

Modelaje de redes en la delimitación de áreas de cobertura para la industria petrolera. Área Carabobo de la Faja Petrolífera del Orinoco

Roque Leonardo Leal Salcedo*

Recibido el 28 de enero de 2016; aceptado 3 de agosto de 2016

Abstract

One of the elements that generate dynamic run-ponds in any geographical area to transportation and communications. In the case of Carabobo area of the Orinoco Oil Belt it is estimated that in the coming years these elements come an intense dynamism product development plans pre-viewed by PDVSA and its subsidiaries, hence using cartographic base available 1:100,000 by the definition of a series of lines has developed a model of land transport network for possible coverage areas the roads in different categories: Express, collector, rural and operational permit interconnection of the main towns, facilities and cities.

Key words: *network models, Orinoco Oil Belt, transportation, geomatics, oil.*

Resumo

Alguns dos elementos geradores da dinâmica em qualquer área geográfica correspondem aos meios de transporte e de comunicações. Para o caso da área Carabobo da Faixa Petrolífera do Orinoco se estima que nos próximos anos estes elementos cobrirão um intenso dinamismo, produto dos planos de desenvolvimento previstos pela PDVSA e suas filiais, se utilizando a base cartográfica disponível de 1:100.000 junto com a definição de uma série de premissas se desenvolveu um modelo de rede de transporte terrestre para conhecer as possíveis áreas de cobertura nas vias terrestres em suas diferentes categorias: expressas, coletoras, rurais e operacionais que permitem a interconexão das principais localidades, instalações e cidades.

* Petróleos de Venezuela S.A., Calle La Guairita con Calle Auyantepuy, Edificio Centro Profesional Eurobuilding, piso 3, Chuao, Caracas, Venezuela, 1061, correos electrónicos: lealrlx@pdvsa.com, roqueleal@gmail.com

Palabras chave: *modelos de redes, Faixa Petrolífera de Orinoco, transporte, geomática, petróleo.*

Resumen

Uno de los elementos generadores de dinámica en cualquier área geográfica corresponde a los medios de transporte y las comunicaciones. Para el caso del área Carabobo de la Faja Petrolífera del Orinoco se estima que en los venideros años estos elementos cobren un intenso dinamismo producto de los planes de desarrollo previstos por PDVSA y sus Filiales, de allí que utilizando la base cartográfica disponible 1:100,000 junto a la definición de una serie de permisos se ha desarrollado un modelo de red del transporte terrestre para conocer las posibles áreas de cobertura que las vías terrestres en sus diferentes categorías: expresas, colectoras, rurales y operacionales permiten la interconexión de las principales localidades, instalaciones y ciudades.

Palabras clave: *modelos de redes, Faja Petrolífera del Orinoco, transporte, geomática, petróleo.*

Introducción

Las redes de transporte terrestre son el principal medio de comunicación en Venezuela, especialmente en aquellas áreas despobladas donde otros medios de comunicación son de difícil acceso. Esta realidad no es tan alejada a las características del área Carabobo, una región operacional delimitada por Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), perteneciente a la región oriental del país, dentro de la Faja Petrolífera del Orinoco (FPO) específicamente al sur de los estados Anzoátegui y Monagas cercano a las ciudades de Maturín, Tucupita y Ciudad Guayana (véase Figura 1).

El área Carabobo, en términos de proporción es posible comparar este espacio con la dimensión de sus 6,723km², a un país cercano como es Trinidad y Tobago, con la diferencia que dispone un potencial de producción estimado de hasta 1.8 millones de barriles diarios (MMBD) que representan un 40% del estimado de producción de la FPO (PDVSA, 2011).

Las proyecciones en el manejo y transporte de bienes, servicios y personas indican que se presentará una dinámica de crecimiento que visualiza una nueva dimensión de las relaciones espaciales entre las ciudades de la región y las localidades dentro de esta área, en cuyas parroquias no superan los 40 mil habitantes (Consejo Nacional Electoral —CNE, 2013) siendo las localidades más importantes Temblador, Uracoa, Chaguaramas y el Distrito Morichal.

