líneas (calles), polígonos (parques, plazas, edificios), puntos (sitios de interés) y autopistas. Si el objetivo es contar con el diseño de las calles y poder armar rutas, es suficiente considerar solo la capa correspondiente a las calles (líneas). La información debe ser almacenada dentro de una base de datos espacial para poder efectuar los cálculos posteriores. Para esto, se importa el archivo SHP dentro de una base de datos PostgreSQL y se le instala la extensión PostGIS.

Para poder calcular rutas con un algoritmo genético, en primera medida es necesario tener una matriz de distancia para cada una de las ubicaciones que se desean visitar dentro del mapa general. Si se toma un punto cualquiera dentro de la estructura georreferenciada de la ciudad y se quiere ir a otro punto, puede verse gráficamente que hay varias rutas alternativas para poder conectarlos. Luego, es necesario definir un costo para cada una de las calles a fin de poder elegir en cada punto cual es la ruta más conveniente a utilizar. Este valor de costo puede pensarse inicialmente en la distancia, pero la potencia de la solución estará en poder integrar otros valores dentro de la ecuación. Una vez definido este valor de costo, debe

establecerse un mecanismo para poder encontrar el camino más próximo entre dos puntos. Existen varios mecanismos para realizarlo, el más utilizado es el algoritmo de Dijkstra. Este algoritmo consiste en modelar la información como un grafo matemático considerando que la grilla está compuesta por nodos y arcos. Cada nodo representa una esquina y cada arco una de las calles. El proceso general consiste en tomar el punto origen dentro del grafo matemático, tomar uno de los arcos y avanzar hacia el próximo nodo. En este punto se vuelve a realizar el procedimiento y en caso de que el camino hacia el destino con esta metodología no sea el más corto, se vuelve hacia atrás con un nuevo nodo. La ventaja de implementar este algoritmo en un grafo geográfico es que debido a la orientación que tienen en el espacio puede reducirse de forma inteligente la cantidad de nodos a visitar.

Para poder aplicar lo anterior, es necesario que el set de datos sea un grafo matemático ya que lo descargado de la página corresponde solo a una lista de líneas y coordenadas geográficas para sus puntas. Para transformarlo en un grafo matemático es necesario definir una estructura donde hayan puntos o nodos que representen a las esquinas y arcos que los conecten representando a las calles que unen las esquinas.

Nombre	Tipo	Coordenada X	Coordeanada y
Calle 1	Linea	-54,0001	-35,04353
Calle 2	Linea	-54,0056	-35,01897
Calle 3	Linea	-54,0093	-35,02356
Calle4	Linea	-54,1453	-35,17937

Arco	Origen	Destino
Calle 1	1	2
Calle 2	2	3
Calle 3	1	4
Calle 4	4	2

Figura 25. Diferencias entre el formato de la información georreferenciada y el necesario para poder computar un cálculo de distancias mínimas

Cuando una capa de información georreferenciada se estructura de esta manera, se dice que es ruteable. Para hacer ruteable una capa georreferenciada puede utilizarse un complemento denominado pgRoute que permite generar la estructura correspondiente y a su vez incluye una rutina para poder realizar el cálculo de

distancias mínimas, tomando como entrada un nodo destino y origen, devolviendo la lista de nodos a recorrer entre los dos puntos como el camino más corto.

Tráfico

Para poder realizar un ruteo eficiente de las entregas, es importante considerar parámetros de tráfico ya que este puede influir significativamente en la determinación de una ruta. Proveedores de mapas online como Google proveen información de tráfico en tiempo real pero solo integrada dentro de una consulta particular de una ruta, no proveen un mecanismo para poder obtener esa información de forma digitalizada por una aplicación externa.

El proveedor Here (Nokia) ofrece una interface mediante la cual puede obtenerse esta información en tiempo real. Para esto provee la información para una llamada a un servicio en el cual se le brindan las coordenadas y devuelve un archivo XML con la información de más de 12,000 segmentos correspondientes a calles y avenidas de la ciudad. La misma contiene, entre otros, el nombre, su georreferenciación (coordenada X e Y del segmento), la velocidad promedio (SP) y un factor de congestión (JF).



Figura 26. Calles de la ciudad de Buenos Aires con información de tráfico de forma gráfica y representación digital con el detalle mencionado

Para obtener esta información, debe invocarse al servicio correspondiente con los parámetros de las coordenadas:

```
http://traffic.cit.api.here.com/traffic/6.1/flow.xml?app_id=xxx&app_code=yyy&bbox=-34.537945,-58.531317;-34.647039,-58.358969&responseattributes=sh
```

La información será almacenada dentro de la base de datos en la que se almacena la información de todas las calles de la ciudad. Para el modelo propuesto, los ruteos se necesitan realizar con anticipación por lo que la información en tiempo real no puede ser utilizada. Para esto, se plantea la necesidad de realizar un modelo de predicción de tráfico con datos históricos por lo que se obtendrá esta información cada un cierto periodo de tiempo (5 minutos), se almacenará y se obtendrán estadísticas como velocidad promedio por segmento, día, hora, junto con su desvío estándar para analizar volatilidad.

Es importante remarcar que Google ofrece una funcionalidad similar para calcular rutas utilizando el tráfico usual. De esta manera, los cálculos de navegación se realizarán con estos valores estadísticos. Estos valores, tal como fue explicado anteriormente, no son accesibles digitalmente por aplicaciones externas.



Figura 27. Opción de tráfico usual en Google.com

Al realizar el análisis de la información, se detectó que había gran volatilidad en los datos por lo que al revisar a detalle la situación se llegó a la conclusión de que los días que mostraban la mayor disparidad respecto a los valores promedios eran días de lluvia. Luego, se consideró también un factor considerando si el día correspondiente al tráfico reportado estuvo afectado por lluvia o no. La información de la lluvia también se obtuvo online del servicio provisto por la página <http://openweathermap.org/>.

Las interfaces responsables de obtener la información del tráfico y almacenarla en la base de datos georeferenciada son scripts programados en el lenguaje de programación Python.

