



# TESINA DE LICENCIATURA

**Título:** Monitoreo satelital de vehículos mediante una aplicación *web*

**Autor:** Tirabassi, Américo Natalio

**Director:** Gordillo, Silvia

**Carrera:** Licenciatura en sistemas

## Resumen

*En este trabajo se propone la creación de un prototipo de sistema web de monitoreo satelital de vehículos para analizar datos provistos por dispositivos especiales de posicionamiento que se instalan en ellos. Se hace una introducción básica a GPS y Sistemas de Información Geográfica (SIG), explicando su funcionamiento y áreas en las que se utilizan. Se describen algunas de las diferentes aplicaciones posibles para SIG y la importancia de la información geográfica, su correcta administración y las herramientas disponibles para su análisis. Por último se describe el prototipo de sistema web, su funcionamiento y su modo de uso.*

## Palabras Claves

*GIS, AVL, GPS, Web, Monitoreo*

## Trabajos Realizados

*Desarrollo de un prototipo de sistema de información geográfica web orientado al monitoreo de vehículos.  
Instalación del sistema en un servidor GNU/Linux.  
Instalación de dispositivos AVL en vehículos para prueba del sistema.*

## Conclusiones

*Los sistemas de información geográfica son de utilidad en una gran variedad de actividades ayudando en la toma de decisiones. Los SIG distribuidos proveen herramientas y datos remotamente como servicios web, permitiendo un desarrollo más rápido de sistemas personalizados. El sistema propuesto se vale de estos servicios para crear mapas sobre los cuales plasmar recorridos y eventos, además de proveer herramientas para el análisis de conducta de manejo y utilización de los vehículos.*

## Trabajos Futuros

*Sistema de seguimiento y mantenimiento de vehículos para un control más estricto de las tareas de mantenimiento realizadas y a realizar a partir del kilometraje y/o las horas de actividad.  
Sistema remoto para programación de geo-cercas internas al dispositivo AVL, para agregar un aspecto de seguridad al sistema disparando alarmas en caso de abandono de un perímetro.  
Independización de software de licencia privativa, cambio de Google Maps a OpenLayers.*

# Índice

---

<b>1. Introducción</b>	<b>5</b>
<b>2. Conceptos básicos sobre Sistemas de Información Geográfica</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Los inicios de SIG</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Información geográfica</b>	<b>14</b>
<b>2.2.1 Sistema de coordenadas</b>	<b>16</b>
<b>2.2.2 Sistemas de referencia geodésicos</b>	<b>17</b>
2.2.2.3 Sistemas de referencia geodésicos en nuestro país	18
<b>2.2.3 Proyección cartográfica</b>	<b>19</b>
<b>2.2.4 Sistema de posicionamiento global (GPS)</b>	<b>20</b>
<b>3. Administración y análisis de la información geográfica</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Introducción</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Base de datos</b>	<b>24</b>
<b>3.2.1 Modelo de datos</b>	<b>24</b>
<b>3.2.2 Formatos de almacenamiento de datos geográficos</b>	<b>25</b>
<b>3.2.3 Sistemas de Gestión de Bases de Datos</b>	<b>26</b>
<b>3.3 Herramientas para el análisis de datos geográficos</b>	<b>27</b>
<b>3.3.1 Funciones para el análisis de información geográfica</b>	<b>27</b>
3.3.1.1 Recuperación, clasificación y medición	27
3.3.1.2 Superposición	28
3.3.1.3 Vecindad	29
3.3.1.4 Conectividad	30
<b>3.3.2 Aplicaciones y bibliotecas de software para el análisis de información geográfica</b>	<b>31</b>
<b>3.4 Sistemas de información geográfica en Internet</b>	<b>32</b>
<b>3.4.1 SIG Distribuidos</b>	<b>34</b>
3.4.1.1 Mapeo Web	35
3.4.1.2 Web Map Service (WMS)	36
3.4.1.3 Geography Markup Language (GML)	38
<b>3.4.2 Arquitectura de GIServices</b>	<b>43</b>
<b>4. Localización automática de vehículos</b>	<b>45</b>
<b>4.1 Introducción</b>	<b>45</b>

---

<b>4.2 Transmisión de datos</b>	<b>46</b>
<b>4.3 Aplicaciones</b>	<b>49</b>
<b>4.4 Desarrollo propuesto</b>	<b>51</b>
<b>4.4.1 Componentes</b>	<b>52</b>
4.4.1.1 Servidor <i>web</i> y lenguajes utilizados	53
4.4.1.2 Servidor de bases de datos	54
4.4.1.3 Servidor y cliente	55
<b>4.4.2 Transmisión de datos</b>	<b>55</b>
4.4.2.1 Receptor de paquetes	56
<b>4.4.3 Modelo de datos</b>	<b>58</b>
4.4.3.1 Particiones	60
<b>4.4.4 Procedimientos almacenados</b>	<b>64</b>
<b>4.4.4 Servidores de mapas</b>	<b>67</b>
<b>4.4.5 Reportes</b>	<b>71</b>
<b>4.4.6 Geo-cercas</b>	<b>72</b>
<b>5. Conclusión</b>	<b>75</b>
<b>Apéndice A</b>	<b>79</b>
<b>Criterios para el cálculo de índices de riesgo</b>	<b>79</b>
Riesgo Leve:	80
Riesgo Medio:	80
Riesgo Alto:	80
<b>Índice de Riesgo en Rutas y Autopistas:</b>	<b>80</b>
<b>Índice de Riesgo en Zonas Urbanas:</b>	<b>80</b>
<b>Índice de Riesgo en Yacimientos:</b>	<b>81</b>
<b>Índice de Riesgo por zona:</b>	<b>81</b>
<b>Apéndice B</b>	<b>83</b>
Planilla de cálculo con información sobre el itinerario completo de un vehículo.	83
Planilla de excesos de la flota de vehículos	84
Planilla de detalle de excesos de un conductor	86
<b>Apéndice C</b>	<b>87</b>
<b>Manual de uso</b>	<b>87</b>
Página principal	87
Rastreo satelital en vivo	88

Itinerario en línea	89
Itinerario en Excel	91
Reporte de excesos	92
Estado de flota	92
Seguimiento en vivo	92
<b>Sistema de carga de geo-cercas</b>	<b>93</b>
<b>Referencias</b>	<b>97</b>



# 1. Introducción

---

El rastreo, monitoreo o seguimiento vehicular, es una actividad en constante crecimiento. En nuestro país existen varias empresas que fabrican tacógrafos (Ful-Mar S.A. y Nivel Electrónica S.R.L. entre otras), que son dispositivos conectados al instrumental del auto que almacenan información como las velocidades alcanzadas, consumos de combustible, kilometraje y horas de actividad. Con las mejoras en la precisión de GPS (gracias a la eliminación de la disponibilidad selectiva [Xu, 2007]) y la llegada de GPRS en la década de 2000, se hizo viable la producción de tacógrafos que incluyan ambas tecnologías, permitiendo agregar a la información ya provista la localización geográfica del vehículo y brindando la capacidad de transmitir dicha información por medio de Internet. Gracias a estos avances tecnológicos, se hizo posible la creación de dispositivos AVL (Advanced Vehicle Location, localización avanzada de vehículos).

En este trabajo se propone la creación de un prototipo de sistema *web* de monitoreo satelital de vehículos para trabajar con los datos provistos por los dispositivos AVL descritos anteriormente. En este capítulo comenzaremos por explicar de manera básica cómo funcionan y para qué se utilizan los sistemas de información geográfica.

Un sistema de información geográfica (SIG) es básicamente un sistema de información y, como tal, realiza cuatro tareas básicas: entrada, almacenamiento, procesamiento y salida. Un SIG se compone de varias partes, siendo la información o datos geográficos una fundamental.

Una de las primeras tareas que se deben realizar para la construcción de un SIG consiste en la recolección y posterior entrada de datos. La particularidad de estos sistemas es que utilizan datos espaciales y, por lo tanto, esta tarea puede ser llevada a cabo por personas, por ejemplo, topógrafos que recolectan puntos geográficos de interés con teodolitos [Wikipedia, 2010a], o también por otros medios, como por ejemplo la utilización de la tecnología GPS para recolectar datos. Entre las principales ventajas de la utilización de dispositivos GPS para la recolección de datos, se encuentran su

facilidad de uso (no se requieren conocimientos de topografía) y el tamaño reducido del equipamiento. La principal desventaja respecto de un teodolito electrónico moderno es la diferencia de precisión, que analizaremos más adelante.

Los puntos recolectados pueden tener entonces diferentes niveles de precisión, de acuerdo a las necesidades de los usuarios. Si estuviéramos hablando de un sistema aplicado a la agricultura, estos puntos pueden tratarse de frutales en un campo, o en el caso de un sistema aplicado a la extracción de petróleo, dichos puntos podrían tratarse de estaciones de bombeo.

Otro método para la recolección de datos es la teledetección, que es una técnica de recolección de información desde una distancia determinada. Esta distancia puede variar entre cientos de metros y cientos de kilómetros, dependiendo de la tecnología utilizada. En un principio se utilizaban aerostatos, o incluso barriletes para tomar fotografías del terreno, con el propósito principal de generar mapas. Con la llegada de la aviación, se logró un mejor posicionamiento y control sobre las áreas a fotografiar. La fotografía aérea comenzó a utilizarse, entre otras cosas, con fines militares. A principios de 1860, se utilizó en la guerra civil estadounidense para el análisis de las defensas de los estados del sur. [Aronoff, 1991].

En la actualidad los satélites son una fuente muy importante de datos geográficos, siendo menos necesaria la intervención humana en la recolección. Existen satélites modernos (como los Landsat) que son capaces de tomar fotografías multi-espectrales, las cuales permiten un análisis más exacto en ciertas circunstancias. Las fotografías multi-espectrales contienen datos que se encuentran a longitudes de onda específicas del espectro electromagnético (en algunos casos no visibles por el ojo humano) permitiendo visualizar más fácilmente ciertas características, como vegetación, incendios forestales y diferencias térmicas entre distintas zonas [Campbell, 2007].

Los sistemas de teledetección por medio de satélites, permiten actualmente una visión repetitiva y consistente de la tierra, que permite el monitoreo de cambios a corto y largo plazo y el impacto de las actividades humanas. Actualmente, resulta imprescindible para el monitoreo de los cambios climáticos, especialmente para tener un mejor entendimiento de fenómenos como el calentamiento global, las deforestaciones y

sus consecuencias. Las imágenes satelitales son muy utilizadas en la agricultura, para predecir rendimientos y analizar la erosión de los suelos. Otras actividades incluyen la exploración de recursos renovables y no renovables, predicción del clima y mapeo para topografía e ingeniería civil [Schowengerdt, 2007].

A pesar de los avances en la tecnología, la adquisición y entrada de datos siguen siendo procesos lentos y costosos en la construcción de sistemas de información geográfica [Aronoff, 1991][Sha, 2010].

Una vez obtenida la información, es necesario su almacenamiento. Un sistema moderno se vale de computadoras que pueden albergar grandes cantidades de datos de varios tipos, por lo cual es muy importante su organización. Los sistemas relacionales de administración de bases de datos son la solución más utilizada para el almacenamiento organizado de información geográfica. Algunos de estos sistemas disponen de estructuras de datos especiales para el almacenamiento de datos geográficos vectoriales (puntos, líneas y polígonos), así como funciones para su procesamiento y análisis. De no poseer estas estructuras de datos, se pueden utilizar tipos de datos básicos, como enteros, reales y cadenas de caracteres para crear estructuras personalizadas, pero las funciones para el análisis de los datos también deberán ser creadas o adaptadas para utilizarlos.

La información almacenada es analizada para obtener diferentes resultados. A mayor información, mayor el tiempo requerido para procesar y diferenciar los datos relevantes para una investigación o análisis. Algunas de las bases de datos de información geográfica actuales, ocupan varios terabytes de almacenamiento. Para procesar información tan vasta, es necesario un gran poder de cómputo, lo cual no es un obstáculo para los procesadores actuales, que tienen una amplia capacidad de cálculo, pudiendo hacer millones de operaciones por segundo. Sin embargo, por más rápidos que sean los procesadores, los sistemas informáticos de hoy en día tienen un cuello de botella en los medios de almacenamiento masivo. Los discos rígidos magnéticos son el medio de almacenamiento masivo más utilizado, existen en diferentes capacidades y velocidades, pero aún los más veloces son muy lentos comparados con las memorias de acceso aleatorio. Las cintas magnéticas y discos ópticos, son otros ejemplos de medios



de almacenamiento baratos y lentos, generalmente utilizados para copias de seguridad [Stallings, 2009]. Actualmente se están comenzando a utilizar unidades de almacenamiento *flash*, las cuales son más rápidas que los populares discos magnéticos, tanto para la lectura como para la escritura, con la desventaja de tener menor capacidad y ser más caras. Los sistemas de administración de bases de datos (DBMS por sus siglas en inglés) optimizan el costo de cada consulta analizando la información pertinente, disminuyendo las lecturas de disco que son muy costosas.

Cuando sabemos lo que buscamos, el DBMS puede consultar índices para buscar lo que nosotros queremos y hacerlo de manera eficiente, pero esta no es la única forma de analizar la información. Un aspecto muy interesante y en constante desarrollo de las bases de datos relacionales, es la minería de datos, o *data mining*. «La minería de datos es particularmente importante para la información geo-espacial porque este tipo de información es típicamente voluminosa y una rica fuente de patrones» [Worboys, 2004]. La minería de datos no es lo mismo que una consulta a una base de datos, en la cual sabemos de antemano qué datos estamos buscando. Los resultados pueden ser inesperados, ya que se aplican algoritmos que buscan patrones y reglas de asociación sobre grandes volúmenes de datos [Worboys, 2004].

Por último, una vez que disponemos de datos geográficos que han sido almacenados, y que luego de una consulta han sido recuperados, es necesario mostrar el resultado. El resultado debe ser presentado de una manera legible y fácil de entender y utilizar por un ser humano. Supongamos que queremos información acerca de volcanes en la Patagonia. Una simple consulta podría retornar la cantidad, pero es posible que pida también la ubicación de dichos volcanes y datos extras para uso posterior (como altura, actividad reciente, etc.). El sistema debe mostrar la información de cada volcán de una manera acorde a la utilización que se le dará. Por ejemplo, si el sistema está orientado al estudio geológico o topográfico, quizá sea suficiente retornar la latitud y longitud de cada volcán (además de los datos geológicos y topográficos asociados) en una lista. Esta información que puede ser útil para un profesional o para un aficionado a GPS, puede no serlo para un turista, a quien le sería más útil recibir información acerca de las ciudades aledañas, excursiones, temporadas, hoteles, además de fotografías. Otro ejemplo sería un profesor de geografía, a quien se le podría mostrar la ubicación de los

volcanes plasmada en un mapa físico y/o político.

En conclusión, un sistema de información geográfica proporciona las herramientas para el análisis de la información geográfica de la cual dispone, valiéndose de la gran capacidad de procesamiento y almacenamiento de las computadoras modernas, los sistemas de gestión de bases de datos y la gran variedad de formas de presentar resultados al usuario. Los SIG son herramientas de gran ayuda para guiar a los usuarios en la toma de decisiones [Nyerges, 2010].

Esta tesis está estructurada de la siguiente manera: en el capítulo 2 se presentan los conceptos básicos de los Sistemas de Información Geográfica. El capítulo 3 reseña lo referente a la administración y análisis de la información espacial, y describe cómo funcionan estos sistemas en Internet. En el capítulo 4 se presentan los conceptos principales de los sistemas de localización de vehículos y el desarrollo propuesto en esta tesis. Finalmente en el capítulo 5 se presenta la conclusión del trabajo.

## 2. Conceptos básicos sobre Sistemas de Información Geográfica

---

### 2.1 Los inicios de SIG

Cuando no existían las computadoras, la única forma de almacenar la información geográfica era en papel, mediante la escritura y la confección de mapas. Se puede apreciar un ejemplo de los inicios del uso de SIG en el mapa realizado por el doctor John Snow en la figura 1. El mapa muestra a simple vista que la mayor cantidad de muertes por cólera en el distrito de Soho en Londres, se dieron en las cercanías de una bomba de agua situada en la calle Broad [Vinter-Johansen, 2003]. John Snow es considerado el padre de la epidemiología, disciplina que actualmente tiene numerosas ramas, entre las cuales se encuentra la epidemiología espacial, que investiga la distribución espacial de las enfermedades valiéndose en la actualidad de SIG para realizar análisis estadísticos complejos [Friis, 2009].

El primer sistema de información geográfica fue creado en Canadá y llamado CGIS (Canada Geographic Information System). Su creador, Roger Tomlinson, es considerado el padre de SIG, e incluso el responsable de acuñar el término “Sistema de Información Geográfica”. Este sistema comenzó en 1962 por una necesidad del departamento de ingeniería forestal y desarrollo rural, que creó el Inventario de Tierras de Canadá. El principal motivo de CGIS fue el de almacenar y analizar información sobre la utilización de los suelos y la capacidad de estos para actividades como la forestación, agricultura y recreación [Coppock, 1991].

Mucho tiempo después, a principios de los 90, CGIS dejó de ser utilizado por diferentes razones, hasta que se comenzó con la transferencia de los datos de viejas cintas magnéticas a formatos modernos, lo que eventualmente llevó a la publicación gratuita de los datos en la *web*, debido a la gran demanda por parte de una variedad de organizaciones. CGIS durante sus más de 20 años de funcionamiento, proveyó de datos y análisis a entidades nacionales, provinciales y municipales, además de organizaciones internacionales como la Food and Agriculture Organization (organización de agricultura

y alimentos) [Aronoff, 1991].



**Figura 1: Mapa del cólera de John Snow**

**Detalle sacado del mapa del doctor John Snow del brote de Golden Square. La línea punteada del mapa original que denotaba equidistancia entre la bomba de la calle Broad y la bomba alternativa más cercana para el suministro de agua, fue cambiada por una línea sólida para mayor claridad. La bomba (en el mapa, PUMP) está situada en la calle Broad, las líneas negras indican las muertes por cólera.**

CGIS comenzó la revolución de SIG, pero en el momento en que era utilizado, e incluso años más tarde, pocas personas en el mundo tenían acceso a esta tecnología. En esos tiempos los sistemas se ejecutaban en grandes *mainframes*, accedidos mediante terminales. Estos equipamientos ocupaban mucho espacio y eran muy costosos. Con la llegada de la computadora personal y el GPS, los sistemas de información geográfica comenzaron a ser más populares y masivos. Las aplicaciones CAD (siglas de *computer-*

*aided design*, diseño asistido por computadora) no solo asistían a ingenieros y arquitectos, sino también a topógrafos en la confección de mapas geo-referenciados. En la actualidad las aplicaciones CAD son una herramienta muy útil para la creación, corrección y ampliación de la información geográfica. GRASS fue de las primeras herramientas SIG de uso gratuito, con la capacidad para la lectura y análisis de información vectorial y *raster* [Elangovan, 2006] en múltiples formatos de archivo y bases de datos.

Cuando se comenzó a crear CGIS no se disponía de estas facilidades. No fue sino hasta principios de los 80 que llegó la computadora personal, y mediados de los 90 que GPS llegó a ser completamente operacional. Con estas dos importantes tecnologías y la disponibilidad de múltiples herramientas *software*, la utilización de SIG creció ampliamente. En la actualidad la recolección de datos geográficos es una tarea mucho más sencilla. Con un dispositivo GPS se puede recolectar información geográfica con un margen de error promedio de 15 metros [Hinch, 2007], con la condición de estar situado en el lugar a relevar. Pero si queremos obtener información geográfica de lugares remotos, existe la posibilidad de hacer el relevamiento por medio de aplicaciones *web* o de escritorio que nos permiten extraer latitudes y longitudes de mapas satelitales, un gran ejemplo de estas aplicaciones son Google Earth y Google Maps [Peterson 2008]. Por último, es posible que la información que se requiere ya haya sido obtenida por proyectos colaborativos en la *web*, como Open Street Map<sup>1</sup>, que provee información vectorial gratuita de todo el mundo.

La gran revolución en el uso de sistemas de información geográfica comenzó con las aplicaciones *web* de mapas. Uno de los primeros proyectos fue Terraserver<sup>2</sup>, de la mano de Microsoft, el cual contenía imágenes satelitales en blanco y negro. Con la llegada de la banda ancha y la evolución de las aplicaciones *web*, sistemas básicos que solamente mostraban imágenes satelitales, se convirtieron en sistemas de información geográfica que hoy en día permiten buscar ciudades, calles y hasta comercios en casi cualquier lugar del mundo.

---

<sup>1</sup> <http://www.openstreetmap.org>

<sup>2</sup> <http://www.terraserver.com/company.asp>

Google Maps es un ejemplo de este tipo de aplicaciones, que a medida que se fue desarrollando agregó funcionalidades como la vinculación de puntos geográficos de interés con artículos de Wikipedia [O'Sullivan 2009], fotografías e información de una variedad de sitios. Al día de hoy, Google Maps es una aplicación SIG de acceso gratuito, a la cual se le puede consultar cómo llegar de un sitio a otro, pudiendo obtener no solo el camino más corto, sino información relacionada al lugar de arribo, como hoteles y restaurantes. Pero Google Maps no es solo un SIG, sino que también es una plataforma para el desarrollo de aplicaciones *web*, como veremos más adelante.

En la actualidad los SIG son utilizados como herramientas en una gran variedad de ciencias y áreas de investigación. Por empezar, CGIS fue de gran utilidad para el relevamiento de suelos en Canadá, ayudando en la planificación urbana, rural y forestal. Antes de eso, el doctor John Snow en el siglo XIX fundó la epidemiología con su mapa del cólera, hoy en día los epidemiólogos utilizan la misma técnica, pero ayudados por computadoras. Pero eso no es todo, los SIG se utilizan en la protección del ambiente, administración de recursos hídricos, planeamiento urbano y de transporte. También son utilizados en la ingeniería civil, geología, planeamiento de emergencias, tratamiento de desastres naturales y para fines militares, entre otras cosas. La arqueología se vale de estos sistemas para la administración de datos regionales y tele-detectados, análisis ambiental regional, simulación y modelado de locación [Aldenderfer, 1996]. La forestación se hace más fácil, al poder inventariar y monitorear la edad de los árboles y su estado, monitoreo de deforestación y forestación.

Por último, una aplicación muy popular y de mucha utilidad en nuestro país es en la agricultura. La teledetección actualmente provee imágenes satelitales que permiten un rápido análisis para obtener información acerca de los suelos, los rendimientos y la salud de las cosechas, pero no son la única fuente de información para los sistemas de información geográfica. Las máquinas sembradoras y cosechadoras modernas están equipadas con dispositivos GPS que no sólo sirven para referencia del operario, sino también para determinar las distintas áreas de una plantación y las cantidades cosechadas en cada una de ellas para un análisis posterior. Todos los datos se trasladan a sistemas de información geográfica para analizar necesidades de agua, monitorear plagas y estimar rendimientos. Esto permite un análisis de los suelos, y produce

información sobre su estado y su fertilidad que es almacenada en una base de datos. De esta manera, los tractores que poseen la tecnología necesaria pueden basarse en la información almacenada para depositar mayores cantidades de fertilizante en las zonas más áridas y menores cantidades en las zonas fértiles en la siguiente siembra. La combinación de estas tecnologías, permite un gran control sobre las siembras y cosechas, haciendo más eficientes cada uno de los procesos [Elangovan, 2006].

## 2.2 Información geográfica

Cuando miramos un mapa, estamos viendo información geográfica representada gráficamente. Sobre un mapa podemos ver dibujados grupos de líneas, puntos y áreas cuyas posiciones podemos interpretar a partir del sistema de coordenadas utilizado. Estas posiciones son los datos espaciales, los datos que nos permiten conocer la ubicación de estos objetos sobre la superficie terrestre. Estos datos están acompañados de otros, los no espaciales, los cuales nos describen los atributos de esas posiciones. Por ejemplo, en un mapa a gran escala donde las ciudades están representadas por puntos, cada punto suele estar acompañado por el nombre de dicha ciudad y, dependiendo del tipo de mapa, también pueden encontrarse datos como la población o la densidad demográfica de cada región [Aronoff, 1991]. La información no espacial es similar a los metadatos (información acerca de los datos). Por ejemplo, en la mayoría de las cámaras fotográficas digitales, cada foto es una matriz de puntos de colores almacenados en una tarjeta de memoria, pero además de las fotografías, las cámaras almacenan datos acerca de ellas, como zoom, ISO, apertura focal y velocidad de obturación. Entonces, 34° 55' 17" de latitud Sur, 57° 57' 17" de longitud Oeste y 26 metros sobre el nivel del mar, es un dato espacial, "Ciudad de La Plata" es información acerca del dato espacial.

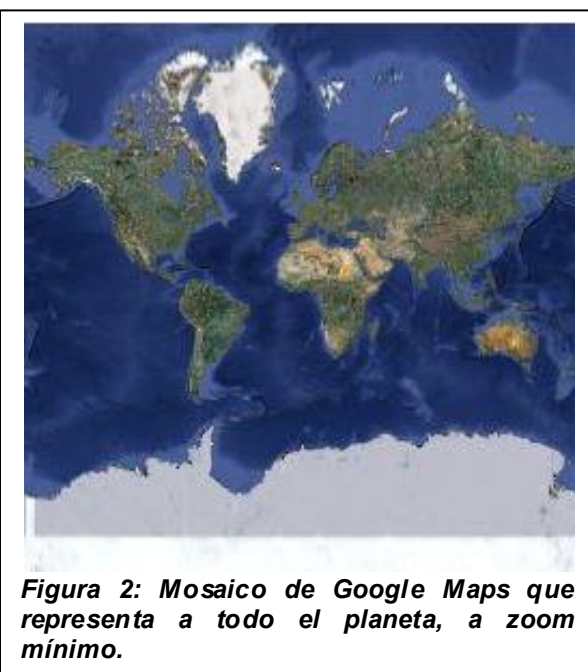
La información espacial puede provenir de diferentes fuentes, como dispositivos GPS, teodolitos, imágenes satelitales o mapas digitalizados, entre otros. Sin importar la fuente de los datos, toda la información termina almacenada de manera digital, comúnmente en discos rígidos magnéticos o las modernas unidades de memoria *flash*. Pero las distintas fuentes de datos que nombramos previamente, proveen información espacial de distinta naturaleza. Los datos recopilados con un GPS o un teodolito, son datos vectoriales, mientras que las imágenes satelitales y los mapas digitalizados son

datos *raster*.