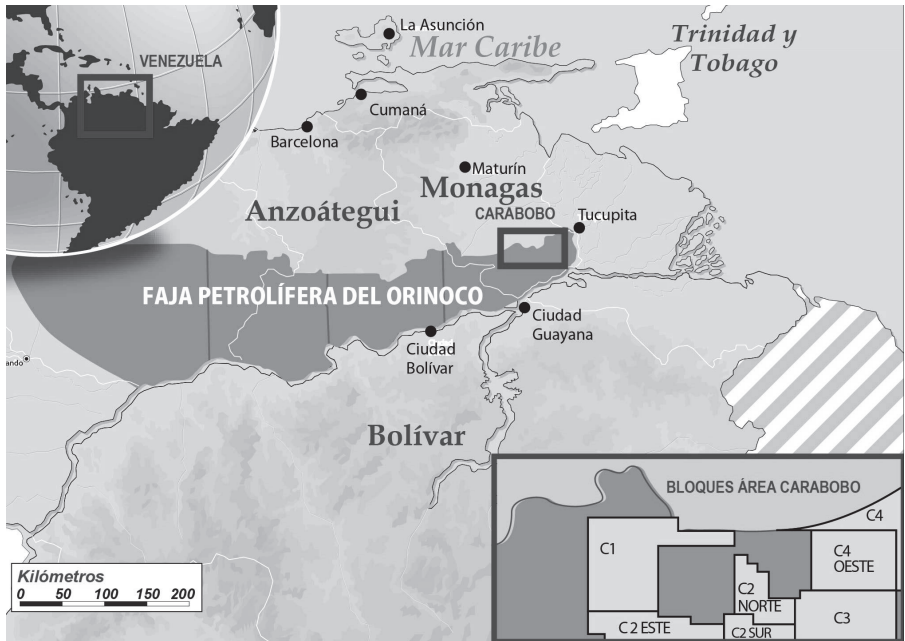


Figura 1. Área Carabobo de la Faja Petrolífera del Orinoco.

Bajo estos escenarios resulta de interés conocer entre el universo de variables de estudio, las redes viales como base para todo tipo de circulación sobre la superficie terrestre, desde personas hasta productos alimenticios o inclusive como soporte para otros tipos de redes.

Por lo tanto, el presente artículo expone como a través de la geomática en general y las técnicas de análisis de redes en particular permiten comprender los fenómenos que afectan a estas redes, su representación en áreas de cobertura y las maneras que estos resultados pueden solucionar además de los ya tradicionales problemas viales, una serie de otras situaciones que para el futuro inmediato cobrarán vigencia en el área Carabobo de la FPO.

Marco referencial

En un sistema definido por relaciones donde el movimiento de personas, bienes, servicios, información y recursos son representaciones de flujos e intercambios. La geomática emplea un lenguaje abstracto para reproducir esta realidad apoyado en el uso de modelos de redes, los cuales desde el punto de vista geométrico están constituidos como entidades conectadas entre si a través de nodos y vectores.

Este tipo de modelos han sido divididos en modelos geométricos y de transporte de acuerdo a la naturaleza de los flujos y las funcionalidades para representar y modelar el comportamiento de una infraestructura de red común en el mundo real. Environmental System Research Institute —ESRI, 2006).

En el caso de la red vial, es aplicado el modelo de red de transporte donde los elementos dinámicos, en este caso los vehículos, no dependen de reglas de conectividad, circulación y coincidencia topológica, siendo estos flujos libres a excepción de restricciones o límites al desplazamiento.

Las técnicas de creación y análisis de estos modelos son variados existiendo una gran cantidad de opciones, criterios, evaluadores y atributos que permiten modelar muchas de las situaciones de la vida real, asegurando la construcción de redes mas sólidas y por lo tanto garantizando el éxito de los resultados obtenidos a través de ella (Rushworth, Peterson, Hoef, Bowman, 2016).