Restricciones adicionales

Existen ciertas regulaciones al tránsito dentro de la ciudad de Buenos Aires. Una de ellas es la delimitación de una red de tránsito pesado para la circulación de camiones que lleven una carga superior a 12 toneladas. Esta restricción se implementó en el año 2009 con el objetivo de descomprimir el tránsito en ciertas áreas residenciales y ordenar la circulación. Los camiones que llevan este tipo de carga solo tienen permitido circular fuera de este corredor para llegar directamente a destino. Si necesitan desde este punto ir a otro lugar, es necesario que retornen al corredor por el camino más corto y de ahí moverse por este camino especial para llegar a destino final.



Figura 28. Corredor de tránsito pesado en la Ciudad de Buenos Aires

Para modelar esta restricción, es posible obtener una capa georeferenciada de las calles que delimitan este corredor e integrarlo dentro de la función de fitness del algoritmo genético para que solo arme rutas con esta restricción. El set de datos georeferenciado de esta configuración puede obtenerse de la página de estadísticas de la Ciudad de Buenos Aires. El formato es un archivo SHP y puede integrarse dentro de la base de datos PostGIS.

Integración de la información georreferenciada

Los sets de datos obtenidos se combinan dentro del mismo espacio de almacenamiento que en el ejemplo propuesto es una base de datos PostgreSQL, y comparten el espacio temporal para poder ser vinculados. Los inconvenientes para poder integrar toda la información en una sola estructura son los siguientes:

- Diferencias en el sistema de referencia: Cada set de datos georreferenciado contendrá unas coordenadas en función de un sistema de referencia. Es probable que al usar distintos orígenes los sistemas utilizados sean diferentes por lo que será necesario llevar todos los sets de datos a un mismo sistema de referencia.
- Inexactitud en la localización de las figuras: Puede darse el caso de que se tenga información sobre una calle como la latitud y la longitud de cada uno de sus extremos y su nombre. También que de otro origen se obtenga cual es la velocidad promedio que ese segmento experimenta. El inconveniente es que muy probablemente las coordenadas de ambos set de datos para representar la misma figura difieran en alguna medida por lo que poder configurar que se está hablando de la misma calle puede ser sencillo en una inspección grafica de la disposición pero no tan trivial desde el punto de vista analítico.

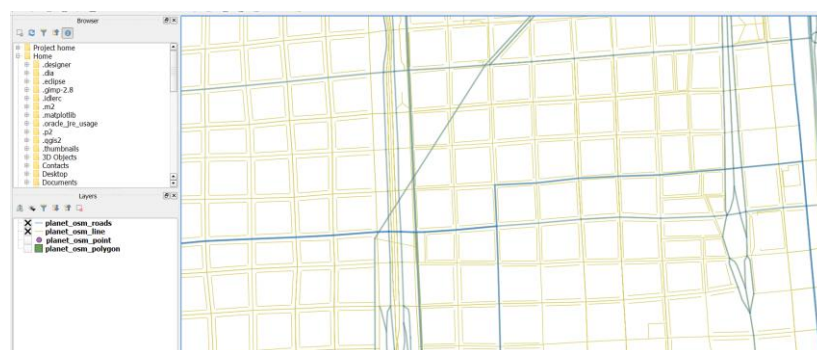


Figura 29. Diferencias entre las figuras de set de datos de distinto origen

Para dar solución a estos inconvenientes, es necesario en primera instancia normalizar todas las referencias a un único sistema de referencias. Para esto se pueden utilizar los mecanismos de conversión de PostGIS.

Para integrar la información en un solo set de datos, se utilizan operaciones de transformación espacial. Para esto, se aplica una opción de Buffer sobre el set de datos que representa la totalidad de las calles con un valor de 40m y se realiza una intersección con el Bounding Box de todas las figuras de la capa de tráfico y la capa de Red de Tránsito pesado. De esta manera, se le agregan atributos nuevos al set de datos de calles indicando cual es la velocidad promedio por día de la semana y hora, el desvío standard y un indicador para identificar si el segmento es parte de la red de tránsito pesado o no.

Esta operación debe realizarse una sola vez pero es necesario que requiera cierta adecuación manual de la información para que la integración sea completa.

Definición de la función de fitness

Teniendo los set de datos integrados, es posible definir una función de fitness que agregue los factores en un solo valor consolidado. El objetivo de la función de fitness es poder medir el costo de ir de un nodo dentro del grafo que representa a la ciudad a otro. El objetivo será integrar la información de la distancia y el tráfico de forma que el mismo afecte el costo de forma tal que cuanto mayor sea la velocidad promedio en un segmento, este sea preferible ante otro segmento que puede contar con menor longitud pero menor velocidad promedio. A su vez, es necesario penalizar aquellos segmentos que cuentan con mucha volatilidad en el valor. Luego, teniendo en consideración estas cuestiones, se computa la velocidad promedio para cada hora de cada día de la semana de la siguiente manera:

$$\bar{V}(r, d, h, w) = \frac{\sum_n^1 SP(r, d, w, h)}{n}$$

r: Calle

d: Día de la semana (0: Lunes; 1: Martes; ... ; 6: Domingo)

h: Hora del Día

w: Condición de tiempo (0: Despejado; 1: Lluvia)

SP: Velocidad promedio del segmento para los parámetros indicados

Con la velocidad promedio computada, la función de fitness se define como

$$fitness(r, d, h, w) = Longitud(r) - \bar{V}(r, d, h, w) * [1 - cv(r, d, h, w)]$$

r: Calle

d: Día de la semana (0: Lunes; 1: Martes; ...; 6: Domingo)

h: Hora del Día

w: Condición de tiempo (0: Despejado; 1: Lluvia)

cv: Coeficiente de variación e $\frac{\bar{V}(r, d, h, w)}{\sigma(r, d, h, w)}$

Con esta fórmula de cálculo se busca que cuanto menor sea el valor de fitness, mejores es el segmento para una determinada ruta y debería ser seleccionado. Este valor queda asociado a cada segmento por lo que puede configurarse como un atributo más dentro del set de datos georreferenciado:

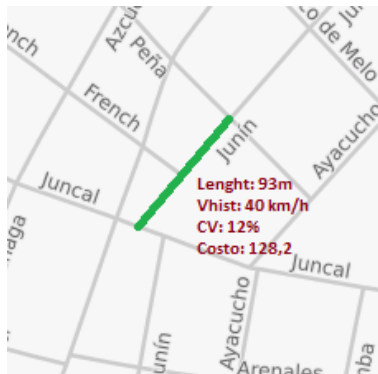


Figura 30. Ejemplo de cálculo de función de fitness para una calle particular

Renderizado de la información

Con la información georreferenciada almacenada e integrada en la base de datos PostgreSQL, el próximo paso es tener una herramienta para poder visualizarla. Esto puede hacerse con un visor como QGIS o ArcGIS pero estas herramientas no permiten directamente integrar un visor dentro de la plataforma.