Los datos vectoriales, son coordenadas que representan puntos, líneas y polígonos. Cada tipo de dato vectorial está diseñado para distintos fines dependiendo del nivel de exactitud requerido. Por ejemplo, en un mapa a gran escala de un país, las ciudades pueden representarse por medio de puntos; los ríos, rutas y vías ferroviarias, por medio de líneas y las provincias y lagos, por medio de polígonos.

Si la zona a representar fuera de menor extensión, por ejemplo, un departamento de provincia, las ciudades podrían representarse con polígonos, para detallar con mayor exactitud sus límites. Si se tratara de un sistema destinado al estudio de recursos hídricos, quizás sea preferible representar a los ríos con polígonos en lugar de líneas, ya que los cursos de agua, a diferencia de las rutas, suelen ser irregulares en su forma. Los sistemas de bases de datos modernos, como Oracle<sup>3</sup> (junto con Oracle Spatial) y PostgreSQL<sup>4</sup> (junto con PostGIS), proveen los tipos de datos punto, línea y polígono para el almacenamiento de los datos. Además existe una gran variedad de formatos de archivo para datos vectoriales, como por ejemplo KML y Shape file<sup>5</sup> [Aronoff, 1991]

[Mitchell, 2005].



Los datos *raster* son imágenes representadas por píxeles, en las cuales cada píxel encuadra un área determinada. La localización de cada celda o píxel, está dada por su número de fila y columna. La ventaja de este formato es que las celdas pueden ser fácilmente manejadas como un arreglo numérico por los lenguajes de programación más comunes. Cada celda en una capa *raster* tiene asignado un

solo valor, entonces diferentes atributos se almacenan en capas separadas.

<sup>3</sup> <http://www.oracle.com/us/products/database/index.html>

<sup>4</sup> <http://www.postgresql.org>

<sup>5</sup> <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>



Un claro ejemplo de información *raster*, es la base de datos de imágenes satelitales de Google Maps. Para cada nivel de zoom, se tienen múltiples mosaicos cuadrados de 256 píxeles de lado, cada uno encerrando latitudes y longitudes únicas. La información *raster* debe tener referencia geográfica para ser de utilidad, Google Maps utiliza un método de división por mosaicos, cada uno perteneciente a una zona del planeta. Pero existen formatos de imagen que permiten almacenar la referencia geográfica dentro de la imagen misma, como por ejemplo GeoTIFF.

Tiff es un formato contenedor de imágenes con metadatos, GeoTiff es una extensión del mismo para agregar información acerca de la localización de la imagen, además del tipo de sistema de coordenadas, sistema de referencia geodésico y proyección utilizados; aspectos que describiremos más adelante [Gao, 2009]. Las imágenes también pueden ser almacenadas directamente en una base de datos como *blobs* (*binary large objects*, objetos binarios grandes), la gran ventaja de esto es que se puede almacenar la información vectorial y la información *raster* en la misma base de datos, lo cual nos permite leer información variada de manera rápida y unificada. La información *raster* puede también ser almacenada en archivos independientes, referenciados dentro de la base de datos.

Como dijimos en el párrafo anterior, una imagen *raster* con referencia geográfica, tiene asociados varios datos. Principalmente la ubicación del área que la imagen encierra, sin lo cual no nos sirve de mucho, pero también es necesario incluir el sistema de coordenadas junto con el sistema de referencia geodésico en el cual está basado y el tipo de proyección que se utilizó para la creación de la imagen, características que procederemos a describir.

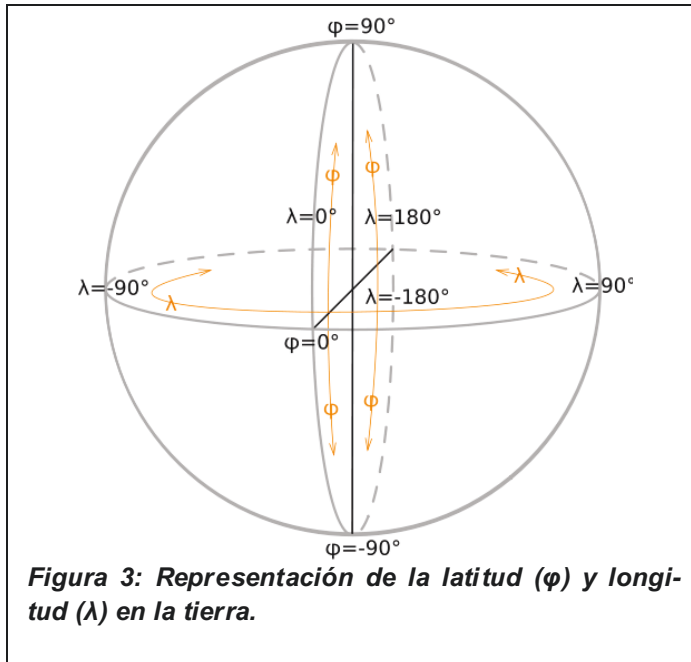
### 2.2.1 Sistema de coordenadas

El sistema de coordenadas geográfico más común es el sistema que se vale de latitud y longitud para ubicar un punto en la tierra. En la figura 3 [Wikipedia, 2010b] se muestra la latitud representada por la letra  $\phi$ . Un punto en la superficie de la tierra se ubica a  $n$  grados de latitud norte o sur, siendo la latitud el ángulo formado por la línea del ecuador y la línea imaginaria que une al punto con el centro de la tierra. La longitud está representada por la letra  $\lambda$ . Un punto en la superficie de la tierra se ubica a  $n$  grados

de longitud este u oeste, siendo la longitud el ángulo formado por la línea del meridiano de Greenwich y la línea imaginaria que une al punto con el centro de la tierra.

### 2.2.2 Sistemas de referencia geodésicos

Existen diferentes sistemas de referencia geodésicos que son la base del sistema



de coordenadas geográfico. La tierra tiene forma casi esférica, pero no es una esfera perfecta. Considerar a la tierra una esfera perfecta, sería la base de un sistema geodésico, aunque uno muy impreciso. Si midiéramos latitudes, longitudes y alturas de puntos sobre la tierra basándonos en una esfera, obtendríamos resultados muy alejados de la realidad. Para obtener resultados precisos, es

necesario aproximar la forma de la tierra a la de un elipsoide. Para distintas regiones del mundo, existen diferentes elipsoides que se adaptan mejor a ellas. Un sistema de referencia geodésico determina un elipsoide que se adapte mejor a una zona determinada (o todo el planeta), un punto de origen de los ejes de coordenadas y la dirección de estos en relación a la tierra, entre otras cosas. Una misma coordenada puede indicar ubicaciones distintas dependiendo del sistema de referencia utilizado.

El sistema de referencia más utilizado es el WGS 84 (world geodetic system 1984, sistema geodésico mundial), en parte gracias a la adopción de éste por el sistema GPS, utilizado globalmente [Bossler, 2002]. Es importante entonces, tener en cuenta que las coordenadas adquiridas por medio de GPS utilizan este sistema. El elipsoide y los ejes cartesianos determinados por este sistema son geocéntricos, es decir que tienen origen en el centro de la tierra, por lo cual, este sistema de referencia es utilizable globalmente con algunas limitaciones. WGS 84 no debería ser utilizado al Norte de la latitud  $80^\circ$  ni al Sur de la latitud  $79^\circ 30'$ , ya que estas áreas tienen demasiadas anomalías

y deberían ser representadas con otros tipos de sistemas geodésicos [Loweth, 1997].

### **2.2.2.3 Sistemas de referencia geodésicos en nuestro país**

Los sistemas geodésicos comenzaron en la Argentina cubriendo extensiones menores a la del territorio nacional. Sistemas como 25 de mayo, que cubría la provincia de San Juan, Castelli para la provincia de Buenos Aires, Pampa del Castillo para Chubut y Santa Cruz, entre otros. El primer sistema geodésico a nivel nacional fue “Campo Inchauspe”, el cual tuvo su origen en un punto del país cercano a Pehuajó en la década del 40. Alrededor de este punto comenzaron los trabajos de triangulación, cuyas coordenadas resultantes se conocieron como Campo Inchauspe 1954. Los trabajos continuaron y 15 años más tarde se creó un nuevo sistema llamado Campo Inchauspe 1969. Las observaciones obtenidas para Campo Inchauspe participaron del proyecto geodésico continental conocido como Datum Sudamericano de 1969 (SAD 69), cuyo objetivo fue el de integrar todas las redes geodésicas de Sudamérica para el desarrollo de un sistema geodésico unificado [IGN, 1999].

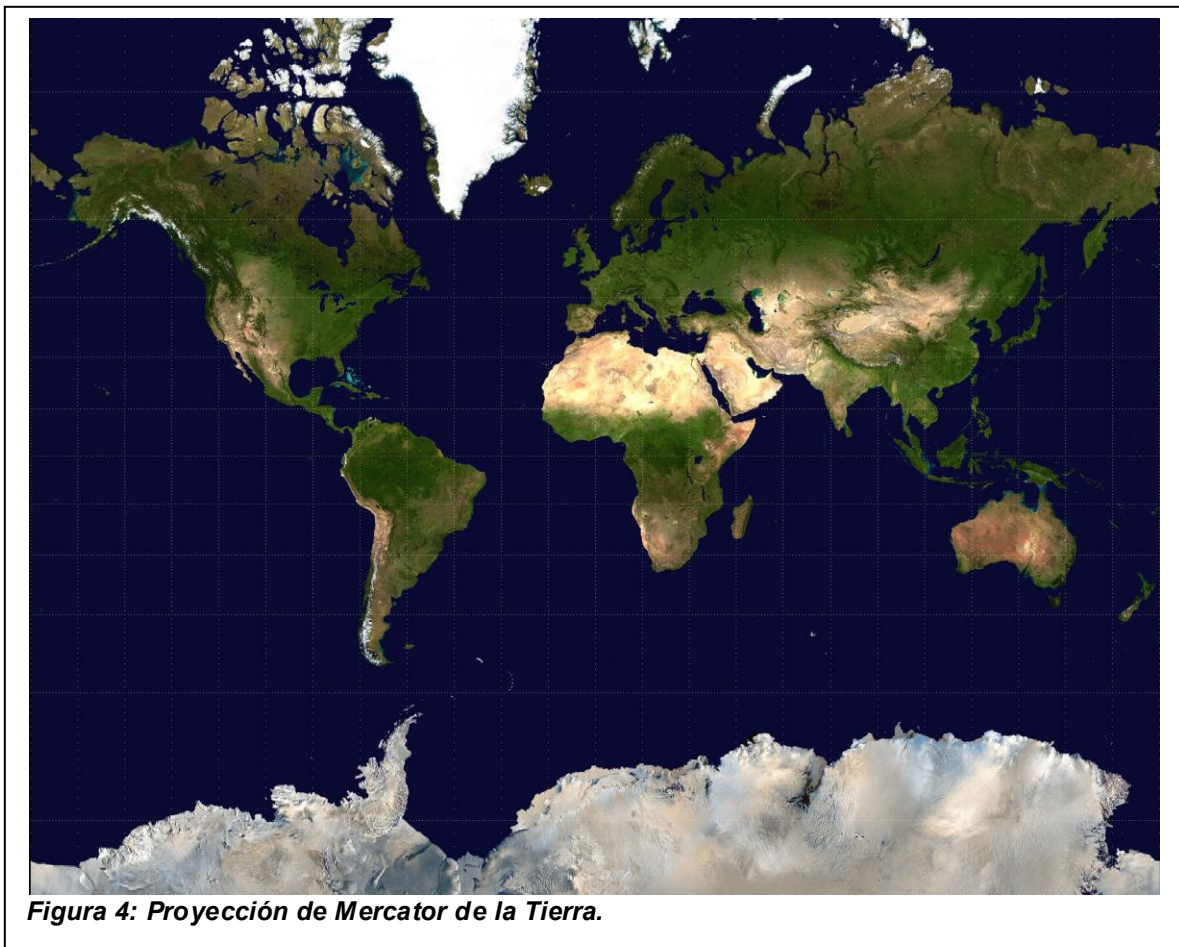
A principios de la década del 90, profesionales de la Universidad Nacional de La Plata y del Instituto Geográfico Militar comenzaron a desarrollar un nuevo sistema de referencia geodésico, el sistema POSGAR. Se realizaron tres campañas de medición entre 1993 y 1994 que terminaron dando lugar al sistema POSGAR 94. Mediante pruebas realizadas por el proyecto SIRGAS (Sistema de referencia geocéntrico para América del Sur), se comprobó que la precisión de POSGAR 94 era mejor que un metro. En mayo de 1997, POSGAR 94 fue adoptado por el Instituto Geográfico Militar como sistema de referencia nacional. Tiempo más tarde se realizaron nuevos cálculos de la red POSGAR para su integración al sistema SIRGAS, lo cual dio lugar a POSGAR 98 [IGN, 1999].

Actualmente, POSGAR 07 ha sido adoptado como el nuevo marco de referencia geodésico nacional, por disposición del director del Instituto Geográfico Nacional el 15 de mayo de 2009, reemplazando a POSGAR 98. POSGAR 07 responde a los más estrictos estándares de precisión y ajuste en vigencia e incorpora las más importantes redes geodésicas en uso, asegurando una georreferenciación unívoca en todo el territorio nacional [IGN, 2011].

### 2.2.3 Proyección cartográfica

Las proyecciones cartográficas sugieren distintos métodos para representar la superficie curva de la tierra sobre una superficie plana, principalmente para la creación de mapas. Existen diferentes proyecciones, orientadas a distintos usos. Cada una respeta ciertas propiedades, pero todas introducen cierta distorsión en los datos mostrados. Las proyecciones pueden ser conformes, equivalentes o equidistantes.

Las proyecciones conformes son aquellas que conservan la forma y los ángulos, el ejemplo más popular es la proyección de Mercator, ideada por Gerardus Mercator en 1569. Esta proyección tiene distorsiones claras cerca de los polos, haciendo parecer que la Antártida es el continente más grande y Groenlandia más grande que Sudamérica, como se puede apreciar en la figura 4 [Wikipedia, 2010c].



**Figura 4: Proyección de Mercator de la Tierra.**

Las proyecciones equivalentes son aquellas que conservan la superficie de las zonas mostradas. Para hacerlo, la forma, la escala y los ángulos se distorsionan.

Las proyecciones equidistantes son aquellas que preservan las distancias entre ciertos puntos. Las distancias no se mantienen correctamente a lo largo de todo el mapa, esto no lo logra ninguna proyección, pero hay una o más líneas, en los mapas con proyecciones de este tipo, a lo largo de las cuales la escala se mantiene [Pearson, 1990].

#### **2.2.4 Sistema de posicionamiento global (GPS)**

El sistema de posicionamiento global GPS es en la actualidad una herramienta muy importante para cualquier disciplina o ciencia que se valga de coordenadas geográficas de rápida obtención. GPS es utilizado profesionalmente para topografía, cartografía, ingeniería y hasta arquitectura, además de ser una fuente vital de información para los SIG modernos. Pero su utilización no es solamente profesional, hoy en día existen celulares que incluyen funcionalidad GPS y permiten a sus dueños obtener información sobre su posición fácilmente, e incluso complementar la información espacial obtenida con datos descargados de Internet.

GPS es un sistema basado en tecnología satelital. La metodología de posicionamiento se basa en la medición de las distancias entre el receptor y al menos 3 satélites observados simultáneamente para lograr coordenadas en tres dimensiones (latitud, longitud y altura). A medida que se cambia de posición, se puede calcular la velocidad y el rumbo, lo cual resulta de extrema utilidad en la navegación aérea, donde el rumbo magnético determinado por una brújula puede estar desviado varios grados del rumbo real debido al viento.

La constelación GPS consta de 24 satélites en 6 planos orbitales. Cada plano orbital es recorrido por 4 satélites en 12 horas. Los satélites son monitoreados por bases terrestres, las cuales ajustan los relojes atómicos instalados en ellos. Los receptores GPS poseen información acerca de la localización de los satélites a cada momento, con eso y un cálculo sobre la distorsión *doppler*, se puede calcular la ubicación del receptor [Xu, 2007].

Cuando se comenzaron a comercializar los primeros dispositivos GPS de uso civil, el departamento de defensa de los Estados Unidos consideraba a esta tecnología un arma peligrosa en las manos equivocadas. Es por eso que en un principio existía la disponibilidad selectiva, que consistía en la degradación de la señal satelital utilizada

por los GPS comerciales de manera tal que el uso militar no sufriera repercusiones. En el año 2000 la disponibilidad selectiva se desactivó y los GPS comerciales pasaron de tener una precisión de unos 100 metros a los 15 de promedio de la actualidad. Esto no significa que de un momento a otro se equipararon con los GPS militares de alta precisión, que utilizan una señal diferencial que permite eliminar los errores producidos por la ionosfera [Hinch, 2007].

Existen aplicaciones que necesitan una precisión con un margen de error menor a los 15 metros. Es por eso que surgieron soluciones alternativas complementarias a GPS para lograr una mayor exactitud en el posicionamiento. La guardia costera de los Estados Unidos ideó DGPS (GPS diferencial), que consiste en 60 estaciones terrestres a lo largo y a lo ancho del país cuyas posiciones fueron determinadas con un alto nivel de precisión. Cada estación posee un GPS con el cual posiciona constantemente y, comparando la posición establecida por GPS con la posición conocida de la estación, se determinan y transmiten factores de corrección que algunos receptores pueden utilizar para mejorar su exactitud. La desventaja es que se necesita un dispositivo extra conectado al receptor GPS para beneficiarse de esta precisión [Hinch, 2007].

Otra tecnología complementaria para aumentar la precisión de los receptores es SBAS (Satellite Based Augmentation System, Sistema de aumento basado en satélites). Existen diferentes implementaciones de este tipo de tecnología, en los Estados Unidos se la denomina WAAS (Wide Area Augmentation System, Sistema de aumento de área amplia) y consiste en 25 estaciones terrestres y varios satélites en órbitas geoestacionarias de gran altura sobre el ecuador. La principal diferencia con DGPS es la presencia de satélites geoestacionarios. Las estaciones terrestres determinan el error de la señal GPS, pero en lugar de transmitir los valores de corrección directamente a los dispositivos, lo hacen a los satélites, que son finalmente los encargados de hacer llegar la señal a los receptores GPS. La principal ventaja es que existen dispositivos GPS que pueden recibir las señales WAAS sin equipamiento extra. Existen sistemas equivalentes en Europa (EGNOS) y en Japón (MSAS) [Hinch, 2007].

GPS no es la única constelación de satélites para posicionamiento global. Rusia comenzó su propio proyecto en 1982, cuando puso su primer satélite de

posicionamiento en órbita. GLONASS<sup>6</sup> (global navigation satellite system, sistema satelital de navegación global) es un sistema comparable a GPS, ya que ambos comparten los mismos principios en cuanto a la transmisión de datos y métodos de posicionamiento. La Unión Europea comenzó su propio proyecto en 2005 con el lanzamiento del primer satélite del sistema Galileo<sup>7</sup>, pero éste sistema todavía no es operacional, al igual que el sistema chino COMPASS<sup>8</sup>. La gran promesa en el avance de la tecnología de posicionamiento global es el desarrollo conjunto de todos los sistemas, lo cual otorgaría una constelación de 75 satélites que incrementarían la visibilidad, sobre todo en zonas de mucha edificación. Las tres tecnologías utilizan el tiempo UTC (Coordinated Universal Time, tiempo universal coordinado) y el mismo sistema de coordenadas (latitud y longitud) [Xu, 2007].

---

<sup>6</sup> <http://new.glonass-iac.ru/en/>

<sup>7</sup> <http://www.galileo.ic.org/>

<sup>8</sup> <http://www.insidegnss.com/aboutcompass>

## 3. Administración y análisis de la información geográfica

---

### 3.1 Introducción

Un sistema de información geográfica tiene varias componentes que cumplen tareas diferentes relacionadas a la información geográfica. Los SIG modernos comprenden un conjunto de componentes *software* de tres tipos básicos: un sistema de administración de datos, para controlar el acceso a estos; un sistema de mapeo para mostrar e interactuar con mapas y otras visualizaciones geográficas; y un sistema de análisis espacial y modelado para transformar datos geográficos utilizando operadores [Longley, 2005].

En la actualidad existe una gran variedad de herramientas que permiten llevar a cabo estas tareas o que proveen los cimientos para el desarrollo de las aplicaciones que finalmente conformarán un SIG.

La información geográfica es la pieza fundamental de todo SIG y se puede obtener de muchas formas. Es posible relevar las zonas de interés y generar nuestros propios datos, o directamente utilizar información recolectada por otras personas. Existen empresas que se dedican a vender información geográfica (como GenMap<sup>9</sup> y DataMap<sup>10</sup> en Argentina), tanto vectorial como *raster* y también existen comunidades que se valen de datos reunidos por aficionados, como Open Street Map y Proyecto Mapear, entre otras.

Una de las principales decisiones a tomar cuando se está diseñando un SIG, es cómo se administrará la información geográfica. Es importante generar un modelo de datos que cubra todas nuestras necesidades, convenientemente utilizando un formato unificado de almacenamiento.

Una vez establecido el modelo de datos, es necesario elegir las herramientas con

---

<sup>9</sup> <http://www.genmap.com.ar>

<sup>10</sup> <http://www.datamap.com.ar>



las cuales analizaremos nuestra información o con las cuales desarrollaremos nuestras propias aplicaciones para ese fin. Estas herramientas nos proveen de funciones básicas para trabajar con datos de todo tipo y mostrar resultados gráficamente.

Algunas de las herramientas elegidas para la creación del sistema de monitoreo satelital de vehículos propuesto en este trabajo incluyen el sistema de gestión de bases de datos (en adelante SGBD) PostgreSQL, su extensión PostGIS para el análisis de información geográfica y el servidor de mapas MapServer<sup>11</sup> junto con Google Maps.

## **3.2 Base de datos**

En la actualidad, la información forma parte de los bienes más valiosos de muchas organizaciones. La calidad de los datos y la rapidez en el acceso es fundamental para un correcto desempeño, lo cual requiere que las bases de datos sean administradas cuidadosa y eficientemente. El éxito de un sistema de información geográfica depende en gran medida de la administración de los datos espaciales, y es necesario tener en cuenta varios aspectos a la hora de crear una base de datos, los cuales trataremos a continuación.

### **3.2.1 Modelo de datos**

La generación de un modelo de datos es un paso importante previo a la recolección de los mismos. Es necesario saber primero qué datos se necesitan obtener antes de comenzar el desarrollo de un SIG.

A partir de los problemas que se deben resolver se crea un modelo de datos que representa objetos del mundo real. Por ejemplo, para resolver el problema del rastreo vehicular es necesario tener referencias fáciles de entender para conocer de manera sencilla la ubicación de un automóvil. En este caso es muy importante poseer una base de datos de ciudades y calles, y si la zona de rastreo comprende múltiples yacimientos petrolíferos se necesitarán los pozos, estaciones compresoras, bases, caminos internos y los diferentes yacimientos propiamente delimitados, de manera tal que el usuario del sistema pueda saber rápidamente dónde está su vehículo o dónde ocurrió un exceso de

---

<sup>11</sup> <http://www.mapserver.org>

velocidad o frenada brusca. No sería de mucha utilidad conocer la población, densidad y nivel de desempleo de las ciudades para una aplicación de este tipo, dichos datos no aportarían a la utilidad del sistema [Aronoff, 1991].

Pero si la utilización del SIG se fuera a extender a otras áreas, es probable que se deba tener en cuenta otra información al momento del modelado de datos. En todo sistema resulta muy costoso, en términos de tiempo, volver a la etapa de modelado estando en instancias avanzadas de desarrollo, por esto es de gran importancia hacer un modelo de datos sólido que contemple todas las situaciones de uso y las posibles consultas necesarias para un análisis útil de la información.

Un modelo de datos debe también contemplar el tipo de los datos a utilizar para la representación de los objetos necesarios. Existen tipos de datos básicos, para almacenar número enteros, decimales y cadenas de caracteres, entre otras cosas. Algunos formatos para el almacenamiento de datos geográficos poseen estructuras especialmente diseñadas para la información vectorial, como puntos, líneas y polígonos, y para la información *raster*.

### **3.2.2 Formatos de almacenamiento de datos geográficos**

El almacenamiento de los datos geográficos se puede hacer en archivos, comúnmente en discos rígidos. Existen varios formatos de archivo estándar para el almacenamiento de información espacial. Dichos formatos proveen estructuras diferentes para representar objetos reales, como por ejemplo, calles y ciudades. Un desarrollador tiene también la posibilidad de crear su propio formato de manera tal de almacenar la información de la manera que crea más conveniente.

Pero el procesamiento de archivos conlleva varias complicaciones, ya que los programas que acceden a los datos deben contener la lógica de almacenamiento. Si los archivos son compartidos por varios programas y usuarios, debería haber un control sobre quiénes pueden accederlos y qué modificaciones pueden hacer. La falta de control puede degradar la integridad de los datos, algo muy grave teniendo en cuenta que la integridad es crítica. La información de calidad impredecible puede ser peor que no tener información. En todos los casos los programas deben tener incluida la lógica de lectura y escritura de los archivos de datos elegidos, lo cual hace más complejo el

desarrollo [Aronoff, 1991].

Los sistemas de gestión de bases de datos se encargan de manipular y mantener la información en una base de datos, facilitando enormemente la tarea de los desarrolladores que pueden dedicarse a la construcción del sistema sin preocuparse de cómo y dónde estarán los datos necesarios. Estos sistemas se encargan de almacenar los datos, ordenarlos e indexarlos. El SIG que precisa la información, simplemente interactúa con el SGBD para conseguirla. Los SGBD hacen de la entrada y salida de información un proceso simplificado y eficiente, evitando problemas como la redundancia de datos, muy común en los entornos donde se utilizan archivos de datos separados para cada aplicación. Existe también la posibilidad de otorgar distintos niveles de acceso para lectura y modificación de la información a diferentes usuarios, lo cual ofrece un control más estricto sobre qué se cambia o agrega, incrementando la seguridad y la integridad de la información.