Para el caso en estudio se dispone como información base, los archivos SIG de las vías y las principales localidades de la región así como también de su información atributiva donde se detalla la tipología de las vías, disponible en formato vector levantados y categorizados a una escala 1:100,000, como parte del estudio de línea base elaborado para el proyecto Magna Reservas de julio del 2009 (Centro de Procesamiento Digital de Imágenes —CPDI, 2009), igualmente se utilizó la capa vectorial de la localización de diferentes infraestructuras operacionales provista por la Gerencia de Exploración y Producción de PDVSA (PDVSA, 2010), y para finalizar se empleó el Modelo Digital del Terrero (MDT), DEM Aster de 30m de resolución para el área (National Aeronautics and Space Administration —NASA, 2013).

Para el desarrollo del modelo fue preciso contar con una serie de atributos que con la información disponible no abarcó la totalidad de los parámetros necesarios para dar respuesta a las interrogantes planteadas, es por ello como parte de la naturaleza investigativa técnica y de ensayo, fueron diseñadas una serie de premisas a manera de poder conocer los límites que la investigación puede llegar con la información disponible. De ellas se hace una descripción detallada:

1. La investigación se desarrollará en el área Carabobo de la FPO, bajo una escala de estudio regional.
2. La variable vialidad ha sido categorizada de manera ordinal en:
 - Autopista
 - Carretera pavimentada más de 2 vías
 - Carretera pavimentada 2 vías
 - Carretera engrazonada más de 2 vías
 - Carretera engrazonada 2 vías
 - Carretera de Tierra
 - Pica

3. Todas las vías sin diferencia en su jerarquía tendrán doble sentido.
4. Se considerarán los fundamentos de mecánica clásica, para ello se estima que los vehículos se desplazarán sobre una trayectoria recta estando a una aceleración constante.
5. El modelo sólo será aplicable al tránsito de vehículos particulares de capacidad de carga no mayor a 680 kg.

Con base a estas pautas, el uso de la geomática interviene con una gran cantidad de opciones, criterios, evaluadores y atributos que permiten modelar muchas situaciones del comportamiento vial permitiendo responder interrogantes sobre la ruta más rápida entre dos localidades y las áreas de cobertura que una locación puede ofrecer en función a su accesibilidad.

Para ello y como respuesta a la interrogantes fueron aplicadas las técnicas que ofrece el módulo de Network Analyst disponible en la plataforma ArcGIS para así dar desarrollo a la construcción del modelo y su aplicación.

Caso en estudio

El área Carabobo, dispone de una red vial que la comunica con las ciudades inmediatas de Puerto Ordaz, Temblador y San Félix a través de la Troncal T010, que cruza transversalmente de Norte-Sur el área, por su parte la nueva vía expresa El Tigre-Palital le comunica a la ciudad de El Tigre y finalmente le siguen una serie de vías locales que le permiten la comunicación a las localidades de Chaguaramas, Mamo Arriba, Palital, Barrancas así como también a las áreas operacionales de las empresas mixtas de petróleo en la FPO y de la industria forestal existente en el área. (véase Figura 2).

La red vial al detalle y categorizada de forma ordinal ha dispuesto como interrogantes que sólo se dispone de la distancia planimétrica como valor paramétrico, por ello fue necesario convertir la categoría de tipología de vialidad a una variable cuantitativa utilizando como criterio la velocidad promedio que un vehículo puede alcanzar para cada tipo de vía según lo establecido en el artículo 254 del Reglamento de la Ley de Tránsito Terrestre (Venezuela, 1998), en donde las autopistas y carreteras pavimentadas tendrán los valores promedio de desplazamiento más altos mientras que las carreteras engranzonadas, de tierra y picas poseen los promedios más bajos en el modelo (véase Tabla 1).