Para esto, es posible instalar un servidor de mapas Web que permita conectar una base de datos georreferenciada a sus orígenes y que este se encargue de mostrarla la información para que pueda ser consumida por un navegador. Luego, se instala una instancia del servidor GeoServer el cual se conecta a la base de datos y se les define un estilo SLD para la definición gráfica de cómo se desea visualizar cada una de las geometrías dentro de una determinada capa. El servidor permite combinar varias capas es un solo mapa.

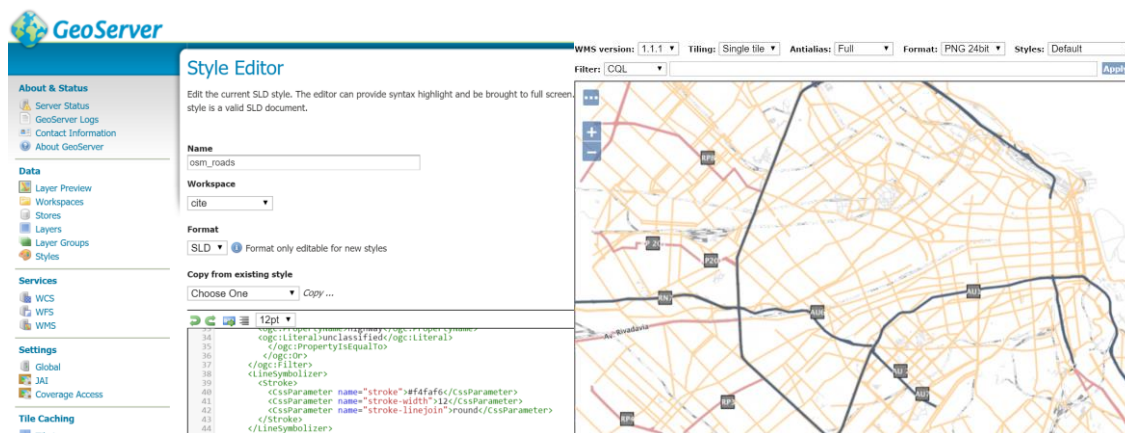


Figura 31. Configuración de un estilo de visualización SLD a una capa georreferenciada en GeoServer

Al invocar el servidor de mapas desde el servicio, el servidor devuelve una imagen de la región del mapa consultado. Para poder hacer la visualización interactiva permitiendo niveles de zoom y desplazamiento puede utilizarse una biblioteca como OpenLayers que realiza este manejo de forma automática y brinda numerosas posibilidades para la administración de la navegación de los mapas en la aplicación.

Es importante tener presente que este servidor se encarga de mostrar la información en la base de datos local de forma gráfica. No requiere de conexión a internet dado que todo lo que hace es local dentro del equipo donde se encuentra

instalado. Si la solución elegida sería en la nube, debería optarse por algún servidor online de mapas (CartoDB o Google) al cual debe subirse la información almacenada para que sea integrada con la información que los mismos ya tienen para después ejecutar las funcionalidades que estas plataformas ofrecen. En este caso, dado la complejidad del modelo propuesto, la opción fue una modalidad totalmente on-premise para tener control y libertad de acción en la ejecución.

Arquitectura final de la solución

Teniendo todas las partes definidas, puede realizar el diagrama de la arquitectura final de la solución. La misma contendrá herramientas que dan soporte funcional a los procesos definidos y permitirá la integración con el sistema ERP. Para esta integración, se utilizan una conexión http desde SAP al ERP con el detalle de los clientes que se desean visitar (los cuales se encuentran georreferenciados dentro de la herramienta) y provee funciones RFC para que el resultado óptimo le sea notificado luego de la optimización dentro del módulo de ruteo con algoritmos genéticos dentro de la aplicación GIS.

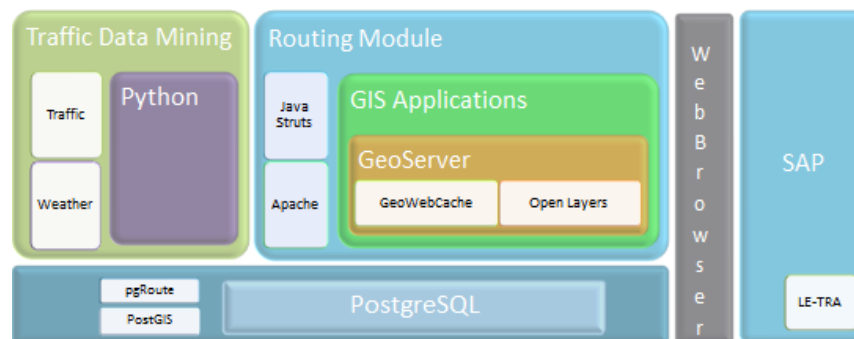


Figura 32. Arquitectura de la solución

El módulo de optimización basado en algoritmos genéticos está implementado dentro del servidor de base de datos PostgreSQL como store procedures. En primer lugar calcula la tabla de fitness relativo entre cada uno de los clientes para conocer el costo de moverse de uno de los clientes a otro directamente. Una vez establecido esto, sigue el proceso definido en el diagrama de flujos.

Se construyó una capa de presentación de la aplicación en lenguaje Java para poder interactuar con el modelo a fin de establecer parámetros de ejecución y poder realizar simulaciones con la herramienta en tiempo real. No obstante, el núcleo principal del modelo desarrollado consiste en el módulo de optimización y la interface hacia el ERP con la información de la secuencia de menor costo según lo definido.

Resultados

En base a la información recolectada, la arquitectura propuesta, los algoritmos desarrollados y las interfaces construidas se pudo implementar el módulo de creación de entregas con la metodología propuesta. La misma consistió en:

- ~8000 líneas de código de programación.
- ~73 GB de información correspondiente a 6 meses del tráfico de la Ciudad de Buenos Aires.
- 18 capas de información georreferenciada.
- 5 interfaces con el sistema ERP.