Por otro lado, existe un riesgo en la adopción de los SGBD para la administración de la información, y es la centralización misma. Al existir una sola copia de los datos para evitar redundancia existe la posibilidad de pérdida de los mismos por varios motivos, como fallas de hardware o *software*, o simplemente por causas ajenas al sistema, como robos o incendios. Es importante mantener copias de seguridad de la información para una recuperación rápida ante cualquier problema.

### 3.2.3 Sistemas de Gestión de Bases de Datos

Entre los SGBD más populares se encuentran los de código abierto, como MySQL y PostgreSQL, y los de licencia privativa, como Oracle. Éstos poseen la capacidad de almacenar datos geográficos como lo establece el Open Geospatial Consortium<sup>12</sup>, mediante extensiones [Hall, 2008].

Oracle Spatial es la opción que se vende por separado para extender el motor de bases de datos de Oracle y soportar formatos vectoriales y *raster*, así como funciones para trabajar sobre ellos.

PostgreSQL se puede extender mediante PostGIS, un conjunto de funciones de

---

<sup>12</sup> <http://www.opengeospatial.org>

código abierto para el análisis de la información geográfica.

MySQL tiene soporte para formatos vectoriales, pero posee funcionalidad muy limitada para trabajar con ellos, lo cual hace necesario el desarrollo de funciones básicas o la utilización de una aplicación SIG por separado (como por ejemplo el SIG de código abierto GRASS<sup>13</sup>) para poder analizar los datos almacenados.

### **3.3 Herramientas para el análisis de datos geográficos**

La información geográfica almacenada en un SIG puede ser utilizada de muchas maneras dependiendo de su naturaleza. Como se explicó en el capítulo anterior existen dos tipos de datos espaciales, los vectoriales y los *raster*, los cuales tienen características que los hacen útiles para tareas diferentes.

Las imágenes rasterizadas conforman una fuente muy importante de información para un simple análisis visual o para generar más información mediante su procesamiento por computadora. Por ejemplo, las imágenes multi-espectrales obtenidas por los satélites Landsat pueden proveer datos como la temperatura del suelo, utilización de las tierras, inundaciones y condiciones de cosechas, entre otras cosas. Por otro lado, la información en formato vectorial puede ser fácilmente analizada para obtener diferentes magnitudes, como distancia entre puntos, longitudes de líneas, perímetros y superficies de polígonos.

#### **3.3.1 Funciones para el análisis de información geográfica**

Existe una gran variedad de funciones para el análisis de la información geográfica y sus atributos, las cuales están divididas en cuatro categorías: recuperación, clasificación y medición; superposición; vecindad y conectividad [Aronoff, 1991].

##### **3.3.1.1 Recuperación, clasificación y medición**

A partir de la información geográfica disponible, se pueden aplicar funciones pertenecientes a esta categoría, las cuales recuperan datos tanto espaciales como de atributos, pero sólo modifican o crean nuevos atributos.

---

<sup>13</sup> <http://grass.fbk.eu/>

Las operaciones de recuperación, que son de las más sencillas, realizan búsquedas en la base de datos de acuerdo a una o varias condiciones, retornando información sin necesidad de modificar o agregar elementos a ella. Un ejemplo puede ser la producción de un listado de vehículos y choferes que se encuentran en las inmediaciones de una ciudad determinada.

Estos elementos recuperados de la base de datos, pueden ser separados de acuerdo a las velocidades máximas desarrolladas durante el día, con lo cual podríamos generar un listado de vehículos y choferes diferenciados entre los que no superaron los 40 km/h, los que llegaron a velocidades entre 40 y 50 km/h y los que superaron los 50 km/h. Esto es un procedimiento de clasificación, en el cual se genera nueva información que nos permite conocer ciertos aspectos de los hábitos de conducción de los choferes en un intervalo de tiempo a elección.

Las funciones de medición nos permiten averiguar magnitudes a partir de los datos geográficos. Si se posee información vectorial en la cual se hallen polígonos que representan ciudades y líneas que representan rutas y calles, estas funciones nos permiten averiguar, por ejemplo, la superficie que ocupan las ciudades y la longitud de las rutas, o encontrar las ciudades cuya superficie excede un cierto límite y rutas con una longitud mínima determinada. En el caso de la información *raster*, este tipo de funciones pasan a ser de vecindad (sección 3.3.1.3), porque el procedimiento debe identificar celdas conectadas.

Como vemos, dependiendo de la naturaleza de la información, los algoritmos son diferentes para la resolución de una misma tarea, lo cual debe tenerse en cuenta a la hora de decidir el tipo de información que administrará un SIG.

### **3.3.1.2 Superposición**

Las funciones de superposición pueden ser aritméticas o lógicas. La superposición aritmética incluye las operaciones básicas de suma, resta, multiplicación y división que se aplican a valores en varias capas que comparten la misma ubicación. La superposición lógica consiste en encontrar áreas en las cuales se cumple un conjunto de condiciones específico. Por ejemplo, se pueden buscar áreas en una región donde

haya una cierta cantidad de lluvias anuales, una temperatura promedio por sobre los 20° centígrados y se disponga de una napa freática. Teniendo la información de lluvias, temperaturas y napas subterráneas en tres capas diferentes, se puede utilizar una operación de superposición lógica entre todas y así identificar rápidamente los lugares donde se dan las tres condiciones.

En este tipo de operaciones, los algoritmos difieren significativamente en su implementación, dependiendo de si la información es vectorial o *raster*. Tomando el caso de una base de datos de imágenes rasterizadas, cada una de las áreas está dividida en celdas del mismo tamaño, las cuales están en perfecta coincidencia en las distintas capas. Pero en el caso de una base de datos vectoriales, las áreas están representadas por polígonos, los cuales difieren en tamaño y forma. El área en la cual dos polígonos se superponen es un nuevo polígono. Para crearlo se utilizan operaciones de recorte, las cuales hacen de la superposición una tarea más compleja en el dominio vectorial.

Cuando se tienen muchos polígonos de forma irregular, el proceso de superposición vectorial requiere más tiempo de procesamiento que la superposición de datos *raster*. Estos datos son una lista de valores ordenados por ubicación, por lo cual la superposición de capas solamente requiere la recuperación y comparación de valores ubicados en la misma posición, sin la necesidad de calcular intersecciones o límites de cada área.

### 3.3.1.3 Vecindad

Las operaciones de vecindad sirven para analizar el área alrededor de ubicaciones determinadas. Un ejemplo puede ser ubicar los hospitales que se encuentran a un radio de 5 km de la ubicación de un accidente. Una empresa de taxis que tuviera sus vehículos monitoreados, podría elegir y despachar el móvil libre más cercano a la ubicación de un cliente que solicitó transporte, ahorrando tiempo y combustible.

Todas las operaciones de vecindad requieren al menos tres parámetros básicos: una o más ubicaciones, la especificación de la vecindad alrededor de cada ubicación y la función a realizar sobre los elementos en esa vecindad. En el ejemplo de la empresa de taxis, la ubicación es el lugar donde se encuentra el cliente, la vecindad puede ser un

radio de una cantidad determinada de cuadras (fuera de las cuales, la empresa decidiera enviar un móvil desde alguna central), y la función es encontrar el móvil en estado “libre” que más cerca esté de la ubicación.

Esta operación encaja perfectamente en la categoría de punto en polígono, donde se buscan puntos que estén contenidos en un área determinada. Otro tipo de operaciones de vecindad son las de línea en polígono, que se encargan de encontrar segmentos que intersecten un polígono determinado.

Un ejemplo de operaciones de línea en polígono se puede aplicar para la ley nacional de tránsito, la cual establece que la velocidad máxima en rutas es de 80 km/h para vehículos pesados, 90 km/h para transportes de pasajeros y 110 km/h para vehículos livianos, excepto para los tramos que atraviesan zonas urbanas donde la velocidad máxima es de 60 km/h para todos por igual. Teniendo en cuenta que los caminos se almacenan como líneas y las zonas urbanas como polígonos, se puede utilizar una operación de línea en polígono para identificar aquellos segmentos de ruta en los cuales la velocidad máxima permitida es de 60 km/h.

En la información vectorial, las líneas o arcos se almacenan como un conjunto de puntos unidos por segmentos rectos. Pero no se puede utilizar una operación de punto en polígono para determinar si las líneas están en las inmediaciones del área elegida, ya que los puntos que conforman dichas líneas pueden estar fuera de los límites del polígono que representa esa área. En estos casos, se utilizan algoritmos más complejos, que forman parte de las funciones de línea en polígono.

#### **3.3.1.4 Conectividad**

Las funciones de conectividad son básicamente algoritmos que determinan la forma en la que se conectan dos puntos. La mayoría de los dispositivos GPS para automóviles utilizan estas funciones para guiar al conductor a través de una ciudad, o en rutas y autopistas.

Para realizar estas operaciones es necesaria una especificación de la forma en la que los caminos o calles se interconectan. También es necesario conocer el conjunto de reglas que determinan el movimiento posible a lo largo de estas interconexiones (por

ejemplo, calles de un solo sentido y límites de velocidad). Por último, es necesaria una unidad de medida en la cual se presentarán los resultados.

En el ejemplo de la búsqueda de un taxi cercano a la ubicación de un cliente, el resultado puede ser engañoso si utilizáramos un simple cálculo de distancia en línea recta entre dos puntos, ya que puede ocurrir que el móvil más próximo a la dirección en cuestión esté circulando por una autopista, y la próxima bajada se encuentre a varios cientos de metros. Este tipo de errores se pueden suprimir utilizando una función de conectividad que vincule la posición del taxi con la ubicación del cliente con mayor precisión dándonos una medida de la separación entre ambos, ya sea en unidades de distancia o de tiempo.

En este caso, quizás sea de mayor utilidad saber el tiempo que demorará el taxi en llegar a destino antes que la distancia. Dependiendo del grado de complejidad del sistema, se puede calcular las rutas y tiempos considerando el flujo de tráfico en diferentes horarios, lo cual puede arrojar resultados más exactos y ayudar al conductor a mejorar su rendimiento.

### **3.3.2 Aplicaciones y bibliotecas de *software* para el análisis de información geográfica**

Existen actualmente muchas aplicaciones SIG, tanto comerciales como de código abierto. También hay muchas bibliotecas de *software* para crear nuestras propias aplicaciones y de esa manera poder hacer análisis más personalizados.

Una aplicación SIG completa de código abierto es GRASS (Geographic resources analysis support system, sistema de soporte de análisis de recursos geográficos). GRASS es un SIG capaz de procesar información vectorial y *raster*. Además es un sistema de procesamiento de imágenes con capacidad de producir gráficos.

GRASS es un conjunto de más de 350 programas y herramientas para crear mapas e imágenes, manipular información *raster* o vectorial, procesar imágenes multi-espectrales, y crear, administrar y almacenar información espacial [GRASS, 2010].

GRASS utiliza una biblioteca de funciones para la lectura de datos *raster* y



vectoriales. Esta biblioteca se llama GDAL (Geospatial data abstraction library, biblioteca de abstracción de datos geo-espaciales). La función que cumple esta biblioteca, es la de presentar un único modelo de datos abstracto a la aplicación que la utiliza, para todos los formatos que soporta. Esta biblioteca soporta más de 50 formatos de datos *raster* y más de 20 formatos vectoriales. GDAL es prácticamente un estándar, utilizado por el *software* GRASS, el servidor de mapas MapServer, y hasta aplicaciones comerciales, como Google Earth, MapGuide<sup>14</sup> y ArcGIS<sup>15</sup>.

PROJ.4 es una biblioteca de proyecciones cartográficas, también utilizada por muchas aplicaciones SIG. PROJ.4 permite la transformación de coordenadas geográficas de una proyección a otra y/o de un *datum* a otro. Gracias a estas funciones, es posible tener varios conjuntos de datos diferentes, creados por diferentes personas, en una misma base de datos, pudiendo visualizarlos de la manera más conveniente.

JTS (Java Topology Suite) es una biblioteca que implementa un conjunto de operaciones geométricas en dos dimensiones en lenguaje Java. GEOS es el proyecto que implementó las mismas funciones en C++. GEOS es utilizado por otras bibliotecas de funciones, como PostGIS. También es utilizado por MapServer, GRASS y *software* propietario como Mapguide.

PostGIS es un conjunto de funciones y tipos de datos geográficos para PostgreSQL que permiten el análisis de información espacial almacenada en bases de datos administradas por este SGBD. PostGIS se vale de GEOS para operaciones geométricas de intersección, punto en polígono y demás.

### 3.4 Sistemas de información geográfica en Internet

Los sistemas de información geográfica, como se mencionó anteriormente, se comenzaron a desarrollar cuando aún no existía Internet. El desarrollo de las tecnologías SIG fue creciendo a medida que la tecnología informática lo permitía. De esta manera, se evolucionó de los sistemas de información geográfica basados en *mainframe*, a los SIG de escritorio y actualmente a los SIG en Internet [Peng, 2003].

---

<sup>14</sup> <http://www.mapguide.com>

<sup>15</sup> <http://www.esri.com>

Los SIG basados en *mainframe* eran programas alojados en grandes computadoras con acceso terminal. Estos sistemas adoptaban el modelo monolítico, en el cual todos los programas están en una computadora central. La información geográfica y las funciones para su análisis son accedidas por los usuarios mediante terminales bobas.

Cuando surgió la PC surgieron los SIG de escritorio. Existen sistemas *stand-alone* que tienen todas las funciones, la información geográfica y la interfaz de usuario en una sola computadora. Estos sistemas se ejecutan aisladamente, sin compartir información entre computadoras. También están los sistemas cliente/servidor, en los cuales las aplicaciones SIG de las computadoras de escritorio (clientes) se comunican con los servidores dentro de una red de área local. Para esto es necesario que cada cliente tenga instaladas las aplicaciones SIG, lo cual puede traer complicaciones si no todas las computadoras son de la misma arquitectura o tienen sistemas operativos distintos.

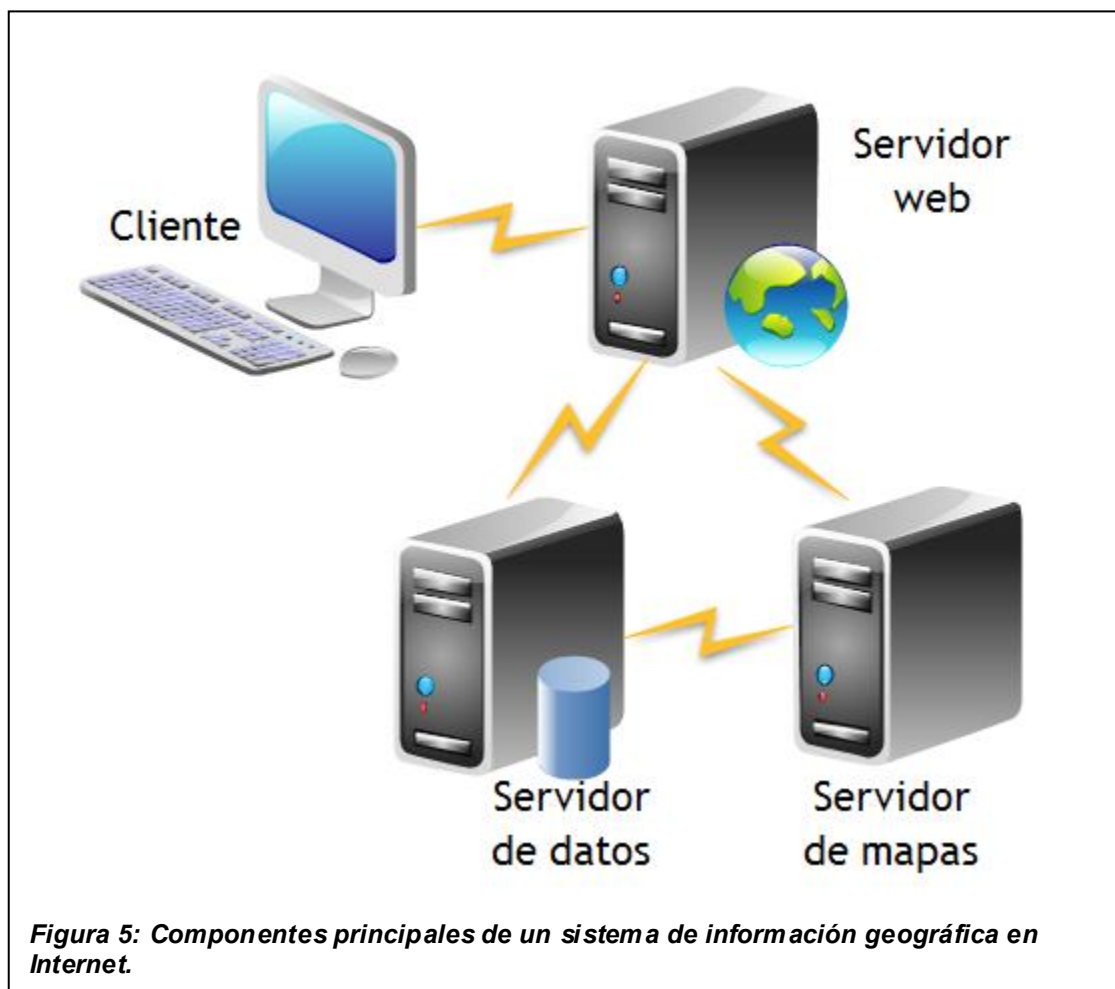
Los sistemas de información geográfica en Internet son aquellos que trabajan utilizando Internet para la transmisión de datos y servicios. Estos sistemas no necesariamente requieren de aplicaciones SIG de escritorio y en general son independientes de la plataforma y de la aplicación. Los usuarios pueden acceder a la información y a las herramientas de análisis desde cualquier lugar que cuente con acceso a Internet. El cliente puede ser una computadora de escritorio, una computadora portátil, o un dispositivo móvil (como por ejemplo un teléfono inteligente).

En [Peng, 2003] se establece una diferencia entre los *GISystems* (sistemas de información geográfica) y *GIServices* (servicios de información geográfica). El autor agrupa los viejos sistemas de *mainframe* y escritorio entre los *GISystems* y a los sistemas de internet en los *GIServices*. En una arquitectura de *GIServices*, no hay diferencia entre el cliente y el servidor, ya que cada nodo posee información y programas que pueden ser utilizados dependiendo de la tarea a realizar. Los clientes en este caso, son los que piden un servicio, y los servidores son los que lo proveen. «Una arquitectura de *GIServices* distribuidos permite combinaciones y vinculaciones

dinámicas de objetos de datos geográficos y programas SIG por medio de la red» [Peng, 2003].

### 3.4.1 SIG Distribuidos

Los sistemas de información geográfica en internet tienen cuatro componentes principales que se pueden observar en la figura 5: el cliente, el servidor *web*, el servidor de mapas y el servidor de datos. El cliente es la interfase entre los usuarios y los programas SIG, y es el que envía peticiones al servidor *web*. El servidor *web* por su parte, recibe las peticiones y retorna páginas *web* estáticas, valiéndose de los servidores de mapas y de datos.



La información utilizada para generar las páginas *web*, es requerida al servidor de mapas, que a su vez pide la información geográfica al servidor de datos. Todos estos servicios pueden estar en una misma computadora o distribuidos en varias. Se puede

tener un servidor *web* dedicado que se comuniquen por medio de una red local o de internet a un servidor de mapas, que a su vez tome información de un servidor de datos local o remoto.

Por ejemplo, el sistema de monitoreo satelital de vehículos propuesto, utiliza un único servidor con los tres sistemas incluidos. El servidor *web* es Apache<sup>16</sup>, el servidor de mapas es Mapserver y el servidor de datos es PostgreSQL. Pero también se vale de los mapas provistos por un servidor remoto, Google Maps.

#### 3.4.1.1 Mapeo Web

El mapeo *web* ha evolucionado en la medida que las herramientas *web* lo han permitido. En un principio se publicaban mapas estáticos en las páginas *web*, que no eran más que imágenes en formatos gráficos como PNG o JPEG insertadas en el código HTML de la página. Este tipo de mapas no permiten la interacción con el usuario, no pudiendo cambiar la forma en que se muestran de ninguna manera. Lo único que se puede hacer con las imágenes estáticas de mapas es dividirlos en partes, pudiendo enlazarlos a diferentes páginas que muestren información acerca de cada una. Por ejemplo, se puede tener una imagen con el mapa político de la Argentina y hacer clic en una provincia para ir a la página con información acerca de ella.

El siguiente salto fue el uso de CGI (Common gateway interface) para la interacción entre el servidor *web* y sistemas de información geográfica o simples aplicaciones de mapeo, lo cual marcó la llegada del mapeo *web* estático. Con estas tecnologías, es posible que el usuario pida cierta información mediante un formulario *web*, la cual es pasada a los SIG o aplicaciones de mapeo mediante CGI. Luego estos últimos generan una imagen de un mapa de acuerdo a los parámetros establecidos por el usuario que se envía por medio del servidor *web* al cliente. Aún así, los usuarios no pueden interactuar con el mapa, sólo pueden parametrizar la producción de estos mediante formularios de texto, pero una vez elaborados, no pueden por ejemplo delimitar zonas dibujando figuras geométricas sobre ellos.

---

<sup>16</sup> <http://www.apache.org>

Xerox PARC Map Viewer fue uno de los primeros prototipos de mapeo *web* estático. Fue creado por Xerox como un experimento para hacer posible la recuperación interactiva de información a través de la *web*. Map Viewer utilizaba un módulo CGI para la interacción entre el servidor *web* y dos programas que generaban imágenes en formato GIF. El primer programa producía imágenes *raster* a partir de la información recuperada de dos bases de datos vectoriales. El segundo convertía las imágenes *raster* al formato de imagen GIF [Peng, 2003].

El mapeo interactivo no era posible sin herramientas como HTML dinámico, utilizando código Javascript ejecutado en el cliente, o controles ActiveX, *applets* Java y demás agregados que proveen interactividad al cliente *web*. Gracias al HTML dinámico, las páginas *web*, una vez descargadas y mostradas en el navegador, no son estáticas. El usuario puede interactuar con los elementos mostrados y estos pueden cambiar ante diferentes eventos. Con código Javascript descargado desde el servidor *web*, se pueden ejecutar tareas más complejas que simplemente mostrar contenido. El código Javascript se ejecuta en el cliente, por lo cual ciertas tareas no necesitan invocar al servidor *web*.

Con los *applets* Java pasa algo similar, el código se descarga del servidor *web* y se ejecuta en el cliente, pero es algo más complejo que Javascript y no es interpretado por el navegador, sino por una máquina virtual que debe estar instalada en la computadora. Los *applets* Java permiten desarrollar aplicaciones completas, las cuales pueden recibir la información geográfica del servidor y convertirla en mapas, o proveer al usuario de herramientas para su análisis.

#### 3.4.1.2 Web Map Service (WMS)

El Open Geospatial Consortium<sup>17</sup> (OGC) es un consorcio de organizaciones públicas y privadas, cuya finalidad es la creación de estándares abiertos dentro de los sistemas de información geográfica en Internet.

«Una de las principales metas del OGC es crear un conjunto de especificaciones para ser utilizadas como guía para el diseño de SIG en Internet por diferentes

---

<sup>17</sup> <http://www.opengeospatial.org/>

vendedores de *software* de manera tal que sus sistemas pueden comunicarse e interoperar» [Peng, 2003].

Una de estas especificaciones es la WMS, que indica que «un servidor de mapas *web* (WMS) produce mapas de datos espacialmente referenciados a partir de información geográfica» [OGC, 2004]. Los mapas producidos por estos servicios son generalmente creados en un formato de imagen tal como PNG, GIF o JPEG, o como elementos gráficos vectoriales, como SVG (Scalable vector graphics) y WebCGM (Web computer graphics metafile).

El estándar internacional WMS define tres operaciones: una que retorna metadatos de nivel de servicio (es decir, datos acerca de los datos que provee); una que retorna mapas cuyos parámetros geográficos y dimensionales están bien definidos y una tercera opcional que retorna información acerca de rasgos particulares mostrados en un mapa. «Las operaciones de servicios de mapeo *web* pueden ser invocadas utilizando un navegador *web* estándar, enviando pedidos en forma de localizadores uniformes de recursos (URLs) [...] cuando se requiere un mapa, la URL indica qué información se debe mostrar en éste, qué porción de la Tierra se mapeará, el sistema de referencia de coordenadas deseado y el ancho y alto de la imagen de salida» [OGC, 2004].

Los formatos de imagen que soportan fondos transparentes, como GIF y PNG, permiten la superposición de diferentes tipos de mapas para generar mapas compuestos. Para esto es necesario que los mapas sean producidos con los mismos parámetros geográficos y el mismo tamaño de salida, de manera tal de producir una superposición precisa.

La arquitectura de WMS posibilita el uso de diferentes servicios para generar mapas compuestos personalizados, es decir que nos permite hacer pedidos a diferentes servidores WMS no necesariamente ubicados en el mismo lugar para generar superposiciones de mapas. En el sistema de monitoreo satelital de vehículos desarrollado se utiliza un servidor de mapas local con información propia que genera imágenes de fondo transparente en formato PNG (figura 6). Estas imágenes se superponen a las imágenes satelitales de Google Maps, teniendo así un mapa compuesto



dado que esta información muy probablemente haya sido creada o recabada para diferentes sistemas.

Por ejemplo, podemos encontrar información geográfica que represente al río en cuestión como una línea o como un polígono. Puede ser que en un modelo esté el río representado en términos de latitud y longitud, o puede estar en el sistema de coordenadas UTM [Loweth, 1997], además de la posibilidad de que se utilicen diferentes sistemas de referencia geodésicos o incluso diferentes formatos de archivo. El problema radica en que el principal formato de transmisión de datos de la *web* es HTML, el cual es un lenguaje diseñado para mostrar información, muy limitado.