Igualmente utilizando el MDT, fue calculado para cada vector de la capa de vialidad su distancia real; entendiéndose esta como la distancia planimétrica ajustada a las distorsiones de la topografía que bien para el área no existían desniveles superiores a los 100m de altura.

Tabla 1
Categorización de las velocidades de desplazamiento
promedio para las vías en estudio

<i>Tipo de vía</i>	<i>Velocidad km/h</i>
Autopista	90
Carretera pavimentada más de 2 vías	80
Carretera pavimentada 2 vías	70
Carretera engranazonada más de 2 vías	60
Carretera engranazonada 2 vías	50
Carretera de Tierra	30
Pica	20

Conociendo la velocidad específica de los tramos, en función del tipo de carretera y la longitud de los tramos, se pudo determinar la impedancia de la red como la resistencia al tránsito, que en este caso concreto corresponde con el tiempo necesario para recorrer cada tramo según las pautas de velocidad definidas por las Leyes del Movimiento Rectilíneo Uniforme

$$T = \frac{(D \times K)}{V} \tag{1}$$

Donde:

T= tiempo de desplazamiento

D= distancia del segmento

K= constante de tiempo en minutos

V= velocidad en unidades de distancia por unidad de tiempo.

Por tratarse de una escala regional, se omitieron los ajustes de tiempo asociados al desplazamiento por giros, intersecciones por semáforos y otras condiciones especiales que están dispuestos para su diseño. Incorporados estos atributos a la tabla vialidad fue posible alimentar de datos cuantitativos el modelo, los cuales son necesarios para su construcción en un entorno de base de datos en formato Geodatabase, a manera de validar la topología de los vectores y validar la temática de los atributos (ESRI, 2006).

Con estos nuevos registros se procedió a elaborar el modelo de red incorporando las especificaciones del diseño y las variables en estudio utilizando las herramientas de geoprocésamiento y el módulo de Analyst Network que dispone ArcGis (véase Figura 3).

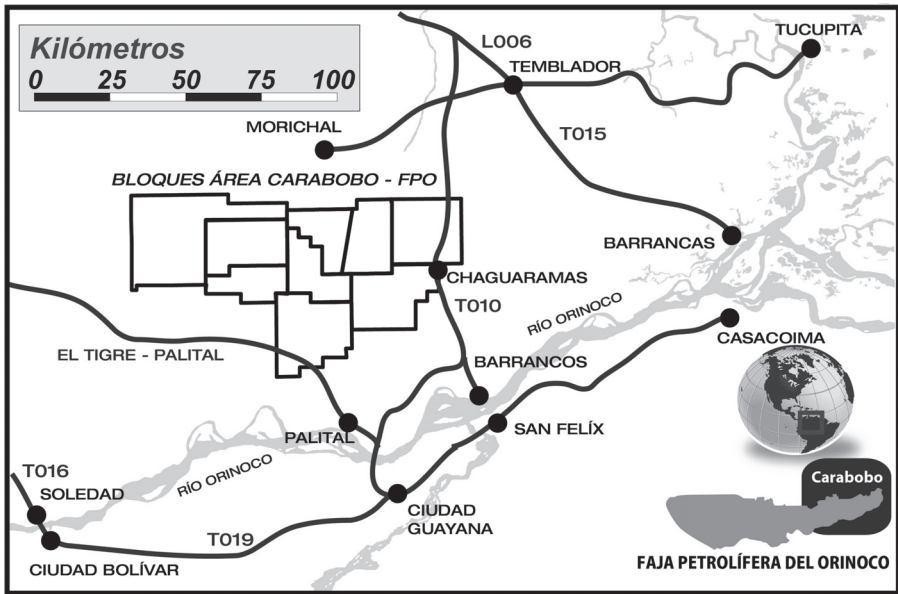


Figura 2. Esquema vial general del área Carabobo de la Faja Petrolífera del Orinoco.