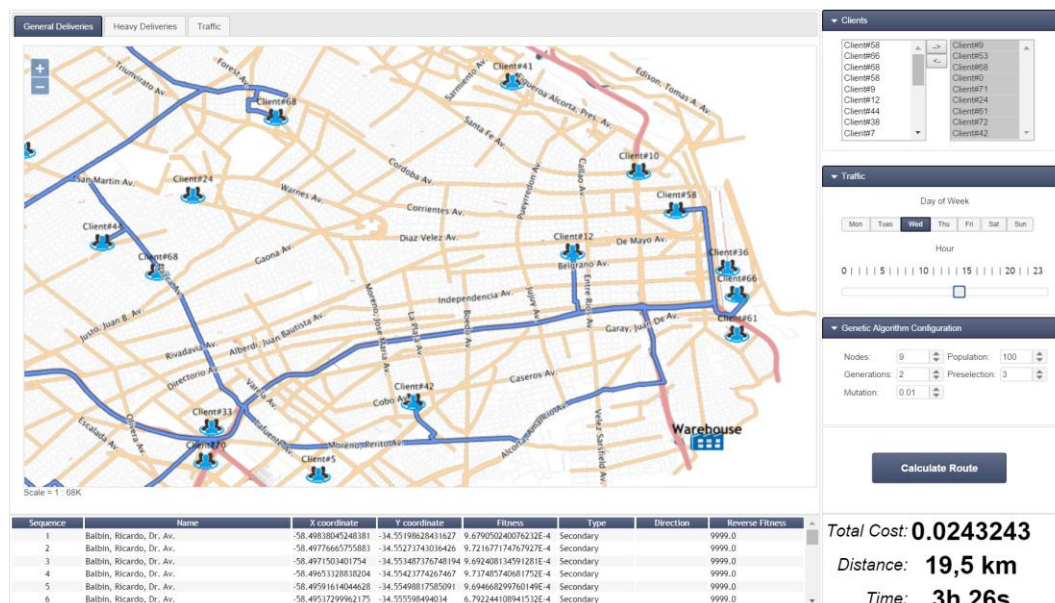


Figura 33. Módulo de optimización de entregas construido visualizado desde la interface de pruebas

Se ejecutaron simulaciones para testear el funcionamiento del módulo. Dado que el algoritmo es heurístico, se dieron situaciones en las cuales al variar los parámetros de ejecución sensiblemente los resultados obtenidos fueron distintos. Esto es esperable, sobre todo cuando algunos clientes se encuentran próximos entre sí, pero el costo global en todos los casos fue similar.

A modo de comparación, se ejecutaron adicionalmente numerosas simulaciones para poder testear la performance de la restricción del corredor de tráfico pesado dado que este es un claro ejemplo de una limitación que no puede ser directamente modelado por un sistema ERP y la mayoría de las aplicaciones de ruteo basadas en la nube.

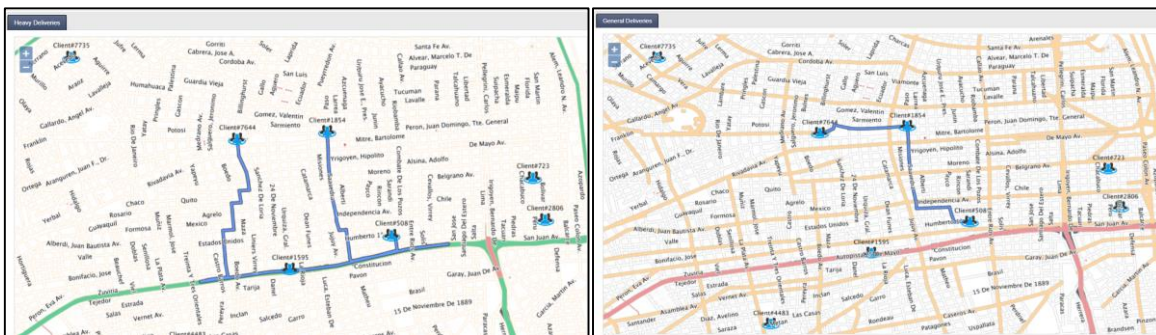


Figura 34. Comparación de creación de entregas para el mismo conjunto de clientes considerando y sin considerar la restricción de tráfico

Respecto al fitness, se evidencia que en las simulaciones efectuadas sobre entregas con las restricciones de tráfico pesado es mayor dado que en general el camino a recorrer es mayor y no se cuentan con demasiadas alternativas para la planificación del transporte.

A medida que el número de clientes aumenta, puede verse que el costo total comienza a tomar una tendencia exponencial, sobre todo en las simulaciones con entregas pesadas.

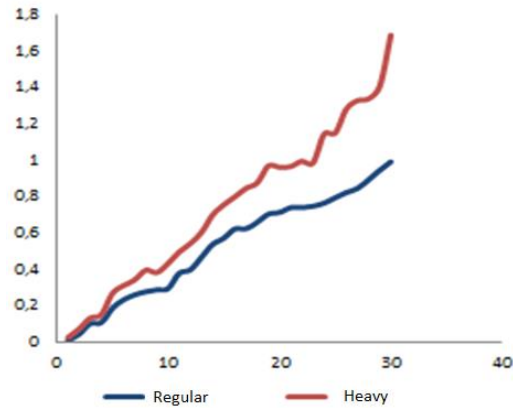


Figura 35. Comparación de fitness para distintas configuraciones y número de clientes

Si se analiza la convergencia de la solución, puede verse que la misma aumenta a medida que se incrementan los clientes pero en el caso de la ejecución con restricciones de circulación, la convergencia es mayor dado. Esto puede deberse, una vez más, que al haber menos configuraciones óptimas todos los individuos de la población se parezcan entre si y no haya demasiado margen para seguir optimizando. El tiempo de ejecución para lograr un parámetro de convergencia aceptable fue mucho menor para la configuración con restricciones pero debe tenerse presente que el mismo aumenta drásticamente con el número de clientes y los parámetros elegidos para ejecutar el algoritmo.