XML<sup>18</sup> (extensible markup language) es un lenguaje creado por el World Wide Web Consortium (W3C), que es una organización internacional dedicada a la creación de estándares para la WWW. XML utiliza etiquetas al igual que HTML, pero la diferencia es que en éste último, las etiquetas están previamente establecidas y tienen una única semántica, cuya finalidad es la de establecer cómo se mostrará el objeto que encierra. XML por otro lado, utiliza las etiquetas para dar información acerca del objeto que encierra, es decir, las etiquetas en XML nos proveen de meta-datos (datos acerca de los datos).

GML es un formato basado en XML para el transporte y almacenamiento de información geográfica propuesto por OGC. «GML está diseñado para soportar interoperabilidad, proveyendo meta-datos a través de etiquetas básicas de elementos geométricos que son soportados por todos los sistemas [...] Además, GML provee un modelo espacial común para soportar intercambio e interoperabilidad» [Peng, 2003].

El estándar GML comenzó soportando información vectorial. Mediante las etiquetas *Point*, *LineString* y *Polygon* se pueden representar puntos, líneas y polígonos respectivamente. A partir del estándar 3.0, se comenzó a soportar la información del tipo *raster*, ampliando su alcance.

El siguiente ejemplo muestra cómo se define un punto en GML:

---

<sup>18</sup> <http://www.w3.org/XML/>



```
<gml:Point>  
  <gml:coordinates>-39.57, -67.55</gml:coordinates>  
</gml:Point>
```

En este segmento se puede ver por la etiqueta que se trata de un objeto *Point*, cuyas coordenadas son Latitud 39,57 Sur, Longitud 67,55 Oeste.

Para definir una línea se utiliza el objeto *LineString*, de la siguiente manera:

```
<gml:LineString>  
  <gml:coordinates>-37.55,-69.56 -37.56,-69.57</gml:coordinates>  
</gml:LineString>
```

Esto genera una línea que une las coordenadas Latitud 37,55 Sur, Longitud 69,56 Oeste con Latitud 37,56 Sur, Longitud 69,57 Oeste.

Por último, se pueden generar polígonos con el Objeto *Polygon*, como en el siguiente ejemplo:

```
<gml:Polygon>  
  <gml:outerBoundaryIs>  
    <gml:LinearRing>  
      <gml:coordinates>0,0 10,0 10,10 0,10 0,0</gml:coordinates>  
    </gml:LinearRing>  
  </gml:outerBoundaryIs>  
</gml:Polygon>
```

Aquí se genera un polígono cuadrado, cuyo límite externo está conformado por las coordenadas 0,0 – 10,0 – 10,10 – 0,10. Los polígonos deben comenzar y terminar en el mismo punto. En la figura 7 se muestra la porción de la Tierra que abarca el polígono definido.

GML provee las herramientas para incluir meta-datos importantes para el intercambio de información. Si queremos compartir información geográfica, es necesario incluir información acerca de la misma. Es necesario saber el sistema de referencia geodésico utilizado, proyección y el tipo de objeto representado, para luego poder mostrar la información sin errores, por ejemplo, al crear un mapa.



En el polígono anterior, se puede aclarar el tipo de sistema de referencia de coordenadas utilizado, de hecho, GML no utiliza ningún sistema de coordenadas por defecto.

A continuación se define el mismo polígono que antes, pero se aclara que el sistema de referencia utilizado es EPSG 4326<sup>19</sup> (Equivalente a WGS84).

<sup>19</sup> <http://www.epsg.org/>

```
<gml:Polygon srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:6.6:4326">
  <gml:outerBoundaryIs>
    <gml:LinearRing>
      <gml:coordinates>0,0 10,0 10,10 0,10 0,0</gml:coordinates>
    </gml:LinearRing>
  </gml:outerBoundaryIs>
</gml:Polygon>
```

Con la creación de GML se soluciona un gran problema, el de estandarizar la forma de almacenamiento de la información. Con GML se provee información acerca de los datos geográficos disponibles, con lo cual se puede saber qué tipo de objetos se están representando y que sistemas de referencia geodésicos y de coordenadas se están utilizando. A partir de esto, la información se puede utilizar en diferentes sistemas con modelos de datos distintos, e incluso con mapas en otras proyecciones y con información en distintos sistemas de referencia geodésicos.

Google tiene su propio formato de intercambio y almacenamiento de datos basado en GML. KML<sup>20</sup> (Keyhole Markup Language) fue desarrollado especialmente para Google Earth, aunque Google lo dejó en manos de la OGC a partir de la versión 2.2. Una de las principales diferencias con respecto a GML, es que el sistema de referencia geodésico utilizado (WGS84) está implícito, pero no es posible utilizar otro.

KML es algo más sencillo que GML, a continuación se muestra la definición de un punto:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
  <Placemark>
    <name>Cipolletti</name>
    <description>centro de la ciudad de Cipolletti</description>
    <Point>
      <coordinates>-38.94,-68,0</coordinates>
    </Point>
  </Placemark>
```

En este ejemplo, se establece la latitud, longitud y altura de nuestro punto, que es el centro de la ciudad de Cipolletti. El primer encabezado establece la codificación del

---

<sup>20</sup> <http://www.opengeospatial.org/standards/kml>

texto del archivo contenedor. En el segundo encabezados se provee la dirección URI en la cual se encuentra el archivo con las definiciones de espacio de nombres para la validación de este documento XML. En este caso, se utiliza el espacio de nombres para la versión 2.2.

Para definir polígonos, se utiliza una sintaxis muy similar a GML:

```
<Placemark>
  <name>Cipolletti</name>
  <Polygon>
    <outerBoundaryIs>
      <LinearRing>
        <coordinates>0,0,0 10,0,0 10,10,0 0,10,0 0,0,0</coordinates>
      </LinearRing>
    </outerBoundaryIs>
  </Polygon>
</Placemark>
```

Una ventaja de KML es que el estándar permite la compresión de los datos en formato ZIP. Los archivos comprimidos contienen el archivo KML y tienen extensión KMZ.

### 3.4.2 Arquitectura de GIServices

Una arquitectura de GIServices, tiene un enfoque diferente respecto de los primeros SIG. Como se dijo previamente, los primeros sistemas se ejecutaban en *Mainframes*, y eran accedidos por terminales. Luego llegaron las computadoras personales, y los SIG se adaptaron a la arquitectura Cliente/Servidor. Pero en ambos casos, si alguien precisaba de información o alguna herramienta en particular de un sistema para un desarrollo paralelo, debía instalar su propio servidor con la información y las herramientas replicadas.

La arquitectura de GIServices está basada en Internet, y de esta manera, propone la creación de herramientas como servicios independientes, accesibles remotamente. Esto permite compartir información geográfica o herramientas para su análisis. La ventaja de esta arquitectura, es que no es necesario desarrollar todas las partes, simplemente se puede desarrollar una o unas pocas y para el resto utilizar algún GIService provisto en Internet (sea pago o gratuito).

Google Maps y Bing Maps<sup>21</sup> son ejemplos de servicios de mapas en internet, para los cuales hay que pagar un costo en caso de exceder un cierto límite de conexiones o si el sistema para el cual se utilizan tiene fines comerciales. Google Maps no solo provee el servicio de mapas, sino que mediante su API es posible utilizar una función llamada *reverse geocoding* (geo-codificación inversa), la cual nos permite a partir de una latitud y longitud, obtener la dirección en términos de calle y altura en una ciudad. Esta función también se provee como servicio *web*, de manera similar a los servicios WMS descritos previamente. El servicio *web* de geo-codificación inversa consiste en una petición al servidor de Google mediante una URL en la que se establecen los parámetros de búsqueda. La respuesta puede ser en formato JSON (JavaScript Object Notation) o XML [Google, 2010].

Teniendo servicios de mapas por un lado, y servicios de información geográfica por otro, podemos desarrollar un SIG que simplemente tome la información ya recolectada de un sistema y muestre mapas personalizados, si se quiere generando un mapa propio superpuesto a los provistos (como se mostró en la figura 6). De esta manera, se puede evitar el problema de mantener la información actualizada, ya que esto sería tarea de nuestros proveedores. Esto permite que el desarrollador concentre su trabajo en las herramientas para el análisis de la información que proveerá el sistema, sin tener que preocuparse de la recolección y entrada de la información geográfica. Además puede evitarle a una organización los costos de tener un departamento dedicado a la recolección de información geográfica, ya que esto se deriva a la empresa u organización que presta dichos servicios *web*.

---

<sup>21</sup> <http://www.bing.com/maps>

## 4. Localización automática de vehículos

---

### 4.1 Introducción

La localización automática de vehículos, o AVL por sus siglas en inglés, es una conjunción de tecnologías al servicio de la localización y monitoreo de vehículos de toda índole. El término localización en realidad no engloba todas las aplicaciones y posibilidades que surgen de AVL.

Un dispositivo AVL [Jellinek, 1978] es básicamente un sistema GPS conectado remotamente para transmitir la información obtenida a un centro de control. El sistema GPS nos provee la latitud, la longitud y la altura del dispositivo, pero no solo eso, a partir de los cambios de posición y la frecuencia con la que ocurren se pueden calcular otros datos, como velocidad y rumbo. Al tener una conexión remota, es posible enviar toda la información obtenida para ser almacenada en un servidor de bases de datos y posteriormente analizada.

Existen varios tipos de dispositivos AVL que tienen diferentes características. Las principales diferencias radican en el tipo de conexión remota. Algunos dispositivos utilizan ondas de radio de muy alta frecuencia [Wikipedia, 2011a] (VHF por sus siglas en inglés), lo cual limita el radio de cobertura del sistema, ya que si el vehículo se aleja demasiado del centro de control, la comunicación se pierde, y por lo tanto se pierde el rastro del vehículo, a menos que se coloquen antenas repetidoras. La principal ventaja de utilizar VHF para las transmisiones es el costo, sobre todo en ámbitos en los cuales ya se utiliza, como por ejemplo empresas de taxis.

Otros dispositivos utilizan transmisión de datos vía satélite, mediante servicios como la red Orbcomm<sup>22</sup> o Globalstar<sup>23</sup>. Estos servicios proveen comunicación por medio de un *modem* desde cualquier lugar del planeta, pero el costo es bastante alto, por

---

<sup>22</sup> <http://www.orbcomm.com>

<sup>23</sup> <http://www.globalstar.com>

lo cual generalmente se reduce el tamaño de los paquetes de datos a enviar así como la frecuencia de transmisiones.

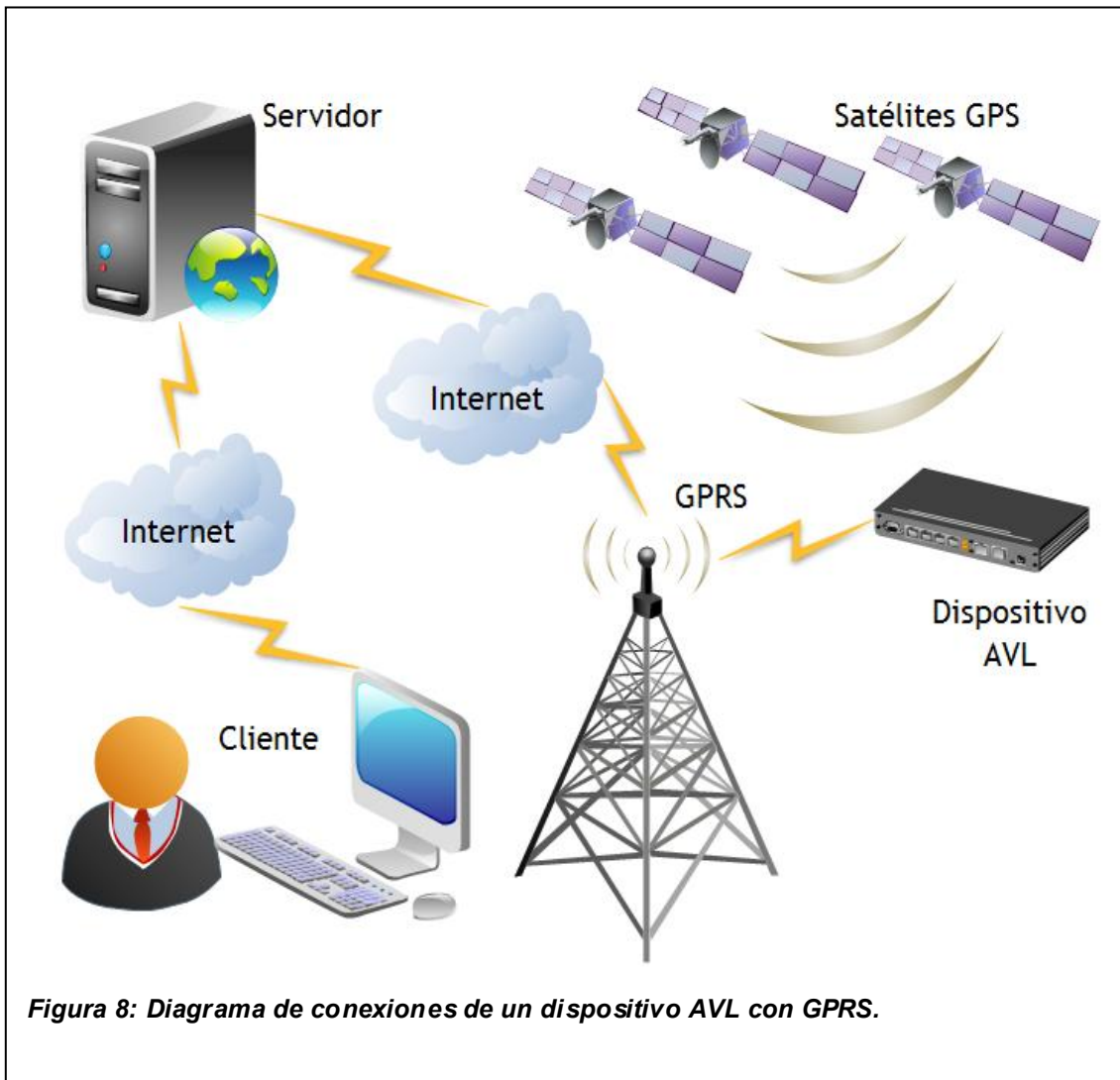
El sistema más utilizado es GPRS [Sanders, 2003] (General packet radio service, servicio general de paquetes vía radio), que es una extensión del sistema global de comunicaciones móviles (GSM, por sus siglas en inglés). GPRS es la tecnología utilizada actualmente por las empresas de telefonía celular para proveer Internet móvil a un costo accesible. Además de un costo accesible, provee una cobertura bastante amplia, aunque no tan amplia como la de las soluciones descritas en el párrafo anterior. De todos modos, GPRS es una de las mejores opciones en cuanto a costo/beneficio.

## **4.2 Transmisión de datos**

En la figura 8 se muestra un dispositivo AVL que recibe señales de satélites GPS. Luego de procesarlas y calcular su posición, velocidad y rumbo, se pueden enviar estos datos por Internet, utilizando GPRS, al centro de control o servidor. El usuario del servicio se conecta al servidor para la visualización y análisis de los datos mediante las herramientas provistas por éste.

Como se dijo previamente, la cobertura de GPRS no es completa, puede suceder que un vehículo ingrese en una zona sin señal y no pueda establecer comunicación para transmitir los datos. Existen dispositivos AVL híbridos que utilizan GPRS, y ante la falta de éste, cambian a transmisión satelital, de ésta manera, se utiliza la solución más costosa lo menos posible.

Otra alternativa, es el almacenamiento de los datos en una memoria interna para su posterior transmisión, de esta manera no aumenta el costo de las comunicaciones y tampoco el del dispositivo en cuestión, ya que es de menor complejidad. La desventaja de ésta solución, es que no se podrán ver los datos en tiempo real cuando el vehículo no tenga cobertura GPRS, lo cual puede ser un gran problema dependiendo de la finalidad del sistema. Por ejemplo, en el caso de la localización y recuperación en caso de robo, un servicio provisto por muchas compañías aseguradoras, es de vital importancia recibir información en tiempo real para poder actuar eficazmente.



**Figura 8: Diagrama de conexiones de un dispositivo AVL con GPRS.**

Dependiendo de la finalidad del sistema, también se debe decidir cuándo y qué información transmitir. Es decir, ante qué eventos se transmitirá y qué información se proveerá. Para el ejemplo anterior de localización en caso de robo, basta con transmitir la ubicación del vehículo en cortos intervalos para lograr recuperarlo. Pero en un sistema para el análisis de conducta de manejo, es necesario saber a qué velocidad se condujo además de la ubicación. En general, los dispositivos AVL en el mercado pueden ser configurados para elegir los datos a transmitir y los intervalos de tiempo. Se pueden programar eventos ante los cuales se transmita un paquete de datos, por ejemplo, el arranque y parada del motor, o el exceso de velocidad. Además pueden transmitir datos extra, como el kilometraje recorrido, las horas de marcha, identificación del chofer y temperaturas (de motor o de cargas).



En la figura 9 se muestra un dispositivo diseñado y ensamblado en nuestro país por GTE S.R.L.<sup>24</sup>, en la parte frontal se pueden apreciar dos conectores: uno para la antena GPS y el otro para la antena de celular. Además tiene la entrada de alimentación principal y una para batería secundaria. Este dispositivo provee 5 entradas digitales, para conectar entre otras cosas, el contacto del vehículo. Tiene 2 puertos serie, para entrada y salida de datos de otros dispositivos, como por ejemplo identificador de choferes y termómetros.

El dispositivo Trax S6<sup>25</sup> cuenta con una entrada para tarjetas de memoria MicroSD, lo que permite almacenar la ubicación del vehículo segundo a segundo durante 6 meses con una tarjeta de 2 GB. Esto resulta útil en caso de un accidente, para poder saber con mayor precisión qué ocurrió previamente, si hubo frenadas bruscas o cambios de rumbo súbitos.



**Figura 9: Dispositivo AVL marca GTE, modelo Trax S6.**

En la figura 10 se pueden ver sus componentes internas, a la derecha se encuentra el chip GPS y a la izquierda el modem GPRS para 2 tarjetas SIM, es decir,

<sup>24</sup> <http://www.gte.com.ar>

<sup>25</sup> [http://www.gte.com.ar/archivos/trax\\_6.htm](http://www.gte.com.ar/archivos/trax_6.htm)

para dos cuentas diferentes de GPRS. En nuestro país no todas las proveedoras de Internet móvil tienen la misma cobertura, por lo cual, en caso que realmente sea importante la disponibilidad inmediata de los datos, se puede optar por transmitir por dos cuentas de distintas compañías, lo cual otorga una cobertura más amplia.



Figura 10: Componentes internas del dispositivo AVL Trax S6.

### 4.3 Aplicaciones

La frase “localización automática de vehículos” denota simplemente saber dónde se encuentran los automóviles monitoreados. Sin embargo, las aplicaciones posibles para los sistemas AVL pueden ser mucho más complejas que la simple localización del vehículo.

El prototipo propuesto en este trabajo permite analizar los patrones de conducta vial de los vehículos y sus operadores, ya que los dispositivos utilizados transmiten la

velocidad a la cual se desplazan los vehículos monitoreados. Utilizando la velocidad, y estableciendo el tipo de zona en la cual se mueve el automóvil a partir de la latitud y longitud, se puede determinar si se está cometiendo una infracción. Por ejemplo, si el vehículo se traslada a 65 Km/h, y a partir de la posición transmitida, se establece que lo hace en una calle de una zona urbana, entonces el vehículo está cometiendo un exceso, ya que la ley de tránsito establece una máxima de 40 Km/h para calles.

La propuesta se basa en el análisis de conducta en el manejo de vehículos, pero la velocidad no es el único dato con el que se cuenta. Los dispositivos utilizados, transmiten también el tiempo de marcha y el kilometraje recorrido, con lo cual se puede calcular el consumo de combustible. Además, se pueden utilizar estos datos para llevar un control de mantenimiento de una flota, pudiendo pronosticar y agendar fechas de servicio y recambio de piezas a partir de la distancia recorrida o las horas de uso. Por ejemplo, si un vehículo está cerca de los 10.000 kilómetros, se sabe que está próximo a un servicio de garantía para cambios de aceite y filtros. Disponiendo automáticamente de estos datos, un sistema puede decidir de antemano una fecha tentativa para realizar dichas tareas de mantenimiento y asignar otros vehículos para cubrir las actividades correspondientes.

Una flota de taxis se puede beneficiar del monitoreo para asignar móviles para diferentes viajes, determinándolos a partir de la cercanía de los mismos a los clientes solicitantes, mejorando el tiempo de respuesta y ahorrando combustible. Este tipo de mejora puede ser decisiva en un sistema de despacho de ambulancias, en el cual una mejora del tiempo de respuesta puede salvar vidas.

En [Cathey, 2003] se propone un sistema de predicción de salidas y llegadas para el transporte público utilizando AVL, asumiendo que exista una flota de vehículos que viajen sobre rutas predefinidas y una base de datos de tránsito que contenga los horarios de los itinerarios y la disposición geográfica de las rutas. En [Pangilinan, 2007] se analiza el sistema AVL de tiempo real de la Autoridad de Tránsito de Chicago, concluyendo que éste incide positivamente en la confiabilidad del servicio de colectivos, haciendo más fácil que se cumplan los horarios establecidos.

#### 4.4 Desarrollo propuesto

El desarrollo propuesto en este trabajo consiste en un sistema principalmente concebido para un control más estricto de flotas de vehículos, para todo tipo de empresa. Obviamente, diferentes empresas tienen distintos requerimientos, y precisan diversos datos acerca de sus vehículos y choferes, pero se parte de la base de que cualquier vehículo que se conduce prudentemente y dentro de los itinerarios acordados, implica un ahorro de dinero para cualquier compañía. El desarrollo propuesto permite un control estricto no solo de la ubicación de los vehículos, sino también de las distancias recorridas, las horas de marcha de motor y las conductas de manejo de los operadores en distintos tipos de zona. Esto puede ayudar a prevenir accidentes, mala utilización y gasto innecesario de combustible, además de permitir un mejor control para el mantenimiento preventivo de la mecánica de los vehículos.

Las razones por las cuales se eligió crear un sistema *web* son variadas, en general los beneficios de un sistema de este tipo son muchos. En primer lugar, el sistema es accesible desde cualquier computadora con conexión a Internet. No es necesario instalar aplicaciones especiales ni guardar datos localmente, lo cual permite cambiar de computadora e incluso de lugar de trabajo sin mayores complicaciones. Los datos del cliente son almacenados en un servidor remoto centralizadamente, lo cual permite su acceso desde cualquier lugar y facilita los procesos de copia de seguridad, evitándole esta tediosa tarea al usuario.

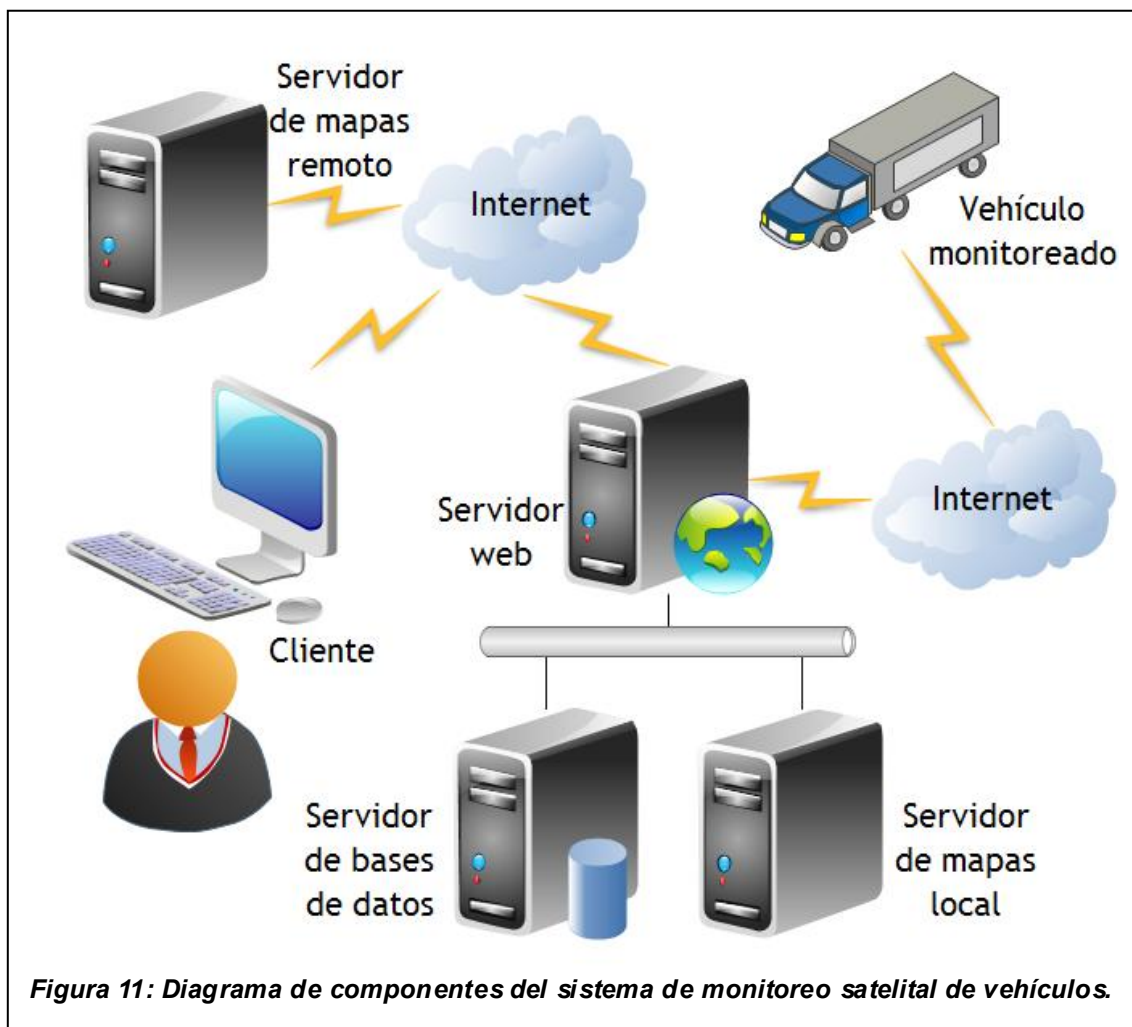
Lo único que se precisa es acceso a Internet y un navegador, esto hace que el sistema tenga independencia de la plataforma y la arquitectura de las computadoras que utiliza el cliente. Incluso, las aplicaciones *web* se pueden adaptar para su acceso desde dispositivos como teléfonos celulares.

El sistema *web* tiene la ventaja de poder utilizar diferentes GIServices provistos por distintas empresas y organizaciones en Internet, lo cual además de otorgar una mayor riqueza de contenido, nos ahorra tiempo de desarrollo. Los GIServices utilizados son constantemente actualizados por sus propios desarrolladores para mejorar su funcionalidad y corregir errores. Estas actualizaciones y las del propio sistema llegan de manera instantánea al cliente, sin necesidad de interferir en la utilización o en los

hábitos de trabajo, y asegurando que el usuario siempre estará utilizando la versión más nueva y con menos errores.

#### 4.4.1 Componentes

En la figura 11 se pueden apreciar las diferentes componentes lógicas del sistema de monitoreo satelital de vehículos.



**Figura 11: Diagrama de componentes del sistema de monitoreo satelital de vehículos.**

El recorrido de la información comienza en el dispositivo AVL instalado en el vehículo. Una vez obtenidos los datos GPS, ante un evento determinado (por ejemplo, arranque de motor, parada, cambio de rumbo, contador de tiempo expirado, etc) se transmite la localización, junto con otros datos como fecha, hora, velocidad y tipo de evento. Los datos transmitidos llegan al servidor, donde son recibidos e insertados en la base de datos para posterior análisis por parte del usuario.

El cliente puede acceder al sistema desde cualquier computadora con conexión a Internet, visualizando en la ventana del navegador los mapas producidos por los servidores de mapas, pudiendo interpretar la información de manera gráfica o mediante los reportes que el sistema provee. Para la creación de los mapas se utilizó la arquitectura WMS, explicada anteriormente, la cual posibilita la utilización de diferentes tipos de mapas no necesariamente ubicados en un mismo servidor o ámbito local. De esta manera, se utiliza cartografía propia para crear mapas simples de calles y rutas que se combinan con mapas satelitales, provistos remotamente por Google Maps, por medio del *software* libre MapServer.

#### 4.4.1.1 Servidor *web* y lenguajes utilizados

El servidor *web* Apache, es el encargado de plasmar en pantalla los mapas generados para el análisis visual de la información por parte del cliente. Es además donde se alojan el resto de las aplicaciones para generación de reportes en hojas de cálculo y el receptor de paquetes de datos de los dispositivos AVL. Las plataformas elegidas para el desarrollo de las aplicaciones son PHP<sup>26</sup> y Java<sup>27</sup>.

PHP fue elegido para el desarrollo por ser un lenguaje muy simple, además de ser una de las herramientas más populares para el desarrollo de sistemas *web*, siendo utilizado por Yahoo!<sup>28</sup>, Facebook<sup>29</sup> y Wikipedia<sup>30</sup>. PHP se integra fácilmente con el servidor *web* Apache, y ambos vienen instalados por defecto y listos para ser utilizados en la mayoría de las distribuciones Linux modernas para servidores. Existen una gran cantidad de bibliotecas de *software* para extender PHP, con funcionalidades varias. Entre ellas, se utiliza Spreadsheet Excel Writer, que provee funciones para generar planillas de cálculo en formato MS Excel.

Java es utilizado para la generación de reportes mensuales, para los cuales se analiza la información y se generan infracciones, que son almacenadas en la base de datos. A partir de las infracciones generadas, se crea una planilla de cálculo con el

---

<sup>26</sup> <http://www.php.net>

<sup>27</sup> <http://www.java.com>

<sup>28</sup> <http://www.yahoo.com>

<sup>29</sup> <http://www.facebook.com>

<sup>30</sup> <http://www.wikipedia.org>

resumen de conducta de cada vehículo y operador (véase apéndices A y B). Java es también un lenguaje muy popular, creado en un principio para el desarrollo de *applets*, que son aplicaciones ejecutadas dentro de un navegador *web*. Java permite también el desarrollo de aplicaciones de escritorio, con la ventaja de ser un lenguaje interpretado independiente de la plataforma. Otra gran ventaja es la gran cantidad de bibliotecas que se pueden utilizar para extenderlo, entre ellas se utiliza POI de la fundación Apache para la generación de planillas de cálculo.

Tanto PHP como Java son lenguajes populares de alto nivel, para los cuales existe una gran cantidad de documentación y soporte en múltiples foros, así como *frameworks* y bibliotecas para extenderlos y simplificar su uso.

#### 4.4.1.2 Servidor de bases de datos

El servidor de bases de datos PostgreSQL, es el SGBD elegido para el almacenamiento y la administración de los datos transmitidos por los equipos AVL y también para la información geográfica con la cual se generan los mapas. La información geográfica es utilizada también para los análisis de conducta de manejo, los cuales deben generar informes que determinen en qué lugares se cometieron excesos de velocidad. Para el análisis de los datos se utiliza PostGis, que es una biblioteca de funciones para el procesamiento de información geográfica que se agregan a PostgreSQL. La principal ventaja de haber elegido PostgreSQL radica en la posibilidad de contener información geográfica con funciones integradas para su análisis. Con este motor, es posible hacer consultas SQL extendidas con funciones para datos geográficos, y así en una sola consulta unir los pasos de búsqueda y análisis. Por ejemplo:

```
SELECT punto, fechayhora
FROM recorrido
WHERE ST_DWITHIN ((
    SELECT poligono
    FROM ciudad
    WHERE nombre = 'Cipolletti'), punto)
```

Esta consulta utiliza la función ST\_DWITHIN, la cual analiza si una geometría contiene a otra. En este caso, queremos ver todos los elementos de un recorrido cuyos

puntos estén dentro el polígono que delimita la ciudad de Cipolletti.

#### **4.4.1.3 Servidor y cliente**

Todas estas componentes lógicas se encuentran en un único servidor, el cual tiene instaladas todas las aplicaciones (Apache, PHP, Java, PostgreSQL, Postgis y Mapserver) que trabajan en un entorno Linux. El sistema operativo elegido es Ubuntu Server 8.04.

Finalmente el cliente sólo debe contar con una conexión a Internet y un navegador *web*. El sistema propuesto es independiente de la plataforma del cliente.

#### **4.4.2 Transmisión de datos**

Los dispositivos AVL utilizados, tienen la capacidad de transmitir datos mediante los protocolos TCP (Protocolo de control de transporte) y UDP (Protocolo de datagramas de usuario). Estos protocolos tienen grandes diferencias entre sí, ya que fueron concebidos para distintos tipos de tareas.

TCP es un protocolo de transporte fiable, que mantiene información acerca de la conexión de manera tal que tanto el emisor como el receptor sepan cuándo se inicia y cuando se termina la transmisión, reenviando cualquier fragmento que se haya perdido en el camino. En pocas palabras, TCP otorga fiabilidad en el intercambio de datos al costo de incrementar su volumen y por consiguiente el tiempo de transmisión. [Kurose, 2009]

UDP es un protocolo más simple, que no mantiene información sobre las conexiones ni garantiza que los datos lleguen a destino. En el caso que un datagrama se pierda, el protocolo no provee los mecanismos para percibir dicha pérdida y reenviar el datagrama, por lo tanto, estas tareas quedan a cargo del desarrollador de la aplicación. A pesar de esto, UDP es un protocolo muy utilizado en aplicaciones de transmisión de sonido y video, ya que no se introduce un retardo en el establecimiento de la conexión, y no es necesario reenviar paquetes perdidos, ya que estos interferirían en la fluidez de la grabación transmitida. [Kurose, 2009]

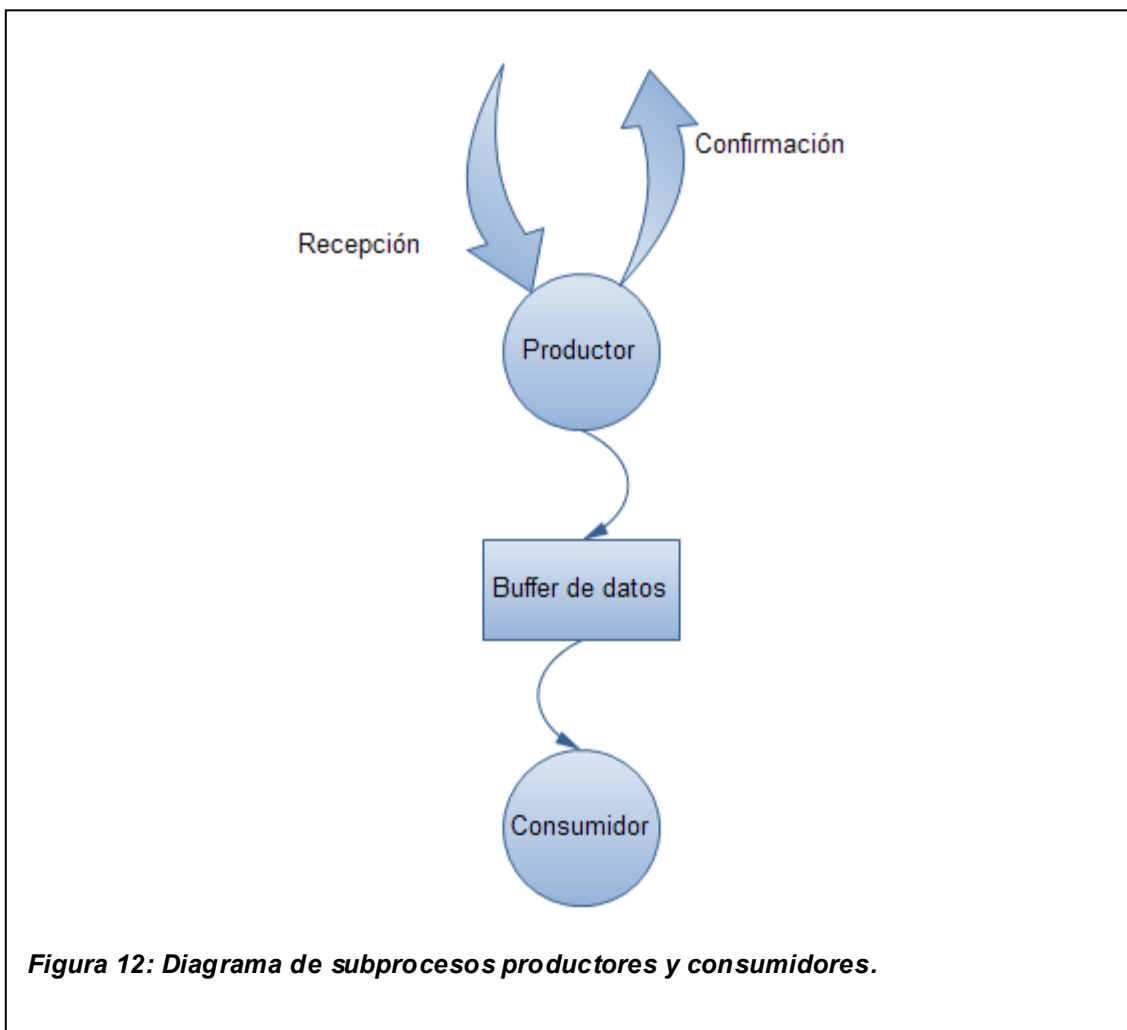
Se eligió para este sistema, la transmisión de datos por medio de UDP. Para



garantizar que los datos lleguen a destino, simplemente se contesta cada paquete con un mensaje corto de aviso, en el cual se incluye el número del paquete recibido. Una vez recibido el aviso, los dispositivos AVL descartan el paquete enviado y envían el siguiente, sino reintentan la transmisión del paquete indefinidamente.

El protocolo UDP permite transmisiones más inmediatas, de manera que nos permite saber la ubicación de los vehículos casi en tiempo real, lo cual puede llegar a ser imprescindible en ciertos casos. Además los paquetes tienen encabezados más pequeños y no se envían paquetes para establecer conexiones y desconexiones, por lo cual las transmisiones son menos y más baratas.

#### 4.4.2.1 Receptor de paquetes



**Figura 12: Diagrama de subprocessos productores y consumidores.**

El receptor de paquetes UDP ejecuta varios subprocessos o hilos que se encargan

de recibir, contestar, procesar e insertar la información en la base de datos. El paradigma utilizado es el de productor-consumidor (Figura 12), donde el productor es el hilo que recibe los paquetes y responde con un aviso al dispositivo AVL, y el consumidor es el hilo que procesa la información y la inserta en la base de datos. [Andrews, 2000]

El proceso productor recibe un paquete de datos, y genera una respuesta de confirmación para el dispositivo AVL, incluyendo un número de paquete y el número de identificación del vehículo. Una vez transmitida la respuesta, se inserta la información recibida en una cola basada en un arreglo. El proceso consumidor está bloqueado mientras no hay objetos en la cola, cuando se inserta un objeto, este es retirado, procesado e insertado en la base de datos.

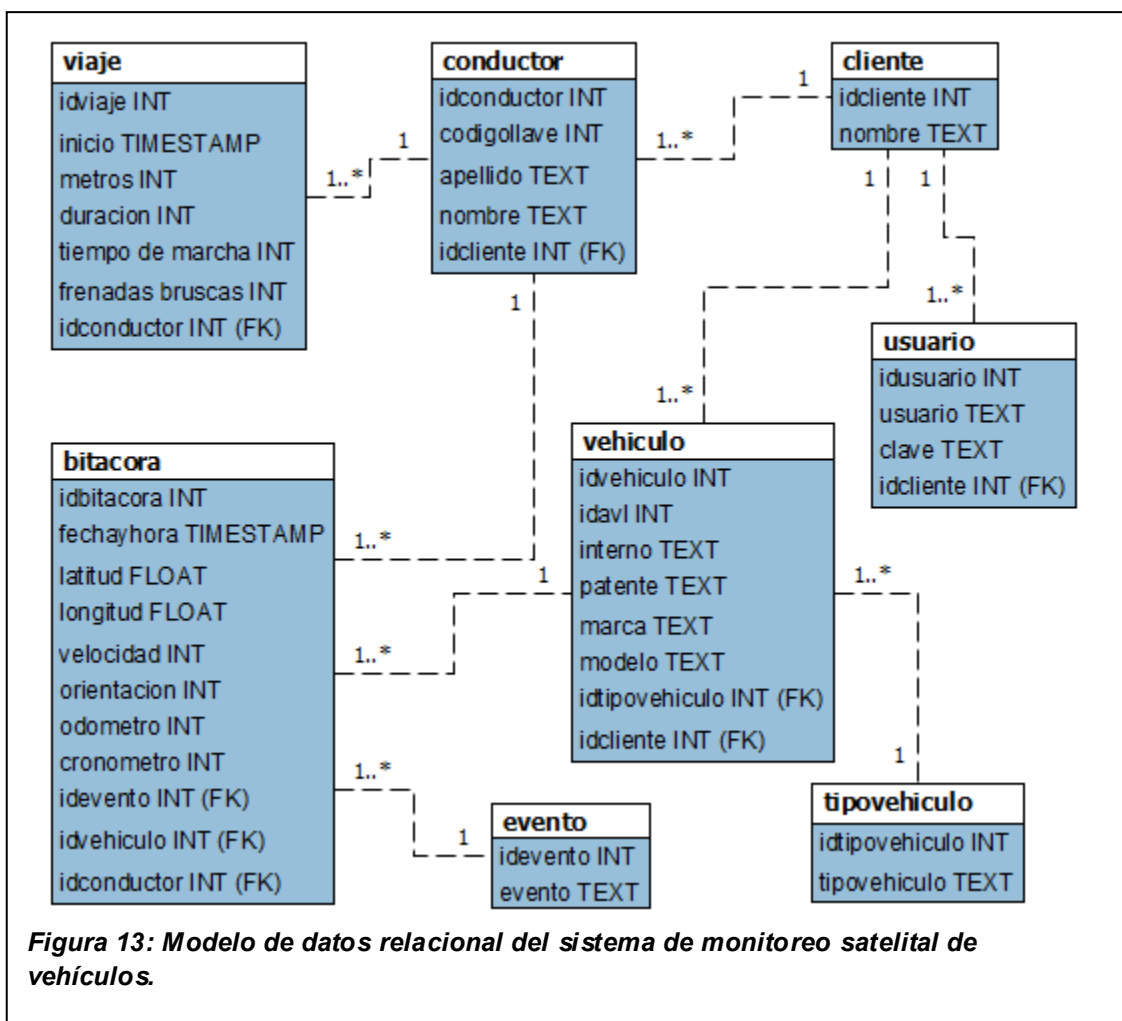
La transmisión de datos es crítica en esta aplicación. Es importante que los usuarios puedan ver la información más actual relacionada a sus vehículos en el tiempo más corto posible, siempre que la conexión de los dispositivos lo permita. Es decir, si tenemos que saber dónde se encuentran un grupo de vehículos para disponer del más cercano a una ubicación determinada, es necesario que la recepción de los datos y su posterior inserción en la base de datos sea lo más inmediata posible, de manera tal que tomemos decisiones en base a información actualizada.

Es muy importante también cuidar los costos. Debido a la importancia de los datos los dispositivos AVL siempre esperan una confirmación luego de transmitir cada paquete. Si no reciben la confirmación, entran en un tiempo de espera antes de volver a intentarlo, ya que cabe la posibilidad de que el vehículo haya perdido señal, que el proveedor GPRS tenga problemas de conexión o que el servicio de Internet del servidor sufra un corte. Si el tiempo de espera es muy corto se desperdician intentos de envío, que pueden llegar a impactar en el costo del servicio. Si ocurriera algún corte en la conexión a Internet, puede ocurrir que una vez restablecida el servidor reciba cientos de paquetes de datos al mismo tiempo. Si se utilizara un único proceso encargado de todas las tareas, durante el tiempo de procesamiento e inserción se pueden perder muchos paquetes, los cuales deberían ser reenviados más tarde por los dispositivos. Esto puede aumentar el costo del servicio por la cantidad de retransmisiones, además de afectar al usuario por no disponer de datos actualizados.

Utilizando procesos separados para estas actividades, se solucionan estos problemas, ya que se pueden generar las confirmaciones rápidamente, y volver a recibir otro paquete sin necesidad de esperar a que el anterior sea procesado e insertado en la base de datos.

#### 4.4.3 Modelo de datos

En la figura 13 se puede observar el modelo de datos para el almacenamiento de la información transmitida desde los vehículos.



En la tabla “bitácora” se almacenan todos los eventos transmitidos por todos los dispositivos. Cada entrada en la bitácora pertenece a un único vehículo y opcionalmente a un conductor, ya que si el conductor no se identifica, no se sabe quién conduce el vehículo y por ende quién generó el evento. Cada entrada en la bitácora corresponde a alguno de los siguientes eventos:

- Ignición: Se dispara en el momento en que el vehículo arranca.
- Parada: Se dispara en el momento en que el motor se detiene.
- Marcha: El vehículo se encuentra en marcha y en movimiento.
- Ralentí: El vehículo se mantuvo en marcha en el mismo lugar durante una cantidad de segundos determinada.
- Exceso: Se dispara en el momento en que el vehículo supera una velocidad determinada.
- Fin de Exceso: Se dispara cuando el vehículo vuelve a una velocidad por debajo de la máxima estipulada.
- Frenada brusca: Se puede parametrizar de acuerdo al tipo de vehículo, estableciendo una disminución en la velocidad en una cierta cantidad de tiempo.

Todos los eventos incluyen información básica, como latitud, longitud, velocidad, fecha y hora, rumbo, odómetro, cronómetro de marcha, número de identificación de vehículo y número de identificación de llave de chofer. A partir del número de llave se averigua el número de identificación del conductor al cual pertenece.

El odómetro y el cronómetro de marcha, nos dicen la distancia recorrida y el tiempo de utilización del vehículo, pero estos valores no sirven para saber cuánto condujo un chofer. Cada vez que un chofer termina de conducir un vehículo, se transmite un paquete con información acerca del viaje que realizó, incluyendo el tiempo de marcha, la distancia recorrida, la cantidad de frenadas bruscas y la hora de inicio del viaje. Esta información se almacena en la tabla “viaje”, un viaje pertenece a un único conductor. De esta manera, cuando se genera un reporte de cualquier tipo, se sabe cuánto condujo cada chofer (en tiempo y distancia).

Tanto los conductores como los vehículos tienen varias entradas en la bitácora y pertenecen a un único cliente. Cada cliente tiene su información de autenticación asociada en la tabla usuario. Por último, cada vehículo pertenece a un tipo. Se diferencia entre los siguientes tipos de vehículo:

- Auto
- Motocicleta

- Camioneta
- Utilitario
- Microbus
- Colectivo
- Camión
- Maquinaria pesada
- Maquinaria agrícola

Al diferenciar los tipos de vehículo, se puede mostrar diferentes íconos sobre el mapa que permiten una distinción más fácil al usuario, además cada tipo de vehículo tiene asociadas diferentes reglas de velocidad en los distintos tipos de camino.

#### **4.4.3.1 Particiones**

PostgreSQL provee la capacidad de crear particiones de tablas. Esto significa, que una tabla lógica, está compuesta de varias tablas físicas, cada una con diferentes rangos de información. El particionado puede ser muy beneficioso en ciertos casos. La performance de las consultas puede mejorar en algunas situaciones, particularmente cuando la mayoría de las filas con mayor cantidad de accesos de la tabla se encuentran en una sola partición o en un número reducido de ellas. El particionado reduce el tamaño de los índices permitiendo en ciertos casos que las partes más utilizadas de éstos quepan en la memoria de acceso aleatorio. [PostgreSQL, 2009]

Esta situación se da en el modelo de datos de la figura 10, en el cual la tabla bitácora tiene particiones por cada mes que transcurre. Los datos más solicitados son los datos más actuales, es decir, mientras más vieja es la información, menos se la consulta. Por lo tanto, teniendo una partición separada para el mes corriente, el tamaño de la tabla y el índice son menores, haciendo de las consultas y la generación de reportes mensuales una tarea más rápida.

Otra ventaja es la facilidad de borrado, ya que para eliminar información vieja, simplemente se deben borrar las particiones que la contienen. Si no se quiere eliminar la información, se puede migrar fácilmente a un almacenamiento más barato y lento.

Con 600 vehículos y un promedio de 250 transmisiones diarias, se generan 4.500.000 filas mensuales, que equivalen a más de 1 GB de información. Si juntamos información durante varios meses en una sola tabla, eventualmente su tamaño superará al de la memoria de acceso aleatorio, impactando en la eficiencia de las consultas.

Las particiones se definen mediante la herencia, un concepto orientado a objetos que provee PostgreSQL. Suponiendo que se tienen dos tablas, definidas por el siguiente código:

```
CREATE TABLE capitales (  
  nombre      text,  
  población   int,  
  latitud     real,  
  longitud    real,  
  provincia   char(20)  
);  
  
CREATE TABLE no_capitales (  
  nombre      text,  
  población   int,  
  latitud     real,  
  longitud    real  
);
```

Para ver un listado de todas las ciudades, tenemos que hacer una consulta bastante compleja utilizando la cláusula UNION:

```
SELECT nombre, poblacion, altitud FROM capitales  
UNION  
SELECT nombre, poblacion, altitud FROM no_capitales;
```

PostgreSQL es un SGBD con características orientadas a objetos. Estas características nos permiten, entre otras cosas, crear nuestros propios objetos y utilizar herencia a la hora de definir nuestras tablas. Utilizando la herencia, se puede solucionar este problema de una manera más sencilla:

```
CREATE TABLE ciudades (  
  nombre      text,  
  población   int,  
  latitud     real,  
  longitud    real  
);  
  
CREATE TABLE capitales (  
  provincia   char(2)  
) INHERITS (ciudades);
```

En este caso, la tabla “capitales” hereda todas las columnas de la tabla “ciudades”, ya que una capital es una ciudad.

Una consulta sobre todas las ciudades (capitales y no capitales) no requiere de la cláusula UNION:

```
SELECT nombre, poblacion
FROM ciudades
WHERE poblacion > 1000000;
```

Esto retorna todas las ciudades que superan el millón de habitantes:

```
   nombre   | poblacion
-----+-----
Buenos Aires | 2891082
Córdoba     | 1309536
Rosario     | 1159004
(3 rows)
```

Ciudades capitales y no capitales por igual.

Para definir particiones, se definen tablas que heredan de una tabla principal agregando restricciones. En el caso de la tabla “bitácora”, se creó una tabla maestra con todas las columnas y una tabla hija por cada mes, de la siguiente manera:

```
CREATE TABLE bitacora (
  idbitacora BIGSERIAL,
  idvehiculo integer NOT NULL ,
  fechayhora timestamp with time zone NOT NULL ,
  latitud float NOT NULL ,
  longitud float NOT NULL ,
  velocidad integer NOT NULL ,
  orientacion integer NOT NULL ,
  odometro integer NULL ,
  cronometro integer NULL ,
  idevento integer NOT NULL ,
  idconductor integer NULL
);
```

Esta es la tabla “bitácora” completa, sin ningún tipo de restricción, índice o claves foráneas declaradas.