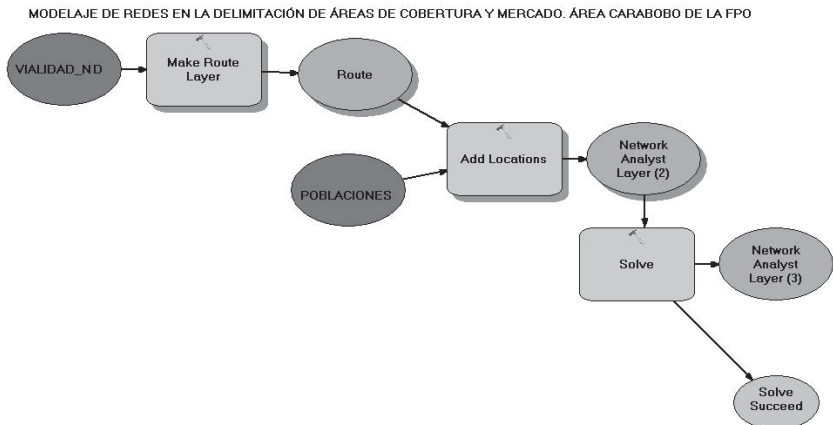


Figura 3. Construcción del modelo de red de transporte en ArcGis.

Sobre los atributos incorporados, el programa evaluó las alternativas de menor costo temporal, de forma que la asignación de valores fue racional y ajustado a la realidad para cada uno de los segmentos de vialidad que de manera jerárquica componen la infraestructura vial y que en su conjunto dan resultado al modelo de red de transporte (véase Figura 4).

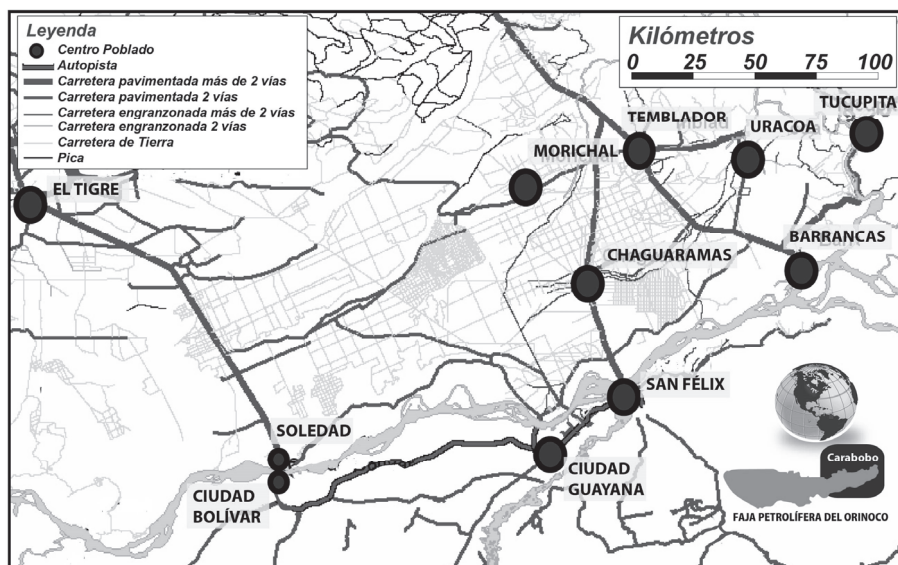


Figura 4. Modelo de red de transporte para el área Carabobo.

Resultados

Configurado el modelo de red, su construcción y diseño permitió la creación de una capa vectorial con la información de conectividad, jerarquía, tiempo y distancia necesarios para desarrollar una serie de consultas que es donde radica el principal objetivo del modelo.

Estas consultas como detalla la extensión de Network Analyst se clasifican en análisis de ruta, análisis de la entidad más cercana, análisis de área de servicio y análisis de matriz de costo OD.

La primera consulta referida al análisis de ruta, se identificaron dos localidades del área: Chaguaramas y San Félix, para así encontrar la mejor ruta en términos de tiempo ó distancia entre estos dos puntos previamente definidos (véase Figura 5).