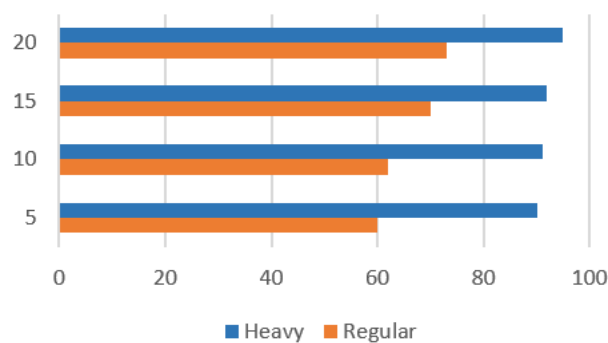


Figura 36. Porcentaje de convergencia por cantidad de clientes

El hecho de contar con información georreferenciada sobre el tráfico de la ciudad, permitió generar un análisis del comportamiento del mismo. Luego de la información por hora y día de la semana y agrupando en función de las condiciones climáticas,

pudo verse que la mayoría de las calles presentan una velocidad promedio que es diferente en cada instante pero su volatilidad o variabilidad no es tan representativa. De esta manera, puede considerarse que la velocidad promedio de la ciudad es relativamente constante hora a hora para cada día de la semana, con una marcada diferencia entre los días de semana y fines de semana.

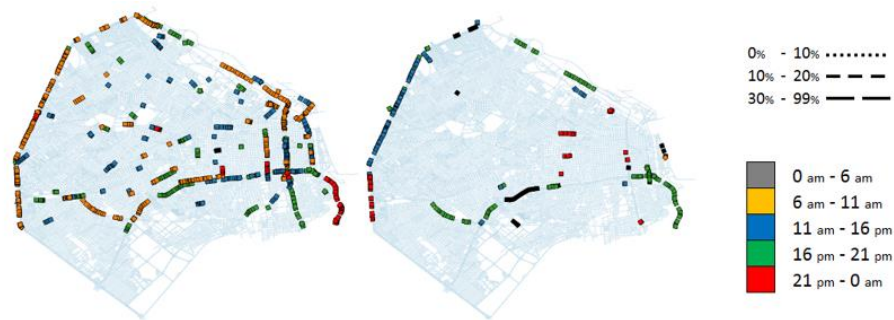


Figura 37. Coeficiente de variación de la velocidad promedio por magnitud y franja horaria, para un día de la semana (izquierda) y fin de semana (derecha)

Es importante tener presente que la figura 47 grafica el desvío standard relativo de cada una de las calles respecto a su media, considerando una estacionalidad horaria en función del día de la semana y las condiciones de precipitación. Luego, el Tráfico puede ser que sea muy alto en esos segmentos pero lo importante es que el mismo es poco volátil por lo que el computo de la función de fitness considerando este valor promedio se espera sea representativo.

A su vez, la posibilidad de analizar esta información con una referencia espacial permite ver que la mayoría de los segmentos que presentan alta volatilidad son las autopistas de ingreso a la ciudad y la Avenida General Paz que la rodea. En el interior de la ciudad pueden verse ciertos sectores localizados en los que al analizar su naturaleza se corresponden, en buena parte, a áreas comerciales.

Comparación con un proceso de ruteo tradicional

Los sistemas de ruteo que no utilizan georreferenciación, suelen requerir que las rutas posibles estén pre configurados en el Sistemas para todas las locaciones que deben considerarse en un proceso logístico. De esta manera, se almacenan tablas que unen las locaciones origen y destino con un valor que puede ser una distancia o un costo determinado de forma interna. Estos puntos pueden ser ciudades, provincias, regiones, etc. La configuración de distancias tendría la siguiente disposición:

<i>ID Ruta</i>	<i>Origen</i>	<i>Destino</i>	<i>Costo</i>
1	Región 1	Región 3	2
2	Región 3	Región 5	5
....
<i>n</i>	Región <i>n</i>	Región <i>n + 1</i>	3

Figura 38. Tabla de rutas tradicionales que contienen pares de origen y destino y un valor asociado a modo de costo.

De esta manera, al querer armar un secuenciamiento se unen las posibilidades por este tipo de tablas y se obtiene la mejor combinación. El inconveniente con esta aproximación es que esta tabla debe mantenerse manualmente por lo que la dinámica de un negocio que tiene un nivel de actividad considerable e incorpora clientes permanentemente hace que las tablas se terminen configurando a nivel región o barrio en lugar de cliente. A su vez, al no tener un detalle a nivel de ruta física, pierde la oportunidad de utilizar todos los atributos adicionales a la distancia como puede ser el tráfico u otra variable de consideración al momento de realizar el ruteo de entregas.

Se efectuó una simulación para comparar la performance de este método con el desarrollado en el módulo de ruteo propuesto. Para esto se configuró una tabla de

distancias por comuna de la Ciudad de Buenos Aires y se realizó una matriz de distancias considerando las distancias entre ellas. La mínima distancia se tomó considerando un punto central dentro de la misma y computando la ruta más corta mediante el algoritmo de Dijkstra considerando como costo solo la distancia (dentro de las calles de la ciudad y respetando el sentido de las mismas). A su vez, para poder insertar este método dentro del módulo construido (que está a nivel de coordenadas) el mecanismo fue obtener la secuencia de comunas a visitar según la tabla y luego armar la ruta directamente uniendo los clientes con Dijkstra con esta restricción de comunas.

Se crearon 50 entregas aleatorias para un mismo set de clientes de clientes diseminados por distintas partes de la ciudad y se ejecutó el cálculo de ruteo para cada una de estas, con el método tradicional y a su vez 10 simulaciones para el método de ruteo propuesto dado que el mismo es heurístico y puede dar soluciones diferentes en ejecuciones sucesivas.

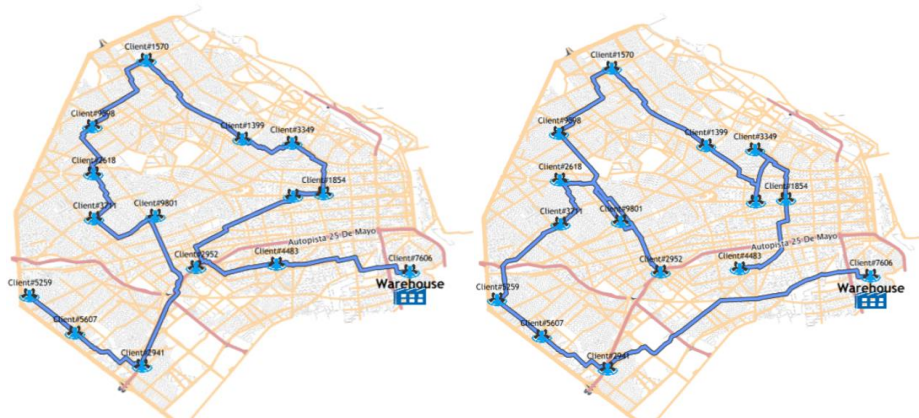


Figura 39. Comparación de un ruteo tradicional por regiones (derecha) y el ruteo propuesto en el modelo construido (izquierda)

Luego de las simulaciones realizadas, se detectó una mejora promedio del 19% considerando la simulación para cada entrega individual.