```

CREATE TABLE bitacora201102 (
    CHECK (fechayhora >= timestamp '2011-02-01' AND
           fechayhora < timestamp '2011-03-01'),
    PRIMARY KEY(idbitacora) ,
    FOREIGN KEY (idevento)
    REFERENCES evento (idevento),
    FOREIGN KEY (idconductor)
    REFERENCES conductor (idconductor),
    FOREIGN KEY (idvehiculo)
    REFERENCES vehiculo (idvehiculo)
) INHERITS (bitacora);

```

Esta es la tabla que hereda todas las columnas de “bitácora”, declarando las claves foráneas. En esta tabla solamente se pueden almacenar filas que contengan una fecha dentro del mes de febrero de 2011. La cláusula CHECK genera una restricción que impide que se almacenen datos cuya fecha esté fuera del mes de febrero.

Por último es necesario declarar un *trigger* (o disparador) de inserción, el cual evaluará en qué tabla se debe insertar una fila, analizando el parámetro fechayhora.

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION insert_trigger()
    RETURNS trigger AS
$BODY$
DECLARE
    anio text;
    mes int;
    tabla text;
    sentencia text;
BEGIN
    anio := extract(YEAR FROM NEW.fechayhora);
    mes := extract(MONTH FROM NEW.fechayhora);
    tabla := 'bitacora' || anio;

    IF (mes < 10) THEN
        tabla := tabla || '0';
    END IF;

    tabla := tabla || mes;
    select new into sentencia;

    sentencia := $$INSERT INTO $$ || tabla ||
    $$ SELECT ($$ || quote_literal(sentencia) || $$::bitacora).*$$;
    EXECUTE sentencia;
    RETURN NULL;
END;
$BODY$
LANGUAGE 'plpgsql' VOLATILE
COST 100;
ALTER FUNCTION bitacora insert_trigger() OWNER TO pinchi;

```



Esta es la función que analiza el parámetro `fechayhora`, y a partir del mes al que pertenece ejecuta una sentencia que inserta la fila en la tabla correspondiente. El trigger que ejecuta esta función se define de la siguiente manera:

```
CREATE TRIGGER bitacora_trigger
  BEFORE INSERT
  ON bitacora
  FOR EACH ROW
  EXECUTE PROCEDURE insert_trigger();
```

Antes de la inserción en la tabla “bitácora” se ejecuta el procedimiento “`insert_trigger`”, que se encarga de elegir la tabla correcta.

#### 4.4.4 Procedimientos almacenados

Para simplificar el análisis de la información geográfica, se crearon algunos procedimientos almacenados, que ayudan a procesar los datos y generar los reportes de excesos e itinerarios. Por ejemplo, para determinar el tipo de región que encierra a un punto determinado y la velocidad máxima, se definió un procedimiento.

Antes de esto, se creó primero un tipo de dato de usuario, para utilizarlos en los procedimientos y poder retornar tuplas:

```
CREATE TYPE lugarytipo AS (lugar TEXT, tipo INT);
```

Este es un tipo de dato simple, que contiene una cadena de texto y un dato entero, es en general utilizado para retornar el nombre de alguna zona en particular (ruta, autopista, camino, ciudad, yacimiento, etc) y el tipo asociado a esa zona. Con los distintos tipos se diferencian las reglas de velocidad, ya sea para regiones (polígonos) o rutas y calles (líneas).

A continuación se muestra la declaración del procedimiento almacenado que retorna la región en la cual se ubica un punto:

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION region (double precision, double precision)
  RETURNS lugarytipo AS
$BODY$
DECLARE
  yacimiento VARCHAR := NULL;
  ciudad VARCHAR := NULL;
  regiones refcursor;
  lyt lugarytipo;
  región TEXT;
  tipo INTEGER;
BEGIN
  OPEN regiones FOR SELECT nombre, tipo FROM poligonos WHERE
  ST_DWithin(geometria, ('POINT(' || $2 || ' ' || $1 || ')')) LIMIT 2;

  FOR i IN 1..2 LOOP
    FETCH regiones into region, tipo;
    IF region IS NOT NULL THEN
      IF tipo <= 3 AND ciudad IS NULL THEN
        ciudad := region;
        lyt.tipo = 1;
      ELSIF tipo = 4 AND yacimiento IS NULL THEN
        yacimiento := region;
        lyt.tipo = 2;
      END IF;
    ELSE
      CONTINUE;
    END IF;
  END LOOP;

  IF ciudad IS NOT NULL THEN
    lyt.lugar := ciudad;
    IF yacimiento IS NOT NULL THEN
      lyt.lugar := lyt.lugar || ' (Yacimiento ' || yacimiento || ')';
    END IF;
  ELSIF yacimiento IS NOT NULL THEN
    lyt.lugar := yacimiento;
  END IF;

  RETURN lyt;
END;
$BODY$
LANGUAGE 'plpgsql' STABLE;

```

En este procedimiento se establece si un punto se localiza en una ciudad, en un yacimiento o en ambos. Hay ciertos yacimientos que encierran ciudades, lo cual hace un poco más compleja la decisión de la velocidad máxima. Las reglas son las siguientes:

- La velocidad máxima en una ciudad es de 40 km/h, a menos que se circule sobre una ruta, en cuyo caso la máxima es 60 km/h.
- La velocidad máxima en un yacimiento es de 40 km/h para vehículos pesados y de 60 km/h para vehículos livianos, a menos que se circule sobre ruta, en cuyo

caso la máxima es de 80 km/h para vehículos pesados y 110 km/h para vehículos livianos.

Cuando se circula en una ciudad encerrada en un yacimiento, prevalecen las reglas de ciudad, por lo cual en la consulta se extraen hasta dos regiones que encierren a un punto. En el caso anterior, la consulta retornaría una ciudad y un yacimiento, en cuyo caso el procedimiento retornará el nombre de la ciudad y la aclaración del yacimiento entre paréntesis, y el tipo 1, que nos indica que prevalecen las reglas de ciudad. A partir de estos datos, sabemos si estamos en una zona tipo 1 (reglas de ciudad) o tipo 2 (reglas de yacimiento). Sólo resta averiguar en qué tipo de camino se circula:

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION interseccion (double precision, double
precision)
  RETURNS lugarytipo AS
$BODY$
DECLARE
  interseccion VARCHAR;
  calles refcursor;
  lyt lugarytipo;
  calle VARCHAR;
BEGIN
  OPEN calles FOR SELECT nombre, tipo FROM lineas WHERE
  ST_DWITHIN(geometria, ('POINT(' || $2 || ' ' || $1 || ')'), 0.001)
  ORDER BY ST_DISTANCE(geometria, ('POINT(' || $2 || ' ' || $1 || ')'))
  LIMIT 2;

  FETCH calles INTO lyt;

  IF lyt.lugar IS NULL THEN
    RETURN lyt;
  END IF;

  FETCH calles INTO calle;

  IF calle IS NOT NULL THEN
    IF substring(calle from 1 for 1) = 'I' THEN
      lyt.lugar := lyt.lugar || ' e ' || calle;
    ELSE
      lyt.lugar := lyt.lugar || ' y ' || calle;
    END IF;
  END IF;

  RETURN inter;
END;
$BODY$
LANGUAGE 'plpgsql' STABLE;
```

El procedimiento “intersección” hace una consulta que retorna las dos líneas más

cercanas al punto, ordenadas por su distancia al mismo. La primera línea del listado, se asume como el camino sobre el cual se ubica el punto, la segunda línea se asume con la intersección más cercana. Se retorna nulo si no hay caminos cercanos o el nombre del camino sobre el cual se ubica el punto más la intersección (si hubiera alguna), junto con el tipo de camino (si es ruta, calle o camino de ripio).

#### 4.4.4 Servidores de mapas

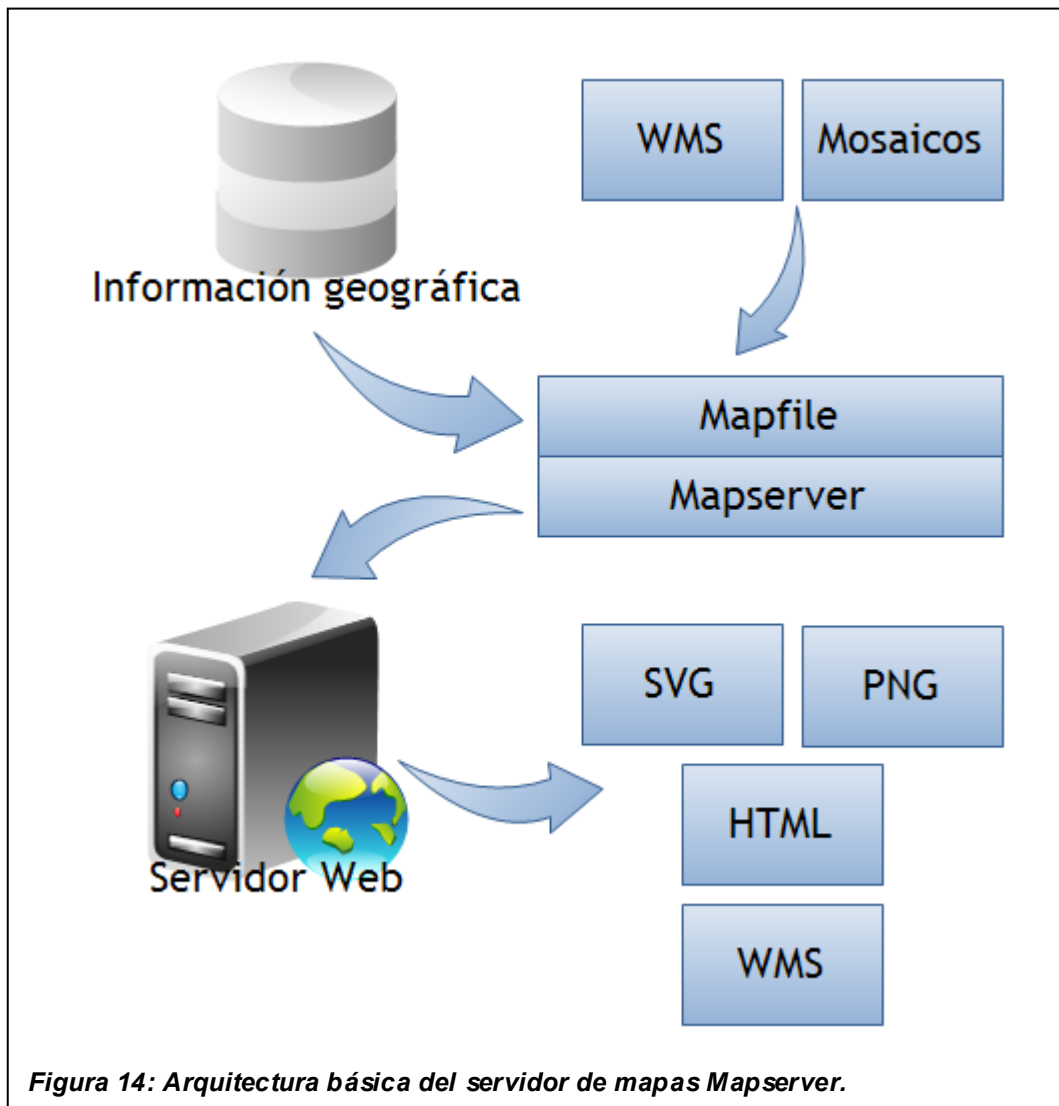


Figura 14: Arquitectura básica del servidor de mapas Mapserver.

Un servidor de mapas es una aplicación que genera imágenes a partir de información geográfica. Mapserver es el servidor de mapas utilizado en este desarrollo, y es utilizado principalmente para superponer información sobre calles y caminos almacenados en la base de datos geográfica sobre las imágenes satelitales de Google

Maps. Google Maps contiene información geográfica propia, con nombres de calles y rutas, pero no de todas las ciudades, áreas rurales y yacimientos petrolíferos, por lo cual es necesario tener un mapa personalizado con información geográfica propia.

La figura 14 muestra a grandes rasgos cómo funciona Mapserver. A partir de la información geográfica y de otros servidores de mapas, se establecen diferentes capas en un archivo de configuración o *Mapfile*, que luego serán mostradas por el servidor *web* en una variedad de formatos. Las diferentes capas pueden conformarse con datos de distintas fuentes que pueden ser bases de datos, archivos de información vectorial (por ejemplo, archivos en formato Shapefile) u otras aplicaciones servidoras de mapas que cumplan con el estándar WMS o utilicen mosaicos (como Google Maps). En el archivo de configuración se establece el área del mapa a generar y el formato gráfico a utilizar (PNG, SVG, PDF, etc). Además se puede elegir entre una variedad de proyecciones, de acuerdo a las necesidades del usuario. Por último, se puede establecer como servidor WMS para proveer mapas a otros sistemas. Mapserver se encarga de leer el archivo de configuración y generar los datos de salida a partir de las distintas fuentes de información.

Por defecto, cuando se ingresa al sistema propuesto en este trabajo, se muestra el mapa satelital provisto por Google superponiendo las calles y rutas de la cartografía propia. La cartografía propia se encuentra almacenada en la base de datos utilizando las estructuras de datos de PostGIS. Al momento de escribir este trabajo, la cartografía de Google no es completa para nuestro país, sobre todo en la provincia de Río Negro, donde solamente se encuentran datos suficientes para las ciudades de Viedma y San Carlos de Bariloche. Para subsanar esta falta de información, se utiliza cartografía propia que se superpone a las imágenes satelitales utilizando Mapserver, que convierte esta información en mosaicos compatibles con Google Maps en formato PNG (véase 3.4.1.2 Web Map Service (WMS), figura 6).

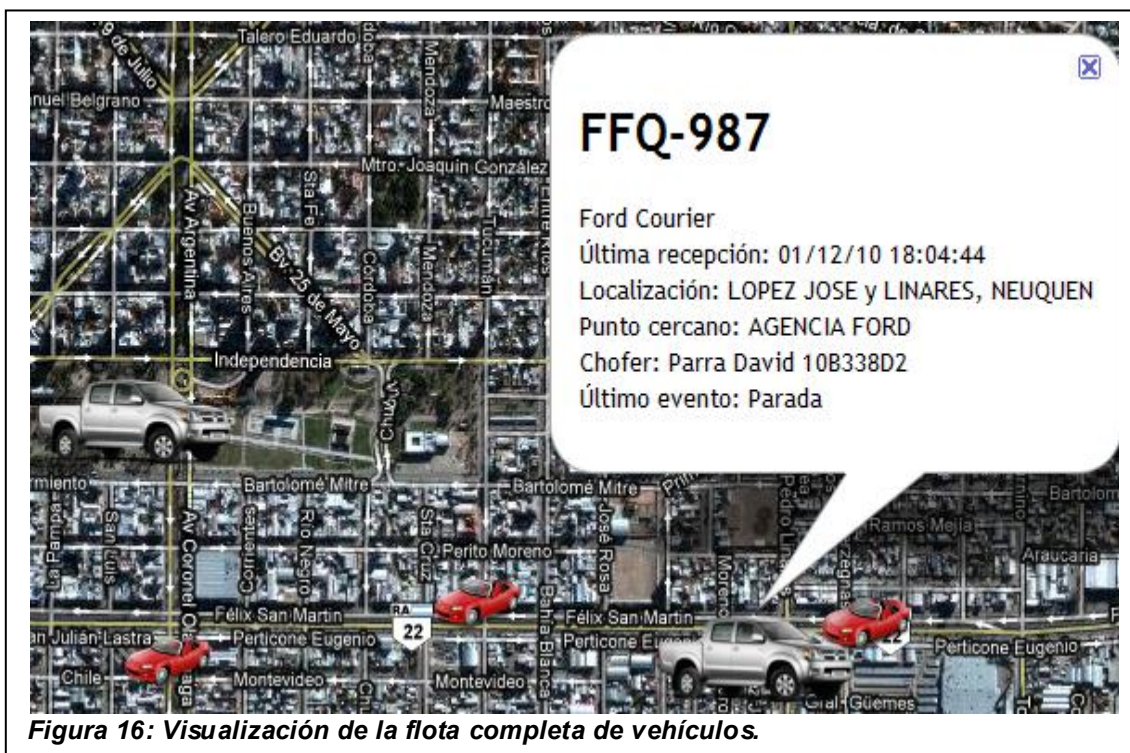
La cartografía cargada en la base de datos consiste de polígonos, líneas y puntos que representan ciudades, caminos y puntos de referencia, respectivamente. Se posee información geográfica de Argentina, Chile, Uruguay, Paraguay, Bolivia y Colombia, la cual se puede observar superpuesta sobre el mapa satelital de Google. Dicha

información se puede cambiar por la cartografía de Google Maps mediante el menú de tipos de mapa (Figura 15) habilitando la casilla “Etiquetas”. En el menú de tipos de mapas, podemos elegir entre las imágenes satelitales, un mapa político y un mapa físico-político (activando la casilla “Relieve”).



**Figura 15: Menú de selección de tipo de mapa de Google Maps.**

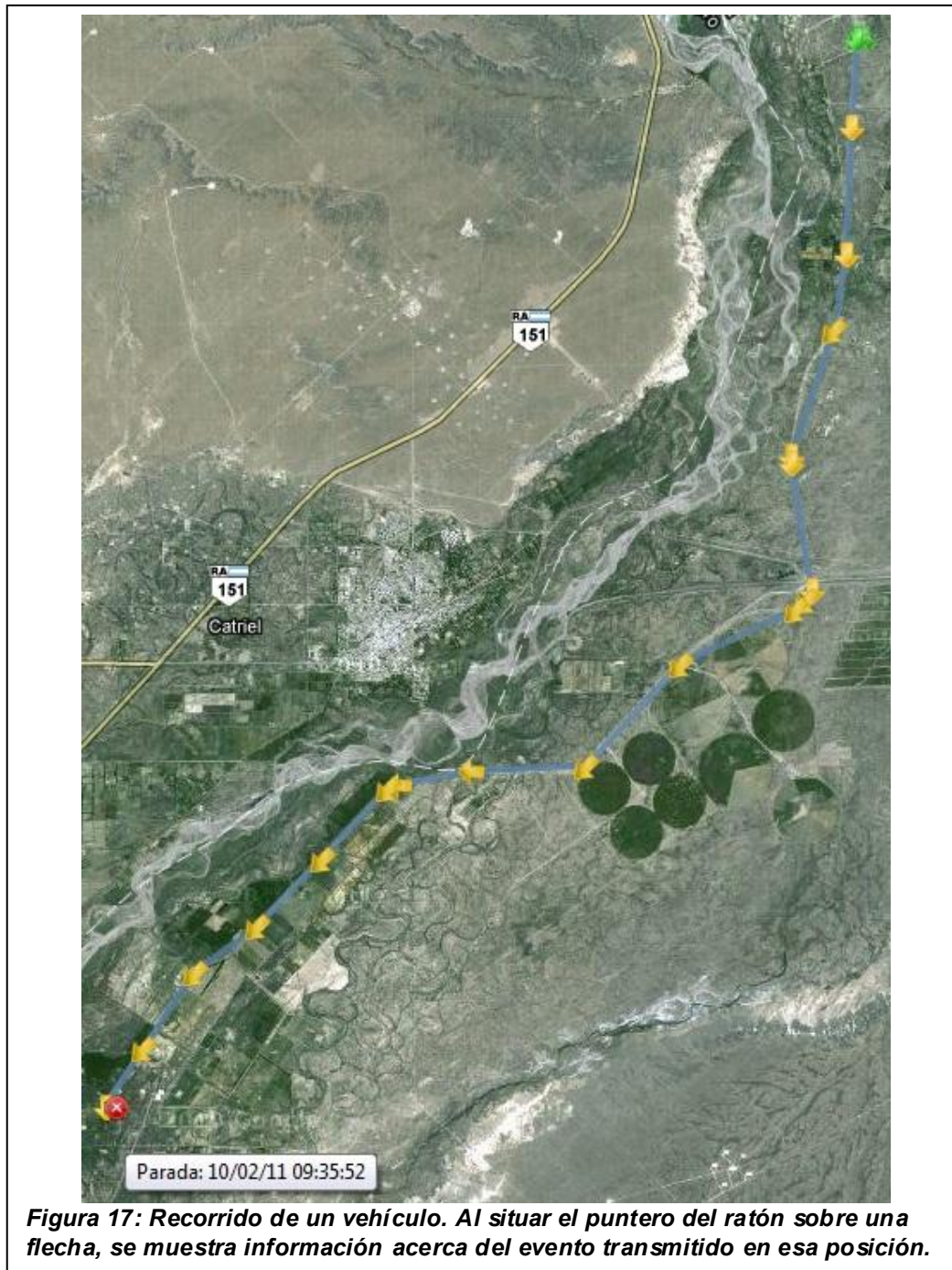
Para mostrar la posición actual de todos los vehículos, se utiliza la API de Google Maps asignando imágenes a los diferentes vehículos en las coordenadas donde se encuentran. Haciendo clic en un vehículo se puede acceder a la información de su última ubicación (Figura 16). Los globos de diálogo son una herramienta provista también por Google Maps y se construyen con una sencilla sentencia JavaScript.



**Figura 16: Visualización de la flota completa de vehículos.**

Para mostrar los recorridos de cada vehículo, se utiliza también la API de Google Maps para dibujar líneas sobre las imágenes satelitales. En cada punto de transmisión, se coloca una flecha que muestra el rumbo aproximado del vehículo, con

una descripción del tipo de evento o la velocidad pico alcanzada (Figura 17). Las flechas denotan diferentes rangos de velocidad, dependiendo del tipo de vehículo. Las flechas verdes son para velocidades inferiores a los 41 Km/h.



Para vehículos livianos, se utilizan flechas amarillas hasta los 109 Km/h, para vehículos pesados se hace hasta los 79 Km/h. A partir de estas velocidades, se utilizan

flechas de color rojo. La línea azul es una poli-línea creada mediante la API de Google Maps, cuya única función es la de establecer el camino aproximado que siguió un vehículo conectando los puntos, no siguiendo caminos reales. La ventaja de las poli-líneas creadas mediante la API de Google Maps es que, una vez superpuestas, éstas se adaptan automáticamente a los niveles de zoom seleccionados por el usuario.

#### **4.4.5 Reportes**

El sistema tiene la capacidad de generar reportes en planilla de cálculo, con formato de MS Excel. Existen los reportes de itinerario, que simplemente muestran un listado completo de toda la actividad de un vehículo, incluyendo intersecciones, ciudades, puntos de referencia, nombre del conductor, velocidades y los tipos de evento. También se incluye la distancia recorrida, tiempo de actividad y velocidad pico alcanzada.

Las celdas que indican la zona, muestran la intersección de calles y la ciudad. Estas celdas tienen un hipervínculo al mapa de Google Maps de la zona especificada. Esto resulta útil en casos en los que no se conoce la dirección o si no hay información geográfica relacionada a las coordenadas del evento.

También se pueden generar reportes de excesos, en un intervalo de hasta 7 días. Además se genera un reporte mensual de excesos los primeros días de cada mes. Estos reportes de excesos se generan a partir de una serie de reglas que se describen con detenimiento en el apéndice A.

Los reportes mensuales de excesos, tienen un enlace en cada vehículo y conductor, de manera de poder descargar un detalle (también en una planilla de cálculo) de todas las infracciones cometidas, incluyendo la velocidad de exceso, el tiempo (donde corresponde), la fecha y hora del suceso, la regla por la cual se considera infracción y la ubicación geográfica.

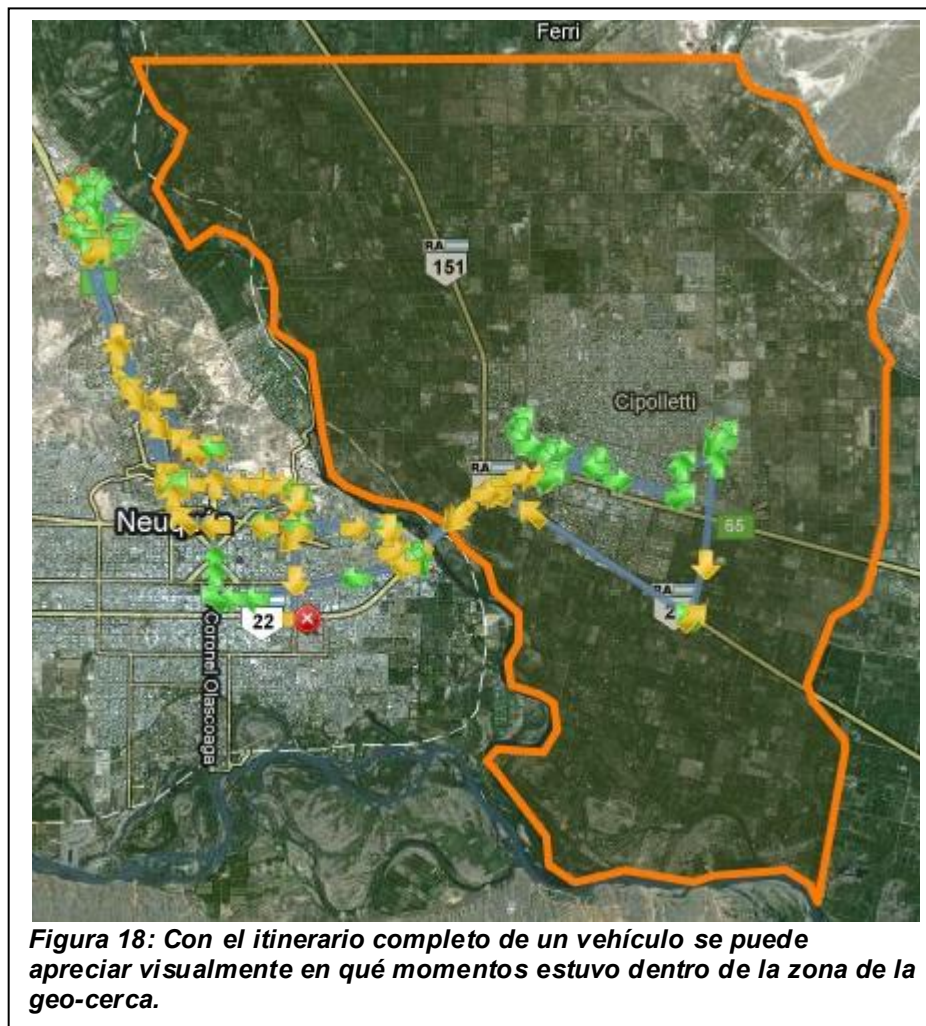
En el apéndice B se incluyen una planilla completa del recorrido de un vehículo y una planilla de excesos de una flota, junto con un detalle de ejemplo.



#### 4.4.6 Geo-cercas

Una geo-cerca es un perímetro virtual que delimita un área geográfica real [Wikipedia, 2011b]. La aplicación web, provee herramientas para crear geo-cercas y para importarlas desde archivos KML con polígonos dibujados en Google Earth (ver apéndice C).

Una geo-cerca delimita un área y opcionalmente tiene asociada una velocidad máxima. Cuando se generan reportes de itinerario, éstos pueden ser filtrados por una geo-cerca, de manera que solamente se muestre la actividad ocurrida en el área delimitada y que haya excedido la máxima.