En el segundo caso, se emplea el modelo de transporte para realizar el análisis de la entidad más cercana, siendo esta consulta útil en el caso que se intenta encontrar la entidad más cercana y la mejor ruta en caso de originarse un evento. Para ello se consideraron catorce (14) de las principales localidades del sur de los estados Anzoátegui y Monagas junto con la red para así en función de un evento ubicado en una locación elegida al azar disponer de la población y la ruta más cercana para acceder al sitio del evento (véase Figuras 6 y 7).

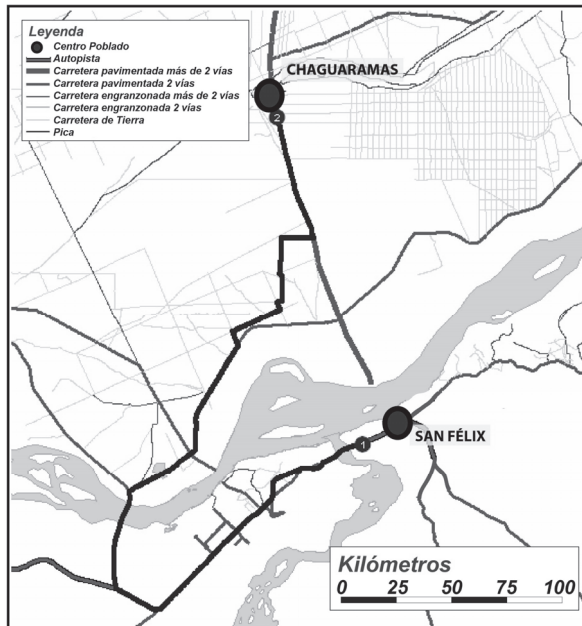


Figura 5. Respuesta de la consulta al modelo de red de transporte sobre la ruta más corta entre Chaguaramas y San Félix en función de la distancia y tiempo.

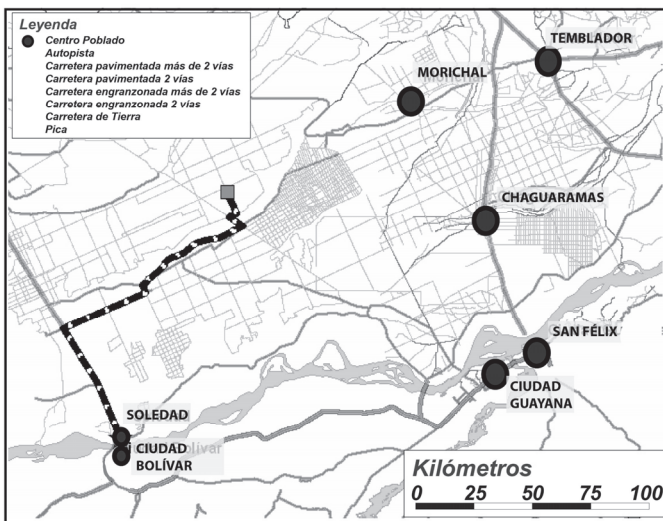


Figura 6. Respuesta de la consulta al modelo de red de transporte sobre la localidad y ruta más próxima en términos de tiempo en función a un evento. En esta oportunidad Soledad es la más próxima al evento.