Es importante remarcar que más allá de la mejora que puede obtenerse con el ruteo por georreferenciación y sets de datos adicionales, la mayor ventaja de esta tecnología radica en no tener que mantener rutas preconfiguradas para poder realizar esta actividad. Sería suficiente con tener la locación georreferenciada de los clientes, centros de distribución y otras instalaciones relevantes para el ruteo de entregas. A partir de la dirección de cada uno de estos puntos, es sencillo obtener las coordenadas que se representan. Esta información debe adjuntarse como un atributo más dentro de los datos maestros de cada uno de estos puntos y ser gestionado de la misma manera que los restantes.

Precisión de la solución

El método de optimización elegido para esta solución fue con algoritmos genéticos. Como fue dicho, el resultado obtenido es sensible a los siguientes parámetros que deben ingresarse:

- Población
- Generaciones
- Preselección
- Mutación

Existe numerosa bibliografía que presenta métodos para obtener estos parámetros junto a propuestas para poder determinarlos automáticamente en función de la naturaleza la población y tipo de problema. Para este módulo se pre configuraron los siguientes valores en función del tamaño de la población:

<i>Atributos / Cant. Clientes</i>	<i>0..5</i>	<i>5..15</i>	<i>15..50</i>	<i>50 +</i>
<i>Población</i>	20	50	100	500

<i>Generaciones</i>	4	10	15	20
<i>Preselección</i>	2	5	10	50
<i>Mutación</i>	0.001	0.01	0.05	0.1

Figura 40. Tabla pre configurada de parámetros para la optimización por cantidad de clientes

Estos valores son propuestos de acuerdo a las distintas simulaciones que se realizaron. En estos niveles, se alcanzaron valores de convergencia superiores al 80% con soluciones aceptables.

Es importante tener presente que estos parámetros pueden ser alterados lo cual va a incidir directamente en la calidad de la solución y el tiempo de ejecución en simultaneo. Por ejemplo, si se plantea una entrega con 3 nodos, la cantidad de combinaciones posibles son $3! = 6$ por lo que poner una población de ese tamaño nos garantiza que están todas las combinaciones posibles dentro de la misma por lo que la solución óptima estará presente y será la ganadora sin importar la cantidad de generaciones que se tomen. Solo podría ser alterado si se configura un parámetro de mutación alto. Al contrario, si se usan los mismos parámetros para 30 nodos, la población va a ser insignificante comparada con los $30!$ Individuos posibles por lo que la solución seguramente será completamente aleatoria.

La convergencia se da cuando dentro de una población todos los individuos son similares por lo que las soluciones que se obtienen conforme las generaciones van evolucionando son similares también. En esta instancia, no tiene sentido evolucionar mucho más tiempo dado que solo estará presente el efecto de la mutación para cambiar algo pero es probable que se termine en la misma solución. Utilizando este concepto, un enfoque diferente sería independizarse del número de generaciones y efectuar el cálculo hasta que la convergencia sea de un parámetro a definir, por ejemplo del 95%. De esta manera, se evolucionaría permanentemente de generación en generación hasta alcanzar ese valor.

El inconveniente con este enfoque es que para números de nodos en medianas o largas cantidades, la convergencia se da en tiempos de ejecución considerables y con una evidente tendencia creciente en función de la cantidad de nodos. En la solución construida, los valores son propuestos según la tabla explicada anteriormente y es posible modificarlos en función de la calidad de la solución encontrada. Para este problema, no es necesario obtener una solución exacta, con una solución consistente que represente una secuencia lógica respetando las restricciones y consideraciones de la información georreferenciada adicional, que se resuelva en un tiempo acorde de ejecución, debería ser suficiente.

Aplicaciones adicionales

La información utilizada y las técnicas implementadas pueden ser utilizadas para resolver otros problemas, algunos ejemplos son:

- Configuración de **redes de distribución** mediante el cual es necesario definir la ubicación óptima de centros de distribución en función de un mapeo georreferenciado de demanda de un determinado producto. Algunas aplicaciones para modelar datos referenciados (ej. ArcGIS) incluyen una funcionalidad standard para realizar este cómputo pero se dificulta modelar a su vez relaciones más complejas como facilidad de acceso a la zona, condiciones de transporte, entre otros.
- Modelado de ruteo con la modalidad **linehaul** el cual consiste en el armado entregas entre ciudades y o puertos. Este tipo de ruteo difiere al ejecutado en la última milla dado que el transporte se planifica tanto para los viajes de ida como para los viajes a la vuelta. En general, y dependiendo de la región, estas tarifas pueden ser diferentes lo que agrega un grado más de complejidad a modelar dentro de una solución que le de soporte. Una plataforma georreferenciada integrada con los sistemas de gestión permitiría tener un control total sobre una determinada flota. Existen soluciones comerciales que dan soporte a esta actividad como el TMS Mojo de Mercury Gate³⁵.

Adicionalmente a la implementación de otras funcionalidades utilizando el enfoque del módulo desarrollado, es posible realizar adaptaciones que permitan optimizar el proceso o mejorar la calidad de la solución.

³⁵ <http://www.mercurygate.com>

Algoritmos Genéticos Multiobjetivos

Un Algoritmo Genético Multiobjetivo (MOGA) es un algoritmo genético similar en su funcionamiento al implementado pero a diferencia del anterior en lugar de una función de fitness que consolide un solo valor a maximizar este intenta maximizar tuplas de diferentes valores en simultaneo.