En caso de no tener una máxima asociada, directamente se muestra toda la actividad ocurrida en la zona en el intervalo de tiempo seleccionado. Esto también se

puede llevar a cabo gráficamente, ya que cuando se selecciona una geo-cerca, ésta se dibuja sobre el mapa, y fácilmente se puede diferenciar la actividad que ocurrió dentro de la zona o fuera de ella (Figura 18).

Un reporte de itinerario se genera a partir de los datos devueltos por una consulta SQL relativamente sencilla, simplemente se tienen que extraer de la base de datos todos los registros pertenecientes a un vehículo en el intervalo de tiempo seleccionado por el usuario. La siguiente es la sentencia SQL utilizada para los reportes de itinerario (tanto en MS Excel como en línea).

```
SELECT fechayhora, latitud, longitud, velocidad,
       odometro, cronometro, orientacion, idconductor,
       (SELECT apellido || ' ' || nombre
        FROM conductor c
        WHERE b.idconductor = c.idconductor) as nombre
FROM bitacora b
WHERE b.idvehiculo = ?
      AND b.fechayhora BETWEEN ? AND ?
ORDER BY b.fechayhora
```

Como se puede apreciar, simplemente se extraen los datos de un vehículo y sus choferes en un intervalo de tiempo y se los ordena cronológicamente. Con algunos cambios, se pueden filtrar todos los eventos que no ocurrieron dentro de una geo-cerca, como se muestra a continuación:

```
SELECT fechayhora, latitud, longitud, velocidad,
       odometro, cronometro, orientacion, idconductor,
       (SELECT apellido || ' ' || nombre
        FROM conductor c
        WHERE b.idconductor = c.idconductor) as nombre
FROM bitacora b, geocerca g
WHERE b.idvehiculo = ?
      AND b.fechayhora BETWEEN ? AND ?
      AND g.idgeocerca = ?
      AND b.velocidad > g.maxima
      AND ST_Within(
          ST_SetSRID(ST_MakePoint(b.longitud, b.latitud), 4326),
          g.geometria)
ORDER BY b.fechayhora
```

Los datos extraídos son los mismos que en la sentencia anterior, la única diferencia está en las condiciones, en las cuales se filtra todo registro cuya ubicación esté fuera del área delimitada por la geometría de la geo-cerca correspondiente. Para esto es necesario primero crear otra geometría para cada punto representado por latitud y longitud utilizando la función de PostGis “ST\_MakePoint”. Es necesario establecer que esta geometría pertenece al mismo sistema de referencia geodésico que la de la geo-cerca, para lo cual nos valemos de la función “ST\_SetSRID”, enviándole como parámetro el SRID (Spatial Reference ID) 4326 (el ID para el sistema de referencia geodésico WGS84). Por último se utiliza la función ST\_Within, que toma como parámetros dos geometrías, y determina si la primera está completamente dentro de la segunda. De esta manera se filtran todos los registros cuya posición yace fuera de la geo-cerca. También se filtran todos los registros cuyas velocidades no exceden la máxima establecida para la geo-cerca.

## 5. Conclusión y trabajos futuros

---

Los sistemas de información geográfica son de utilidad en una gran variedad de actividades y profesiones ayudando en la toma de decisiones. Actualmente son una herramienta de gran importancia para empresas y organizaciones gubernamentales. La comunidad *open source* provee herramientas muy importantes para el desarrollo de SIG, las cuales son utilizadas incluso en aplicaciones comerciales. Existe una gran variedad de aplicaciones y sistemas de código abierto de suma utilidad para crear sistemas de información geográfica, desde sistemas de gestión de bases de datos hasta servidores de mapas, de los cuales muchos son compatibles con los estándares OGC.

Actualmente, los SIG están más orientados a sistemas *web*, lo cual se refleja en los estándares OGC, en este trabajo se mostró cómo con el estándar WMS es posible integrar varios mapas de distintas fuentes en una aplicación sin necesidad de recolectar y administrar la información geográfica y sin necesidad de conexiones locales entre servidores. Los SIG distribuidos permiten la utilización de herramientas y datos remotamente por medio de Internet, dando la posibilidad de un desarrollo más rápido de sistemas personalizados. Otro estándar importante es GML, el cual establece las bases para la creación de archivos de datos geográficos que permiten compartir información entre diferentes sistemas. KML es un formato nacido de GML, principalmente utilizado en las aplicaciones de Google. Todos estos estándares y tecnologías están convergiendo en SDI (Spatial Data Infrastructure), que es una nueva forma de pensar los SIG como servicios *web*, los cuales proveen información y herramientas para un uso distribuido y descentralizado. Al estandarizar la forma en la cual se comparten herramientas e información, es posible utilizar servicios *web* para agregar funcionalidad e información a un SIG.

Se puede sacar mucho provecho de los SIG para el monitoreo de vehículos, ya sea para analizar conductas de manejo, estimar consumos de combustible, estimar tiempos de arribo o para sistemas de emergencia en los cuales se debe ubicar el vehículo más cercano a un accidente o situación crítica, tanto para fuerzas médicas o de seguridad. La localización y monitoreo de vehículos a mejorado en varios aspectos con

el tiempo, primero por las grandes mejoras en el posicionamiento GPS, sobre todo después del año 2000, cuando se eliminó la disponibilidad selectiva. Actualmente se están comenzando a utilizar nuevos dispositivos con la capacidad de combinar el sistema GPS con otros GNSS (Global Navigation Satellite System, Sistema Global de Navegación por Satélite) como GLONASS de Rusia. A futuro se espera utilizar también el sistema Galileo de la Unión Europea, dando mayor precisión al posicionamiento global. Actualmente China está en proceso de preparación de su propio GNSS, llamado COMPASS. La empresa Trimble Navigation, conocida por sus variados productos para posicionamiento, promete incluir en su próxima generación de receptores GNSS las cuatro tecnologías<sup>31</sup>.

También mejoran las comunicaciones, actualmente GPRS es el sistema más difundido para transmisión inalámbrica de datos, pero ya está siendo reemplazado en nuestro país, por todas las operadoras, con el sistema 3G, que proveerá un mayor ancho de banda permitiendo transmitir información como fotografías, voz y video en vivo. El cambio a redes 3G permitirá transmitir una mayor cantidad de datos, lo cual puede beneficiar al monitoreo de vehículos agregando aspectos de seguridad entre otras posibilidades.

A futuro se pueden desarrollar nuevas herramientas y aplicaciones asociadas al desarrollo propuesto. Los dispositivos AVL descritos en el capítulo 4, permiten llevar un control no solo sobre la ubicación del vehículo, sino también sobre las distancias recorridas y tiempos de marcha. A partir de estos dos datos es posible crear un sistema de seguimiento y mantenimiento de vehículos, el cual pueda dar avisos automáticamente cuando un vehículo supera o está cerca de un kilometraje o tiempo de marcha, definiendo tareas de mantenimiento a realizar en cada caso. De esta manera, se puede simplificar el proceso de mantenimiento de los vehículos y llevar un control más estricto sobre las tareas realizadas. Además, se podría saber con antelación la disponibilidad de vehículos en un período de tiempo. Por ejemplo, si a principio de mes se crea una agenda de vehículos y los trabajos a realizar, se puede descartar a aquellos que tienen pendientes tareas de mantenimiento, o se puede asignar a trabajos cortos a aquellos que están cerca de precisarlas.

---

<sup>31</sup> [http://www.trimble.com/srv\\_new\\_era.shtml](http://www.trimble.com/srv_new_era.shtml)

Otra extensión útil está relacionada con las geo-cercas. Es posible actualmente saber si un vehículo estuvo dentro de una zona o no y si superó una cierta velocidad, pero no es posible saberlo inmediatamente (por motivos de seguridad, por ejemplo). Existen vehículos que son en extremo costosos y puede ser de gran importancia para sus dueños o encargados enterarse rápidamente si no se encuentran en donde corresponde, o si salieron de un perímetro determinado. Los dispositivos AVL descritos poseen la capacidad de definir geo-cercas internamente, las cuales pueden servir para disparar eventos en caso de salir fuera de ellas. Esto permitiría enviar un SMS o un paquete de datos con un número de evento especial a la central de monitoreo, donde se distinguiría dicho paquete para disparar un aviso a partir del cual enviar un mail o llamar por teléfono a la persona encargada (como es el caso de las alarmas hogareñas monitoreadas). El problema radica en que un vehículo no siempre estará asignado a la misma zona, por lo cual sería necesario reprogramar la geo-cerca cada vez que sea cambiado de lugar. Esto lo podría hacer el usuario del sistema por medio de la herramienta de carga de geo-cercas, dibujando una geo-cerca y asignándola al vehículo en cuestión con la posibilidad de elegir qué tipo de aviso prefiere recibir en caso de que éste la abandone (SMS, llamada telefónica o e-mail, dependiendo del grado de importancia). Luego, la nueva zona definida sería enviada en un paquete de datos por Internet al dispositivo, solucionando fácilmente el problema de actualización de geo-cercas internas.

Ful-Mar S.A. es un conocido fabricante de relojes taxímetros que también fabrica dispositivos AVL. Estos dispositivos tienen la capacidad de transmitir información sobre los relojes, como tiempo de viaje y monto a pagar, además de las ubicaciones de las bajadas de bandera. Esto permitiría crear un sistema para calcular el rendimiento de cada conductor y establecer las zonas en las cuales se generan más bajadas de bandera. Además, sabiendo la posición de un taxi se podría despachar siempre el móvil libre más cercano a la ubicación de un cliente, aumentando la eficiencia y disminuyendo los tiempos de espera y el consumo de combustible.

Uno de los cambios que se pueden llevar a cabo en este prototipo es hacerlo totalmente independiente de herramientas de licencia privativa, para lo cual se debería dejar de utilizar la API de Google Maps. Al no ser un sistema con licencia de *software*

libre, existe la posibilidad de que se empiece a cobrar el servicio. La opción es mudar a otra API JavaScript de mapeo *web*, como OpenLayers, y desde ahí cargar los mapas propios provistos por MapServer y agregar imágenes satelitales desde cualquier proveedor (ya sea Google Maps u otros, como Bing Maps).

# Apéndice A

---

## Criterios para el cálculo de índices de riesgo

En los reportes mensuales de riesgo, se pueden encontrar diferentes índices de riesgo (IR) cuyo objetivo es conocer las conductas de manejo de los diferentes vehículos y sus operadores. Los índices de riesgo se dividen en 3 tipos dependiendo de la ubicación geográfica de las infracciones cometidas:

- IR en Rutas y Autopistas
- IR en Zonas Urbanas
- IR en Zonas Rurales y Yacimientos

Finalmente, a partir de estos tres índices, se calcula un IR Total, que nos da un panorama general sobre la conducta de los operadores y la utilización de los diferentes vehículos de cada cliente.

Cada uno de éstos índices tiene distintos parámetros para su cálculo. Las variables tomadas en cuenta son velocidad, tiempo de exceso y ubicación.

El índice más complejo para calcular es el IR en rutas. Los dispositivos instalados tienen la capacidad de almacenar la velocidad máxima permitida para la conducción de acuerdo a la ley nacional de tránsito.

Cuando un vehículo sobrepasa la velocidad máxima estipulada, lo puede hacer a diferentes niveles y por distintos intervalos de tiempo. Por ejemplo, si un camión cuya máxima es 80 Km/h alcanza los 120 Km/h y viaja excedido durante 10 minutos, la infracción es mucho más grave que la de un automóvil cuya máxima es 110 Km/h y alcanza los 120 Km/h, teniendo un tiempo de exceso de 5 minutos. Estas diferencias son reflejadas en el IR.



Las infracciones son clasificadas en Riesgo Leve, Riesgo Medio y Riesgo Alto, a partir de las siguientes reglas descriptas a continuación. Estos puntos son asignados al vehículo y a su operador.

**Riesgo Leve:**

El vehículo sobrepasa su velocidad máxima en no más de 7 Km/h. Cada una de estas infracciones recibe 1 punto de Riesgo Leve.

**Riesgo Medio:**

El vehículo sobrepasa su máxima en no más de 14 Km/h. Cada una de estas infracciones recibe 1 punto de Riesgo Medio.

**Riesgo Alto:**

El vehículo sobrepasa su máxima en más de 14 Km/h. Dicha infracción recibirá 1 punto de Riesgo Alto. También recibirá 1 punto más por cada 4 Km/h a partir de los 14. Es decir, si la máxima es 100, y el vehículo llega a 114, recibe 1 punto, pero si llega a 118, recibe 2 puntos. Si llegara a 200, recibiría 22 puntos de Riesgo Alto.

**Índice de Riesgo en Rutas y Autopistas:**

En rutas y autopistas, los excesos tienen un parámetro extra; el tiempo de exceso. Supongamos un vehículo excedido en 5 Km/h, dicho vehículo, acorde a lo establecido en los párrafos anteriores, recibiría 1 punto de riesgo leve. Pero si dicho vehículo estuvo excedido durante 10 minutos, se le suman además 10 puntos de riesgo leve. Por lo tanto por cada minuto que se encuentre excedido un vehículo, se le suma 1 punto extra de riesgo del tipo que estipule la velocidad (si el exceso es menor a 7 Km/h, riesgo leve, si es menor a 14 Km/h, riesgo medio, etc).

**Índice de Riesgo en Zonas Urbanas:**

En estas zonas sólo se tienen en cuenta los niveles de velocidad. Éste índice se calcula de la misma manera que el anterior, pero sin tener en cuenta el tiempo de exceso. La velocidad máxima en zonas urbanas es de 40 Km/h en calles y 60 Km/h en rutas.

Las rutas establecen sus límites de velocidad en 110 Km/h para vehículos livianos, en 80 Km/h para vehículos pesados y 90 Km/h para vehículos de transporte de pasajeros. Ciertos vehículos que transportan cargas peligrosas no pueden superar los 70 Km/h. Sin embargo, cuando una ruta cruza por una zona urbana, el límite se reduce a 60 Km/h para todo tipo de vehículo. Los índices de riesgo se ajustan automáticamente a estas condiciones.

### **Índice de Riesgo en Yacimientos:**

Al igual que en la zonas urbanas, solo se tienen en cuenta los niveles de velocidad. Las velocidades máximas están establecidas en 40 Km/h para vehículos pesados y 60 Km/h para vehículos livianos.

### **Índice de Riesgo por zona:**

Finalmente, el Índice de Riesgo de cada zona, se calcula a partir de los otros índices mediante la siguiente fórmula:

Donde  $l$  es el puntaje de riesgo leve,  $m$  es el puntajes de riesgo medio,  $a$  es el puntaje de riesgo alto y  $t$  es el riesgo total de la zona.

Veamos un ejemplo en el cual un vehículo tiene 10 puntos de Riesgo Leve, 30 puntos de Riesgo Medio y 20 puntos de Riesgo Alto:

En dicho caso, el vehículo tuvo un Índice de Riesgo de 150 en una zona determinada (por ejemplo Urbana).

A partir de los IR de todas las zonas, se calcula el IR Total. El cálculo es simplemente la suma sin ponderaciones de los índices de riesgo de cada zona. Por ejemplo, un automóvil o conductor que tiene 100 puntos de IR en Zonas Urbanas, 50 en Zonas Rurales y 200 en Rutas y Autopistas tiene un índice de riesgo total de 350 puntos.

A partir de los índices calculados, se cataloga a un conductor o vehículo en tres categorías:

- Prudente si su IR es menor a 500.
- Imprudente si su IR es menor a 1000.
- Peligroso si su IR es mayor a 1000.

El índice de riesgo total para los conductores, se complementa con un índice ajustado, el cual toma en cuenta la cantidad de horas de conducción. Dos conductores con el mismo índice de riesgo total, no son igual de imprudentes si uno condujo 2 horas y el otro 20 en el transcurso de un mes. Para tener esto en cuenta, se genera un índice ajustado, el cual tiene en cuenta 2 horas de promedio de conducción diarias. Entonces, para un mes de 30 días tenemos la siguiente ecuación:

Donde  $t$  es el índice de riesgo total para el conductor y  $h$  es la cantidad de horas que condujo durante el mes.

## Apéndice B

### Planilla de cálculo con información sobre el itinerario completo de un vehículo.

Ford Courier FFQ-987 (Liviano)						
Horas de Actividad: 00:20						
Distancia Recorrida: 3,917 Km						
Velocidad Pico: 59 Km/h						
Fecha y Hora	Operador	Velocidad	Estado	Zona	Referencia	Km recorridos
01/12/10 08:27:43	Parra David	0 Km/h	Ignición	<a href="#">LOPEZ JOSE y PERTICONE, NEUQUEN</a>	AGENCIA FORD	0
01/12/10 08:29:56	Parra David	27 Km/h	Actividad	<a href="#">ROSA JOSE y MONTEVIDEO, NEUQUEN</a>	AGENCIA MERCEDES BENZ	0,306
01/12/10 08:30:24	Parra David	26 Km/h	Actividad	<a href="#">MONTEVIDEO y BAHIA BLANCA, NEUQUEN</a>	AGENCIA MERCEDES BENZ	0,47
01/12/10 08:33:28	Parra David	38 Km/h	Actividad	<a href="#">RIVADAVIA y ENTRE RIOS, NEUQUEN</a>	PETROBRAS INDEPENDENCIA	1,173
01/12/10 08:34:21	Parra David	29 Km/h	Actividad	<a href="#">RIVADAVIA y TUCUMAN, NEUQUEN</a>	GNC-ASPRO	1,262
01/12/10 08:34:40	Parra David	21 Km/h	Actividad	<a href="#">RIVADAVIA y TUCUMAN, NEUQUEN</a>	GNC-ASPRO	1,297
01/12/10 08:34:52	Parra David	40 Km/h	Actividad	<a href="#">INDEPENDENCIA y ROCA, NEUQUEN</a>	GNC-ASPRO	1,407
01/12/10 08:35:30	Parra David	33 Km/h	Actividad	<a href="#">INDEPENDENCIA y ENTRE RIOS, NEUQUEN</a>	PETROBRAS INDEPENDENCIA	1,516
01/12/10 08:36:24	Parra David	31 Km/h	Actividad	<a href="#">ALBERDI y ENTRE RIOS, NEUQUEN</a>	PETROBRAS INDEPENDENCIA	1,75
01/12/10 08:36:34	Parra David	46 Km/h	Actividad	<a href="#">ALBERDI y CAMINO MIGUEL, NEUQUEN</a>	PETROBRAS INDEPENDENCIA	1,851
01/12/10 08:36:46	Parra David	47 Km/h	Actividad	<a href="#">RIVADAVIA y CAMINO MIGUEL, NEUQUEN</a>	PETROBRAS INDEPENDENCIA	1,967
01/12/10 08:36:56	Parra David	26 Km/h	Actividad	<a href="#">RIVADAVIA y CAMINO MIGUEL, NEUQUEN</a>	PETROBRAS INDEPENDENCIA	1,993
01/12/10 08:38:05	Parra David	29 Km/h	Actividad	<a href="#">TUCUMAN y RIVADAVIA, NEUQUEN</a>	GNC-ASPRO	2,213
01/12/10 08:38:20	Parra David	29 Km/h	Actividad	<a href="#">INDEPENDENCIA y TUCUMAN, NEUQUEN</a>	GNC-ASPRO	2,3
01/12/10 08:38:40	Parra David	23 Km/h	Actividad	<a href="#">INDEPENDENCIA y TUCUMAN, NEUQUEN</a>	GNC-ASPRO	2,331
01/12/10 08:38:57	Parra David	27 Km/h	Actividad	<a href="#">INDEPENDENCIA y ENTRE RIOS, NEUQUEN</a>	PETROBRAS INDEPENDENCIA	2,437
01/12/10 08:39:30	Parra David	0 Km/h	Parada	<a href="#">ENTRE RIOS y RIVADAVIA, NEUQUEN</a>	PETROBRAS INDEPENDENCIA	2,515

## Planilla de excesos de la flota de vehículos

Vehículo	Rutas y Autopistas			I.R.	Zonas Urbanas			I.R.	Yacimientos			I.R.	Hs.	Total Km.	I.R. Total
	Leve	Medio	Alto		Leve	Medio	Alto		Leve	Medio	Alto				
<a href="#">FPY-726 - Ford Ranger</a>	820	481	676	4486	309	508	2578	11637	17	19	49	251	170:24	6808	16374
<a href="#">IMS-089 - VW Fox</a>	312	40	262	1440	253	367	1853	8399	12	13	1250	5038	171:57	4950	14877
<a href="#">IKU-563 - VW Suran</a>	386	78	87	890	351	556	2571	11747	35	54	311	1387	191:40	6019	14024
<a href="#">IKF-023 - VW Amarok</a>	58	54	554	2382	92	167	1368	5898	5	9	1036	4167	55:55	1978	12447
<a href="#">IKF-241 - VW Amarok</a>	76	53	224	1078	303	472	1570	7527	3	9	97	409	111:57	2430	9014
<a href="#">JFE-538 - Ford EcoSport</a>	9	1	0	11	161	259	1954	8495	0	0	31	124	70:34	1360	8630
<a href="#">AAA-099 - Ford Fiesta</a>	86	9	4	120	332	428	1568	7460	2	14	118	502	174:35	4751	8082
<a href="#">JAG-474 - Citren C4</a>	5	0	0	5	128	220	1870	8048	1	4	4	25	100:55	2205	8078
<a href="#">IZS-449 - Citroen C3</a>	82	8	2	106	109	157	1078	4735	9	16	670	2721	71:07	1709	7562
<a href="#">HUQ-233 - Ford K</a>	145	28	19	277	227	365	1469	6833	8	11	101	434	124:28	3574	7544
<a href="#">IKU-562 - VW Bora</a>	32	21	428	1786	79	147	968	4245	1	1	369	1479	40:37	1186	7510
<a href="#">IYK-514 - Citroen Berlingo</a>	20	26	691	2836	120	186	849	3888	4	2	102	416	70:31	1735	7140
<a href="#">IVW-446 - Citroen C3</a>	44	4	1	56	162	220	1343	5974	16	14	218	916	170:37	4599	6946
<a href="#">FFQ-987 - Ford Courier</a>	5	1	0	7	336	447	1312	6478	1	16	28	145	117:03	2508	6630
<a href="#">XXX-000 - Ford Fiesta</a>	73	84	0	241	204	240	1347	6072	0	0	0	0	102:57	3233	6313
<a href="#">IHT-049 - Ford Fiesta</a>	57	4	0	65	141	190	1021	4605	3	7	64	273	73:35	2484	4943
<a href="#">DXQ-205 - Isuzu Grua</a>	476	26	0	528	146	191	935	4268	0	0	2	8	217:18	3571	4804
<a href="#">IHS-510 - Honda Fit</a>	41	36	161	757	83	134	504	2367	1	1	168	675	41:09	925	3799
<a href="#">3342 null - VW Fox</a>	29	19	54	283	108	155	618	2890	0	1	93	374	73:00	1705	3547
<a href="#">FVW-014 - VW Gol</a>	0	0	0	0	204	336	347	2264	0	0	0	0	131:44	1693	2264
<a href="#">HUQ-235 - Ford K</a>	3	0	0	3	112	191	384	2030	0	1	0	2	49:22	921	2035
<a href="#">AME-312 - Honda Civic</a>	0	0	0	0	76	126	374	1824	0	0	0	0	20:35	361	1824
<a href="#">GKB-207 - VW Gol</a>	6	8	0	22	46	62	373	1662	0	0	0	0	112:50	492	1684
<a href="#">GWY-242 - VW Saveiro</a>	0	0	0	0	168	186	156	1164	0	0	0	0	122:23	1795	1164
<a href="#">IRR-352 - Citroen Berlingo</a>	0	0	0	0	88	109	109	742	0	0	0	0	86:01	530	742
<a href="#">IJV-554 - VW Gol Trend</a>	75	57	35	329	0	0	14	56	0	0	64	256	154:26	4727	641
<a href="#">HZN-726 - Honda Civic</a>	0	0	0	0	25	58	62	389	0	0	0	0	17:44	132	389
<a href="#">TZZ-589 - Fiat Spazio</a>	0	0	0	0	13	7	3	39	0	0	0	0	53:43	436	39
<a href="#">IJV-550 - VW Voyage</a>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00:14	1	0