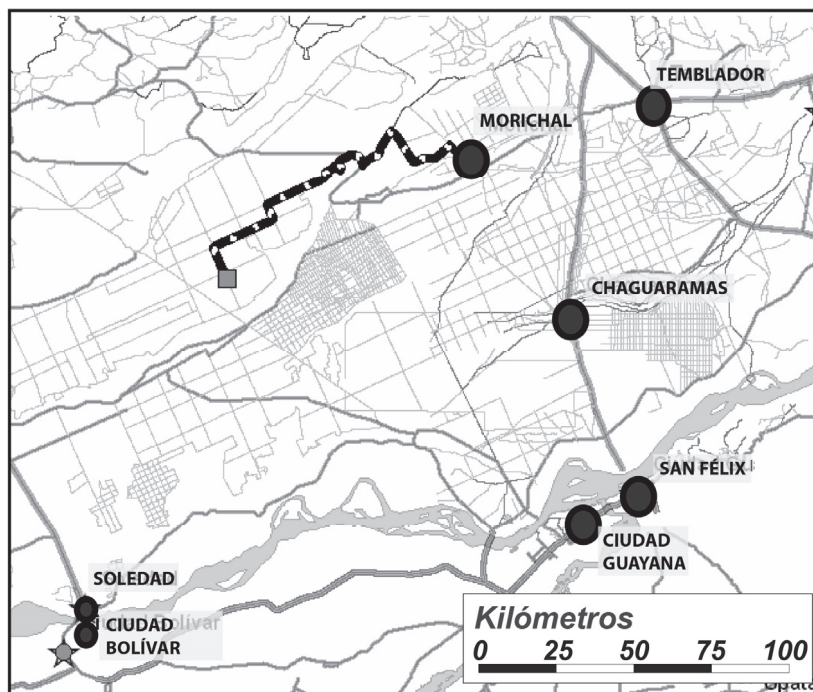


Figura 7. Respuesta de la consulta al modelo de red de transporte sobre la localidad y ruta más próxima en términos de distancia en función a un evento. En esta oportunidad Morichal es la más próxima al evento.

Los resultados indican que ante la ocurrencia de una eventualidad es posible identificar la localidad más cercana y la mejor ruta en el área Carabobo, incluso es posible observar según el criterio empleado: tiempo o distancia, como los resultados difieren por cuanto es a criterio del operador la elección a tomar para acceder al sitio del evento. Para el caso del análisis de las áreas de servicio, se utilizaron catorce (14) de las principales localidades del Sur de los estados Anzoátegui y Monagas para conocer la cobertura que pudieran tener estos orígenes a cualquier destino en el área Carabobo utilizando como escala de referencia el tiempo de recorrido en 30 min, 60 min y 120 min (véase Figura 8).

En esta oportunidad el modelo ha representado tres áreas que refieren a la cobertura por el tránsito terrestre en las vías existentes donde es posible acceder en diferentes períodos de tiempo incluso representando aquellas áreas más lejanas donde el acceso no es posible para los tiempos determinados.

Para finalizar utilizando el método de matriz de costo OD (origen-destino), para encontrar y medir las trayectorias de menor coste a lo largo de la red desde varios orígenes a varios destinos.