El objetivo consiste en no combinar todos los atributos en un solo valor sino tratarlos como tuplas:

$$F(x) = \min(f_1(x), f_2(x) \dots f_y(x))$$

Este tipo de formulaciones, el objetivo no consiste en encontrar un valor no dará un solo valor sino un conjunto de valores que cumplen las restricciones generando lo que se denomina una frontera de eficiencia de Pareto. Si tomamos una función de dos objetivos, la misma puede graficarse como:

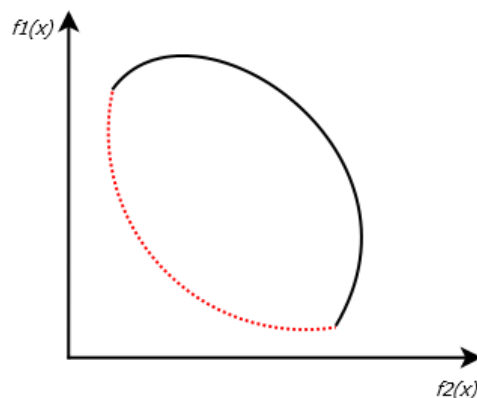


Figura 41. La frontera de Pareto es representado por el trazado de puntos color rojo.

De esta manera la ecuación utilizada podría escribirse como una optimización multiobjetivo de la forma:

$$fitness(r, d, h, w) = \min(\text{Longitud}(r), K - \bar{V}(r, d, h, w) * [1 - cv(r, d, h, w)])$$

r: calle

d: día de la semana (0: Lunes; 1: Martes; ...; 6: Domingo)

h: hora del Día

w: condición de tiempo (0: Despejado; 1: Lluvia)

El valor K representa un valor constante que debería tomarse como la velocidad máxima permitida de forma que a mayor velocidad, ponderada por su variación standard relativa, menor sea el valor que resulta de la resta de esta constante K para que el algoritmo multiobjetivo se encargue, junto a la longitud del segmento, minimizarlo.

Este tipo de algoritmo de optimización es muy utilizado, sobre todo cuando se tienen varios objetivos que deben optimizarse y no es sencillo combinarlos en un solo valor de forma agregada. En el caso de estudio, los parámetros que se utilizaron para la optimización fueron la distancia y las condiciones de velocidad media las cuales fueron combinadas en un valor unificado a optimizar (considerando priorizar más la distancia que la velocidad media promedio del segmento).

La utilización de un procedimiento de estos daría la posibilidad de ofrecer numerosas entregas pudiendo seleccionarse entre distintas combinaciones teniendo en consideración si la prioridad en la optimización está en la distancia, la velocidad promedio según las condiciones de tráfico, o ambos.

Pronóstico de tráfico en el corto plazo

En el módulo construido, el cómputo del tráfico se sustenta en considerar que este valor (representado con la velocidad promedio) es constante para un determinado segmento, a una determinada hora de un día de la semana. Luego, al momento de armar una entrega, se computa este valor y se pondera cada uno los segmentos en cuestión. Dado que el tráfico no es constante, en especial en ciertos segmentos,

se computa un desvío standard para cuantificarlo y penalizar el segmento al momento de armar el ruteo.

Un problema diferente, es realizar una predicción del tráfico en una ventana de tiempo hacia adelante en un corto plazo al actual. Este problema es nominado como predicción de tráfico en el corto plazo (Short Term Traffic Forecasting) y ha sido fuente de estudio durante muchos años, existiendo numerosa bibliografía al respecto.

El objetivo es realizar la predicción del tiempo en una ventana que puede ser de unos segundos a unas pocas horas basado en la información actual del tráfico y la información histórica. Existen numerosos modelos para dar soporte a esta funcionalidad, desde unas aproximaciones sencillas hasta técnicas avanzadas.

En el modelo desarrollado, al contar con la información histórica y la actual, es posible implementar un modelo que de soporte a esta funcionalidad. El modelo elegido para dar una aproximación es el método Naïve citado en Smith (2002).

$$V(t + 1) = \frac{V(t)}{V_{hist}(t)} * V_{hist}(t + 1)$$

V: Velocidad actual

V_hist: velocidad histórica

t: período de tiempo

De esta manera, implementando la fórmula en el modelo construido, la representación de la velocidad en la fórmula de fitness construida sería:

$$\hat{V}(r, d, h + t, w + t) = \frac{V(r)}{\bar{V}(r, d, h, w)} * \bar{V}(r, d, h + t, w + t)$$

r: calle

d: día de la semana (0: Lunes; 1: Martes; ...; 6: Domingo)

h: hora del Día

w: condición de tiempo (0: Despejado; 1: Lluvia)

t: período de tiempo

v: velocidad actual

Esta modificación sobre la función de fitness original, permitiría realizar una predicción para un período de tiempo futuro, teniendo la información actual, con mayor precisión que utilizando solo la información histórica.

Conclusiones

La georreferenciación es un concepto que existe desde hace tiempo y la posibilidad de contar con información transaccional, estadísticas y herramientas para su procesamiento, ha empezado a ser considerado con mucha relevancia dentro de las compañías. La posibilidad de contar con equipos con GPS como smartphones u otro equipamiento específico permite la recolección de esta información para su posterior análisis a fin de poder detectar relaciones espaciales que permitan optimizar los procesos. Se presentaron ejemplos de compañías en las cuales mediante este concepto pueden hacer transparente la gestión de su cadena de Supply Chain de forma interna, y a su vez disponibilizar esta información hacia los usuarios finales. Esta transparencia y visibilidad permite tener un mayor control y colaboración con el cliente externo u otras compañías.

Existen numerosas herramientas para la recolección, análisis, procesamiento y renderizado de la información georreferenciada. Las mismas varían desde aplicaciones locales que se ejecutan en una PC local hasta grandes servidores Web pensados para ser consumidos por varios usuarios a través de, por ejemplo, un navegador de internet. A su vez, existen numerosas fuentes de información que pueden ser utilizadas para enriquecer el análisis y facilitar la toma de decisiones.

La georreferenciación en sistemas ERP ha sido abordada de forma diferente entre los distintos proveedores. Algunos de ellos proveen herramientas para poder intercambiar información de forma externa con una plataforma georreferenciada pero no incorporan funcionalidad nativa para poder hacer un análisis dentro de la plataforma. Por otro lado, otros se caracterizan por extender el modelo de datos tradicional que manejan para poder incorporar un atributo georreferenciado a diferentes entidades dentro de la plataforma pero las posibilidades de integración siguen siendo limitadas dado que la herramienta no incorpora el concepto como el núcleo principal de su proceso, es tratado como un atributo más.