## Planilla de excesos de los conductores

Operador	Rutas y Autopistas			I.R.	Zonas Urbanas			I.R.	Yacimientos			I.R.	Hs.	Total Km.	I.R. Total	I.R. Ajustado
	Leve	Medio	Alto		Leve	Medio	Alto		Leve	Medio	Alto					
<a href="#">Sapac (2) Invitado</a>	2	1	0	4	138	235	1885	8148	0	0	31	124	42:34	1228	8276	11547
<a href="#">Ramirez José Luis</a>	82	8	2	106	109	157	1034	4559	9	16	670	2721	48:36	1688	7386	9044
<a href="#">Parra David</a>	5	1	0	7	336	447	1312	6478	1	16	28	145	108:16	2365	6630	3649
<a href="#">Orellana Hugo</a>	81	15	26	215	149	207	1126	5067	7	4	280	1135	55:05	1708	6417	6875
<a href="#">Villaruel Javier</a>	2	0	0	2	73	122	1182	5045	1	4	0	9	37:33	1042	5056	7983
<a href="#">Roca Invitado</a>	57	4	0	65	139	188	1005	4535	3	7	64	273	67:33	2660	4873	4299
<a href="#">Planes (1) Invitado</a>	18	1	0	20	164	231	788	3778	2	8	28	130	63:01	1646	3928	3682
<a href="#">Avila Gustavo</a>	94	10	6	138	95	152	416	2063	21	34	183	821	56:35	1539	3022	3181
<a href="#">Mercedes Damian</a>	11	8	0	27	87	117	586	2665	0	0	0	0	28:47	1159	2692	5569
<a href="#">Schepis Fernando</a>	11	12	452	1843	7	31	128	581	1	0	66	265	10:14	564	2689	14667
<a href="#">Velazquez Andres</a>	198	65	76	632	14	26	242	1034	12	16	88	396	46:01	2101	2062	2632
<a href="#">Moyano Luis</a>	16	7	4	46	76	83	423	1934	0	3	4	22	38:02	1354	2002	3080
<a href="#">Pastrana Rodolfo</a>	4	9	225	922	48	78	152	812	0	0	0	0	21:50	752	1734	4729
<a href="#">Invitado Repuestos</a>	5	1	0	7	36	67	342	1538	0	1	0	2	32:24	876	1547	2812
<a href="#">Carli Samuel</a>	0	0	0	0	148	225	234	1534	0	0	0	0	49:21	965	1534	1840
<a href="#">Moyano Patricio</a>	49	0	0	49	55	48	196	935	0	2	82	332	35:01	1317	1316	2193
<a href="#">Molina Paula</a>	8	2	1	16	33	51	283	1267	0	0	5	20	18:40	585	1303	4114
<a href="#">Ladisca Marcia</a>	19	1	0	21	27	40	225	1007	2	1	12	52	14:12	400	1080	4320
<a href="#">Velazquez Marcelo</a>	65	22	15	169	25	39	181	827	0	0	0	0	25:47	694	996	2298
<a href="#">Villegas Juan</a>	4	0	0	4	28	44	213	968	0	1	1	6	17:15	398	978	3260
<a href="#">Pacheco Pablo</a>	0	0	0	0	62	93	158	880	0	0	0	0	19:14	360	880	2640
<a href="#">Gonzalez Jorge</a>	13	1	0	15	12	26	194	840	0	0	0	0	28:54	1052	855	1768
<a href="#">Iruna Invitado</a>	4	5	6	38	26	29	157	712	0	0	21	84	11:12	467	834	4170
<a href="#">Charro Pablo</a>	2	0	0	2	49	43	158	767	0	0	4	16	23:59	659	785	1962
<a href="#">Farias Esteban</a>	8	0	0	8	28	39	136	650	0	1	0	2	09:27	249	660	3960
<a href="#">Quintana Luis</a>	0	0	0	0	119	120	69	635	0	0	0	0	42:09	812	635	886
<a href="#">Sapac (1) Invitado</a>	0	0	0	0	33	72	110	617	0	0	0	0	17:27	357	617	2056
<a href="#">Almendras Juan</a>	0	0	0	0	26	40	68	378	0	0	0	0	09:18	169	378	2268
<a href="#">Farias Daniel</a>	9	2	0	13	5	15	75	335	0	0	0	0	07:10	393	348	2610
<a href="#">Badilla Pablo</a>	0	0	0	0	29	31	58	323	0	0	0	0	27:49	501	323	692

**Planilla de detalle de excesos de un conductor**

De Monte Fulvio								
Distancia Recorrida: 22,000 Km								
Horas de marcha: 01:30								
Velocidad Pico: 76 Km/h								
Excesos en Zonas Urbanas								
Fecha y Hora	Vehículo	Regla	Velocidad	Puntaje	Evento	Zona	Ubicación	Referencia
18/10/10 12:04:01	IMS-089 - VW Fox	Max 40 Km/h	45 Km/h	1	Actividad	NEUQUEN	<a href="#">PAIMUN y PERTICONE</a>	GNC-YPF
18/10/10 12:05:10	IMS-089 - VW Fox	Max 40 Km/h	47 Km/h	1	Actividad	NEUQUEN	<a href="#">RICCHIERI y PAIMUN</a>	NLS NQN
18/10/10 12:07:11	IMS-089 - VW Fox	Max 40 Km/h	52 Km/h	1	Actividad	NEUQUEN	<a href="#">RICCHIERI y VERZEGNASSI</a>	TRANSAC RENT A CAR
18/10/10 12:16:34	IMS-089 - VW Fox	Max 40 Km/h	48 Km/h	1	Actividad	NEUQUEN	<a href="#">FIGUEROA y TANDIL</a>	TECHNODIESEL NQN
18/10/10 12:19:55	IMS-089 - VW Fox	Max 40 Km/h	49 Km/h	1	Actividad	NEUQUEN	<a href="#">PERTICONE y RN22</a>	GNC-YPF
18/10/10 18:05:38	IMS-089 - VW Fox	Max 40 Km/h	45 Km/h	1	Actividad	NEUQUEN	<a href="#">ANTARTIDA ARGENTINA</a>	Segeco NQN
18/10/10 18:37:05	IMS-089 - VW Fox	Max 40 Km/h	46 Km/h	1	Actividad	NEUQUEN	<a href="#">PRIMEROS POBLADORES</a>	WINDLAND NQN
22/10/10 18:20:54	IKF-023 - VW Amarok	Max 40 Km/h	51 Km/h	1	Actividad	NEUQUEN	<a href="#">FELIX SAN MARTIN y RN22</a>	TECHNODIESEL NQN
22/10/10 18:35:05	IKF-023 - VW Amarok	Max 40 Km/h	58 Km/h	2	Actividad	NEUQUEN	<a href="#">PERTICONE y RN22</a>	GNC-YPF
23/10/10 10:29:48	IKF-023 - VW Amarok	Max 40 Km/h	47 Km/h	1	Actividad	CIPOLLETTI	<a href="#">MUÑOZ M e YRIGOYEN</a>	HOTEL WAHIBA
23/10/10 10:30:21	IKF-023 - VW Amarok	Max 40 Km/h	45 Km/h	1	Actividad	CIPOLLETTI	<a href="#">ESPAÑA y 9 DE JULIO</a>	FARMACIA MARTIN
23/10/10 10:33:16	IKF-023 - VW Amarok	Max 40 Km/h	48 Km/h	1	Actividad	CIPOLLETTI	<a href="#">PACHECO AV</a>	YPF SERVICIOS SRL
23/10/10 10:36:31	IKF-023 - VW Amarok	Max 60 Km/h	76 Km/h	1	Actividad	NEUQUEN	<a href="#">RN22</a>	GNC-YPF
23/10/10 10:38:22	IKF-023 - VW Amarok	Max 40 Km/h	54 Km/h	1	Actividad	NEUQUEN	<a href="#">ACONQUIJA y SAN MARTIN</a>	TECHNODIESEL NQN
23/10/10 10:38:35	IKF-023 - VW Amarok	Max 40 Km/h	45 Km/h	1	Actividad	NEUQUEN	<a href="#">ACONQUIJA y TRONADOR</a>	TECHNODIESEL NQN
23/10/10 10:40:50	IKF-023 - VW Amarok	Max 40 Km/h	64 Km/h	3	Actividad	NEUQUEN	<a href="#">PERTICONE y RN22</a>	GNC-YPF

## Apéndice C

### Manual de uso

El sistema desarrollado provee una variedad de herramientas para conocer las conductas de manejo de operadores y vehículos. Se pueden generar reportes en planilla de cálculo para conocer itinerarios completos de diferentes vehículos o para conocer la conducta diaria de sus choferes. Para establecer el grado de prudencia, se creó un índice de riesgo, el cual se explica en detalle en el apéndice A. Además se genera automáticamente un resumen mensual de conducta, en el cual el usuario rápidamente conocer los índices de riesgo de vehículos y operarios, además de datos extra, como kilometrajes recorridos y tiempos de marcha, que permiten conocer mejor el uso que se hace de cada vehículo, dando la posibilidad de saber con tiempo cuándo es necesario hacer mantenimiento. La cantidad de tiempo que conduce cada operador, permite también liquidar sueldos y horas extra.

A continuación se detalla el modo de uso de cada una de las funciones provistas.

### Página principal

En la página principal, encontramos el formulario para la autenticación de los usuarios. Para la prueba del sistema, se puede utilizar el usuario “unlp”, contraseña “demo”.

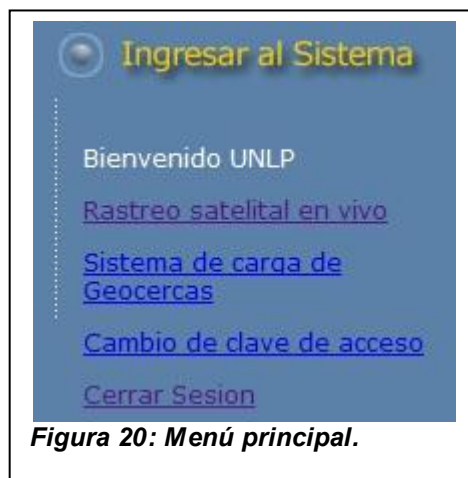


El formulario de autenticación tiene un fondo azul oscuro. En la parte superior izquierda hay un icono de un ojo con una línea diagonal roja, indicando que la contraseña es visible. A la derecha de este icono, el título "Ingresar al Sistema" está escrito en un color amarillo brillante. Debajo del título, hay dos campos de texto blancos con bordes azules. El primer campo está etiquetado como "Usuario:" y el segundo como "Contraseña:". Debajo de estos campos, hay un botón rectangular con el texto "Ingresar" en un color gris claro.

**Figura 19: Formulario de autenticación.**



Una vez autenticados, se presenta un menú con las diferentes opciones disponibles:



La opción “Rastreo satelital en vivo” ingresa al sistema para monitorear los vehículos y conductores y provee las herramientas descritas anteriormente para el análisis de las conductas de manejo, horas de marcha y distancias recorridas.

El sistema de carga de geo-cercas es un sistema secundario para dibujar o importar geo-cercas, que luego serán utilizadas en el sistema descrito anteriormente.

### **Rastreo satelital en vivo**

Una vez identificado el usuario, se puede acceder a la aplicación de rastreo satelital, en la cual tenemos una barra de herramientas en el costado derecho de la pantalla. En esta barra se puede acceder a las distintas funciones que ofrece el sistema para analizar la información generada por los vehículos y operadores, tanto de manera gráfica, sobre el mapa de la aplicación, o en planillas de cálculo.

Apenas ingresamos al sistema, nos encontramos en el modo de “seguimiento en vivo”, el cual muestra sobre el mapa todos los vehículos del usuario. Al picar sobre uno de los vehículos se muestra la marca y modelo del equipo, su patente y código interno, la última hora de recepción de eventos, la localización (incluyendo intersección de calles y ciudad o yacimiento petrolífero), el nombre del chofer (si se identificó) y el tipo del último evento transmitido (por ejemplo, estacionado). Al principio de la barra, encontramos el listado de vehículos monitoreados. Al seleccionar uno de estos vehículos, automáticamente se visualiza en el mapa la región en la cual se sitúa.

Una vez seleccionado un vehículo, existen varias funciones que nos permiten conocer su actividad.



Figura 21: Barra lateral del sistema de rastreo satelital.

Primero es necesario elegir la fecha y la hora de inicio de la actividad. En la figura 21 se puede ver que la fecha elegida es el 7 de febrero de 2011, a la medianoche. Luego debemos elegir el intervalo de tiempo a analizar a partir de la fecha de inicio, el cual puede variar entre 15 minutos y 7 días.

Una vez seleccionados los parámetros necesarios, se puede realizar un itinerario en línea, sobre el mapa o un itinerario en formato MS Excel. El itinerario en línea dibuja el camino recorrido por un vehículo sobre el mapa. En este camino es se pueden visualizar los puntos en los cuales el vehículo genero eventos (por ejemplo, los lugares en donde se detuvo, donde arrancó y donde cambió de rumbo). En cambio el itinerario en planilla de cálculo, nos muestra esta información en un listado (véase Apéndice B).

### Itinerario en línea

El itinerario en línea nos permite ver gráficamente el camino recorrido por un vehículo en el intervalo de tiempo seleccionado. En la figura 22 se puede apreciar cómo se

dibuja un camino.



**Figura 22: Itinerario dibujado sobre el mapa, cada flecha indica la dirección del vehículo en el momento en que se genera el evento.**

Situando el puntero del ratón sobre cada evento, se puede saber a qué hora sucedió. Las flechas indican actividad, y varían en color según los rangos de velocidad. Las paradas se muestran con un ícono rojo con una cruz blanca, como en la figura 23.

Hora	Velocidad	Evento 
06/02/11		
12:01:12	27 Km/h	Actividad
12:01:19	22 Km/h	Actividad
12:01:46	23 Km/h	Actividad
12:01:54	16 Km/h	Actividad
12:02:19	24 Km/h	Actividad
12:02:43	0 Km/h	Parada

**Figura 23: Listado de eventos del itinerario en línea.**

Al hacer clic sobre el botón “Listar eventos”, se puede observar en la barra lateral el listado de todos los eventos para el itinerario recién generado, como se muestra en la figura 22. Se puede picar sobre cualquier horario para conocer rápidamente la ubicación del evento en el mapa, que se indica con una flecha azul, como en la figura 24.



Como complemento a la información gráfica mostrada sobre el mapa, se calculan la velocidad máxima, el tiempo de marcha del recorrido y la distancia del recorrido. Estos datos se muestra en la parte media de la barra lateral.

### Itinerario en Excel

El itinerario en Excel, produce un listado en planilla de cálculo con cada uno de los eventos. Cada línea incluye fecha y hora, velocidad, evento, conductor, zona (intersección de calles y ciudad, o yacimiento) y un punto cercano como referencia. Además, en la última columna se muestra el kilometraje parcial del recorrido, punto a punto.

La columna “zona” tiene un enlace al mapa de Google Maps que nos muestra la región en cuestión. Esto resulta de utilidad si no se posee cartografía sobre el lugar del

evento, permitiendo que el usuario lo averigüe visualmente. En el apéndice B se muestra una planilla de itinerario en Excel.

### **Reporte de excesos**

Una vez seleccionada una fecha de inicio y un intervalo, es posible realizar un reporte de excesos haciendo clic en el botón correspondiente. A diferencia de los itinerarios, el reporte de excesos se genera para todos los vehículos del listado, indiferentemente de cuál esté seleccionado. Además también se calculan los índices para los conductores. En el apéndice B se pueden ver las planillas de excesos para conductores y vehículos.

Al final de la barra lateral, se pueden seleccionar los reportes de excesos mensuales de un listado, y luego descargarlos picando el botón “descargar”. Estos reportes ya están generados, por lo cual se descargan en el acto, a diferencia de los reportes de excesos en un intervalo predeterminado, los cuales se calculan antes de descargarse.

### **Estado de flota**

El botón de estado de flota genera una planilla de cálculo con información actual sobre el conjunto de vehículos del usuario. Básicamente se muestran 5 listados de vehículos que cumplen con las siguientes condiciones:

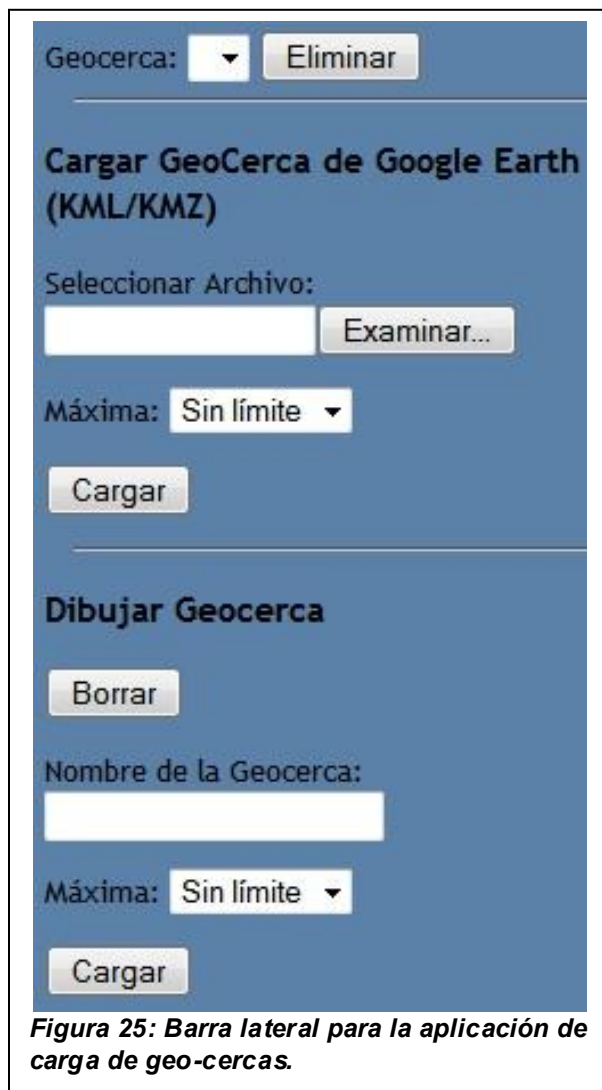
- Vehículos activos
- Vehículos detenidos
- Vehículos detenidos por más de una hora
- Vehículos en infracción
- Vehículos sin operador identificado

### **Seguimiento en vivo**

El botón de seguimiento en vivo, nos permite volver a visualizar todos los vehículos sobre el mapa, tal como cuando se ingresa al sistema de rastreo satelital. Cada vez que se pica este botón, se vuelven a cargar los vehículos sobre el mapa con la información actualizada.

## Sistema de carga de geo-cercas

El sistema provee la posibilidad de crear geo-cercas, o zonas personalizadas por medio de polígonos. Después de identificarse, el usuario puede acceder al sistema de carga de geo-cercas, en el cual se proveen dos métodos para su creación. La forma más sencilla es dibujarlas sobre el mapa provisto por la aplicación, luego asignarles un nombre y una velocidad máxima, y por último hacer clic en el botón “cargar”, bajo la sección “dibujar geo-cerca”. Existe también la posibilidad de cargar polígonos dibujados con Google Earth, que es una herramienta un poco más compleja, pero nos permite un control más fácil para dibujar y desplazarnos por el mapa. Es posible generar varios polígonos dentro de una carpeta, y exportarla al formato KML o KMZ para luego en pocos pasos cargarlas en la



**Figura 25: Barra lateral para la aplicación de carga de geo-cercas.**

aplicación bajo la sección “Cargar geo-cerca de Google Earth”. Si no se selecciona una velocidad máxima, esta se establece en 0.

En la figura 25 se puede ver la barra lateral con las herramientas para la carga de geo-cercas, tanto dibujadas en la misma aplicación o en Google Earth. En la parte superior de la barra se puede ver el listado de las geo-cercas ya generadas por el usuario.

Una vez generada una geo-cerca, ésta se puede visualizar y utilizar en el sistema de rastreo satelital. Una geo-cerca nos permite verificar visualmente si la zona que delimita fue atravesada por un vehículo en un intervalo determinado. Cuando se selecciona una geo-cerca, ésta se dibuja automáticamente, como se

muestra en la figura 26.



**Figura 26: Itinerario en línea y geo-cerca.**

En esta figura, se puede apreciar gráficamente cuándo un vehículo cruzó por la zona delimitada por una geo-cerca.

Cuando hacemos clic sobre “Itinerario en Excel” habiendo previamente seleccionado una geo-cerca, el reporte de itinerario será filtrado, mostrando únicamente aquellos eventos que sucedieron dentro de la geo-cerca y con una velocidad superior a la máxima asociada a dicha geo-cerca.

Por último, se puede generar un Itinerario en Excel filtrado por geo-cerca, pero para todos los vehículos. Simplemente se selecciona el intervalo de tiempo y, después de seleccionar la geo-cerca, se hace clic sobre el botón “Actividad en geo-cerca”. De esta manera se genera un libro de MS Excel con una hoja por vehículo, listando todas las actividades que ocurrieron dentro de la zona delimitada y superaron la velocidad máxima estipulada.





## Referencias

---

- [Aldenderfer, 1996] Aldenderfer, M y H. D. G. Maschner, *Anthropology, space and geographic information systems*, New York, Oxford University Press, 1996.
- [Andrews, 2000] Andrews, Gregory R., *Foundations of multithreaded, parallel, and distributed programming*, Reading, Addison-Wesley, 2000.
- [Aronoff, 1991] Aronoff, Stan, *Geographic information systems: A management perspective*, Ottawa, WDL Publications, 1991.
- [Bossler, 2002] Bossler, John D., *Manual of geospatial science and technology*, Londres, Taylor & Francis, 2002.
- [Campbell, 2007] Campbell, James B. *Introduction to remote sensing*, New York, The Guilford Press, 2007.
- [Cathey, 2003] Cathey, F. W. y D. J. Dailey, *A prescription for transit arrival/departure prediction using automatic vehicle location data*, University of Washington, Seattle, 2003.
- [Coppock, 1991] Coppock J. T. y D.W. Rhind, en Maguire D.J. *et al.*, *Geographical information systems: Principles and applications*, Volumen 1, Longman Scientific and Technical, 1991.
- [Elangovan, 2006] Elangovan, K., *GIS: Fundamentals, applications and implementations*, Nueva Delhi, New India Publishing Agency, 2006.
- [Friis, 2009] Friis, R. H. y T. A. Sellers, *Epidemiology for public health practice*, Sudbury, Jones and Bartlett Publishers, 2009.
- [Gao, 2009] Gao, Jay, *Digital analysis of remotely sensed imagery*, EE.UU., McGraw-Hill, 2009.
- [Google, 2010] Google. Servicios *Web* de Google Maps Api [en línea]. <<http://code.google.com/intl/es-AR/apis/maps/documentation/webservices/index.html>> [Consulta: 20 de mayo de 2010]
- [GRASS, 2010] Geographic Resources Analysis Support System. GRASS: Introduction [en línea]. <<http://grass.fbk.eu/intro/general.php>> [Consulta: 8 de febrero de 2011]
- [Hall, 2008] Hall, Brent G. y Michael G. Leahy, *Open source approaches in spatial data handling*, Berlin, Springer Verlag, 2008.
- [Hinch, 2007] Hinch, Stephen W., *Outdoor Navigation with GPS, 2<sup>nd</sup> edition*, Berkeley, Wilderness Press, 2007.
- [IGN, 1999] Comité nacional de la union geodésica y geofísica internacional. Sistemas geodésicos, Instituto Geográfico Nacional, 1999 [en línea]. <[http://www.ign.gob.ar/archivos/geodesia/sistemas\\_geodesicos.pdf](http://www.ign.gob.ar/archivos/geodesia/sistemas_geodesicos.pdf)> [Consulta: 14 de febrero de 2011]
- [IGN, 2011] Instituto Geográfico Nacional. Posiciones geodésicas argentinas 2007 [en línea] <<http://www.ign.gob.ar/proyectos/posgar2007/introduccion>> [Consulta: 14 de

febrero de 2011]

- [Jellinek, 1978] Jellinek, Ernest. *US Patent N° 4.107.689*, Haddonfield, Nueva Jersey, United States patents and trademark office, 1978.
- [Kurose, 2009] Kurose, James F. y Keith W. Ross, *Computer Networking: A top-down approach*, Reading, Addison-Wesley, 2009.
- [Longley, 2005] Longley, Paul A. *Geographical informations systems and science, 2<sup>nd</sup> edition*, Chichester, John Wiley & Sons, 2005.
- [Loweth, 1997] Loweth, R. P. *Manual of offshore surveying for geoscientist and engineers*, Londres, Chapman & Hall, 1997.
- [Mitchell, 2005] Mitchell, Tyler, *Web mapping illustrated*, Sebastopol, O'Reilly Media, 2005.
- [Nyerges, 2010] Nyerges, Tymothy L. *Regional and urban GIS: A decision support approach*, Nueva York, The Guilford Press, 2010.
- [OGC, 2004] Open Geospatial Consortium. OpenGIS Web Map Service Implementation Specification [en línea]. <<http://www.opengeospatial.org/standards/wms>> [Consulta: 7 de octubre de 2010]
- [O'Sullivan 2009] O'Sullivan, Dan. *Wikipedia: a new community of practice?*, Farnham, Ashgate, 2009.
- [Pangilinan, 2007] Pangilinan, C. et al., *Bus Supervision Deployment Strategies and the Use of Real-Time AVL for Improved Bus Service Reliability*, ITE District 6 Annual Meeting, 15-18 de Julio, 2007.
- [Pearson, 1990] Pearson, Frederick, *Map projections: theory and applications*, Boca Raton, CRC Press, 1990.
- [Peterson 2008] Peterson, Michael P. *International perspectives on maps and the Internet*, Nueva York, Springer, 2008.
- [PostgreSQL, 2009] The PostgreSQL Global Development Group, *PostgreSQL 8.4 Official Documentation – The SQL Language – Volume I*, Palo Alto, Fultus Corporation, 2009.
- [Sanders, 2003] Sanders, Geoff. *GPRS Networks*, Chichester, John Wiley & Sons, 2003
- [Schowengerdt, 2007] Schowengerdt, Robert A., *Remote Sensing: Models and methods for image processing, Third edition*. Burlington, Academic Press, 2007.
- [Sha, 2010] Sha, Zongyao y Yichun Xie, *Design of service-oriented architecture for spatial data integration and its application in building web-based GIS systems*, Universidad de Wuhan, Wuhan, 2010.
- [Stallings, 2009] Stallings, William, *Computer Organization and Architecture: Designing for Performance. Eighth Edition*, New Jersey, Prentice Hall, 2009.
- [Vinten-Johansen , 2003] Vinten-Johansen, P. et al., *Cholera, Chloroform, and the Science of Medicine: a Life of John Snow*, New York, Oxford University Press, 2003.
- [Wikipedia, 2010a] Wikipedia. Teodolito [en línea]. <<http://es.wikipedia.org/wiki/Teodolito>> [Consulta: 20 de mayo de 2010]

- [Wikipedia, 2010b] Wikipedia, *Geographic coordinate system* [en línea]. EE.UU., 2010.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Geographic\\_coordinate\\_system#Latitude\\_and\\_longitude](http://en.wikipedia.org/wiki/Geographic_coordinate_system#Latitude_and_longitude)>  
[Consulta: 21 de abril de 2010]
- [Wikipedia, 2010c] Wikipedia, *Mercator projection* [en línea]. EE.UU., 2010.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Mercator\\_projection](http://en.wikipedia.org/wiki/Mercator_projection)> [Consulta: 23 de abril de 2010]
- [Wikipedia, 2011a] Wikipedia, *Very High Frequency* [en línea]. EE.UU., 2011.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Very\\_high\\_frequency](http://en.wikipedia.org/wiki/Very_high_frequency)> [Consulta: 3 de Enero de 2011]
- [Wikipedia, 2011b] Wikipedia, *Geofence* [en línea]. EE.UU., 2011.  
<<http://en.wikipedia.org/wiki/Geofence>> [Consulta: 10 de Febrero de 2011]
- [Worboys, 2004] Worboys, M. y M. Duckham, *GIS: A computing perspective*, Boca Raton, CRC Press, 2004.
- [Xu, 2007] Xu, Guochang, *GPS: Theory, Algorithms and Applications*, Nueva York, Springer Berlin Heidelberg, 2007.