La georreferenciación es un área de estudio en constante evolución que permite analizar relaciones espaciales complejas en los datos. La posibilidad de contar con distintas herramientas ha desarrollado un lenguaje común entre ellas y se cuentan con numerosas operaciones y mecanismos para su tratamiento que permiten realizar transformaciones e integraciones que de otra manera sería muy costoso de ser implementadas. Ciertos procesos tienen su naturaleza en el mundo espacial por lo que la implementación de los mismos en este sistema de referencia puede ser natural así como también el análisis elemental de las relaciones con las técnicas descriptas. No obstante, es una disciplina que incorpora conceptos avanzados y permite modelar la información con conceptos geoestadísticos complejos. La posibilidad de contar con profesionales que incorporen este conocimiento puede ser un factor clave para el análisis estadístico de la información, esto puede ser algo frecuente en aplicaciones como la geociencia o geología, pero no se encuentra lo suficientemente expandido a otras áreas de negocios.

A fin de ejemplificar estos conceptos y poder implementar una solución, se construyó un módulo para poder realizar optimizaciones en el proceso de ruteo de entregas basado en el problema del viajante (Traveler Salesman Problem). El mecanismo utilizado para su cómputo fue basado en algoritmos genéticos dado que es un método probado y recurrente en la bibliografía, además de que la naturaleza intuitiva del problema permite comprender el concepto fácilmente. Para efectuar la optimización, se integraron distintos sets de información georreferenciada con el objetivo de demostrar como la disponibilidad de esta información, agregada en un solo valor como función de fitness, permite realizar dramáticas optimizaciones en el cómputo de este particular proceso de negocios. Esta metodología, puede extenderse aún más para el diseño de redes de distribución, picking de materiales hacia los camiones, asignaciones de choferes y cargas, entre otros. A su vez, la posibilidad de cada vez integrar mayores sets de información georreferenciada al modelo puede ser escalada fácilmente para construir modelos más robustos que den mayor apoyo al proceso de toma de decisiones a todo nivel.

Es importante tener presente que el desarrollo de un módulo como este es un trabajo no menor y requiere de un gran esfuerzo para su construcción, testeo e implantación. Dado que la integración con otras aplicaciones como sistemas ERP es parcial, debe desarrollarse a detalle cada una de estas interacciones más allá de la complejidad propia del proceso de optimización en sí mismo.

El modulo propuesto fue desarrollado con una modalidad on-premise, basado en una disponibilidad y almacenamiento de datos local (obtenidos de diversos proveedores online pero almacenados localmente) lo cual requiere disponibilizar diversos recursos para su administración y soporte. Según lo expuesto, el futuro de la computación parece ser enfocado en un mundo de soluciones en la nube, con proveedores especializados brindando soluciones con una modalidad SaaS (Software as a Service). Para este problema, podría haberse pensado en una solución que conecte directamente un sistema de armado de entregas con un proveedor de servicios en la nube como Google Maps o Here. El inconveniente con esta propuesta radica en que para lograr el grado de optimización que se está planteando, es necesario manipular la información que el proveedor online ofrece para personalizarlo y adaptarlo a las necesidades de una compañía. Actualmente la mayoría de los proveedores online no cuentan con esta flexibilidad en el procesamiento interno pero dado el crecimiento que ha tenido toda esta tecnología sería de esperar que se evolucione en esa dirección. Las ventajas que podría dar la disponibilidad de herramientas online más flexibles darían lugar a la posibilidad de colaboración entre distintas compañías, permitiendo integrar los procesos en toda la cadena de valor en busca del beneficio global.

Por último, se presentaron otros ejemplos de problemas de optimización que pueden darse en un proceso de Supply Chain haciendo referencia a que los mismos, considerando que existen algunas herramientas que ya brindan la solución, pueden ser resueltos con modelos más complejos incorporando todo punto relevante para la solución final. Adicionalmente, se presentaron otras técnicas de optimización a fin de mejorar la solución final.

Bibliografía

- Abou-ghanem, M., & Arfaj, K. A, “SAP / GIS Integration Case Studies & Techniques”, (966 3), 1–12, 2008.
- Bossler, J.D. “An Introduction to Geospatial Science and Technology.” Manual of Geospatial Science and Technology, London: Taylor and Francis, pp. 3–7, 2002.
- Brian L. Smith a, Billy M. Williams b, R. Keith Oswald. “Comparison of parametric and nonparametric models for traffic flow forecasting” Transportation Research Part C 10 303–321, 2002.
- Chang, Kang-tsung, “Introduction to Geographic Information Systems” 3rd edition McGraw Hill, 2006.
- Chun-Wei Tsai, Shih-Pang Tseng, Ming-Chao Chiang, Chu-Sing Yang, and Tzung-Pei Hong, “A High-Performance Genetic Algorithm: Using Traveling Salesman Problem as a Case,” The Scientific World Journal, vol. 2014, Article ID 178621, 14 pages, 2014. doi:10.1155/2014/178621.
- Dostál, Kratochvíl, "The Comparison of Methods Solving the Travel Salesman Problem", 2010.
- E. I. Vlahogianni, M. G. Karlaftis, and J. C. Golias, “Short-term traffic forecasting: Where we are and where were going,” Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2014.
- Edward Frazelle. “Supply chain strategy: the logistics of supply chain management” McGraw-Hill, 2002.
- G. Laporte. “The travelling salesman problem: An overview of exact and approximate algorithms”, European Journal of Operational Research, 59:231-247, 1992.
- Getis, A. “Spatial Statistics.” In Longley, P.A., M.F. Goodchild, D.J. Maguire, and D.W. Rhind (eds.), Geographical Information Systems, Volume 1, New York: John Wiley and Sons Inc., pp. 239–251, 2000.
- James B. Pick. “Geo-Business: GIS in the Digital Organization” 1st Edition John Wiley & Sons, Inc, 2008.

- Jinal Patel, "Exploring enterprise resource planning (ERP) and geographic information system (GIS) integration" ResearchGate, Conference Paper, 2013.
- Kylie Bryant, Arthur Benjamin, Advisor, "Genetic Algorithms and the Travelling Salesman Problem", Department of Mathematics, December 2000.
- Sunil Chopra, Peter Meindl, "Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation" 5th Edition Prentice Hall, 2012.
- Williams, B.M., 1999. Modeling and Forecasting Vehicular Traffic Flow as a Seasonal Stochastic Time Series Process. Doctoral dissertation. Department of Civil Engineering, University of Virginia, Charlottesville, 1999.