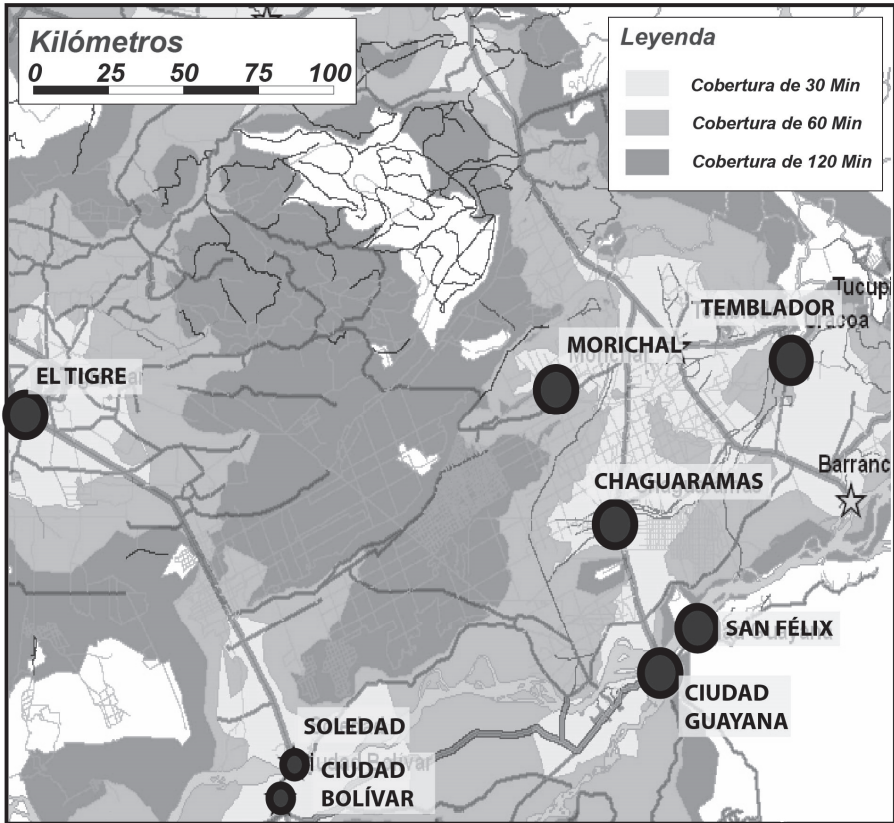


Figura 8. Áreas de cobertura de acceso entre las principales localidades del área Carabobo, según diferentes períodos de tiempo.

Al configurar un análisis del matriz de coste OD, se especificaron como orígenes las principales localidades del área Carabobo y como destino los quinientos y un (501) unidades operacionales de PDVSA y sus Filiales en producción y transporte a juicio de encontrar las trayectorias de menor coste desde cada origen a los destinos más cercanos.

Para la consulta se ha elegido El Tigre al sur del estado Anzoátegui, por lo que los resultados indican que mejor ruta y en cuanto tiempo se hallan las unidades operacionales de crudo y gas si se elige esta localidad como base para la logística de acceso las infraestructuras de producción y transporte de PDVSA y sus Filiales.

La utilidad de esta consulta permite identificar los costos asociados en tiempo y distancia para el acceso desde la localidad de El Tigre a las diferentes unidades de producción y transporte (véase Figura 9).

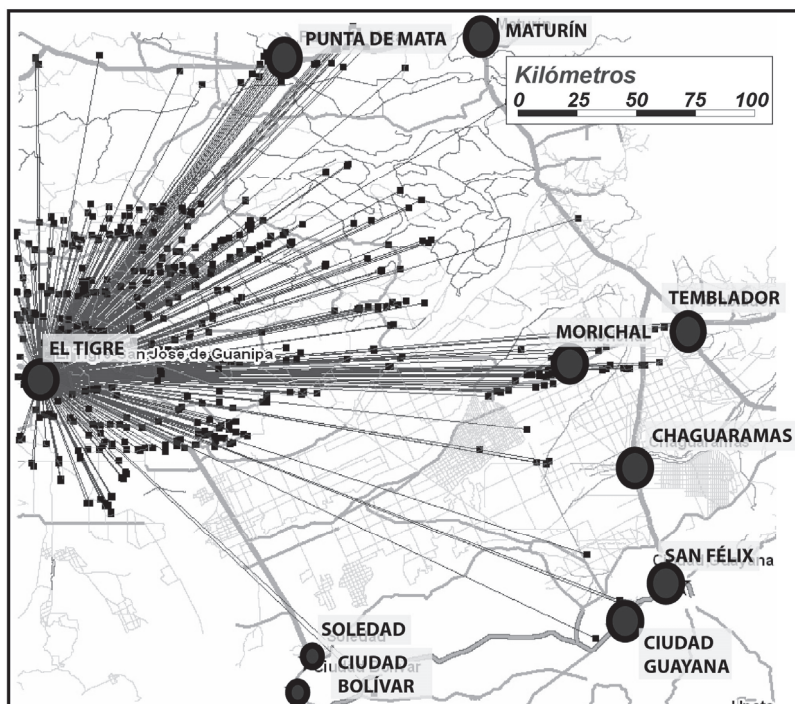


Figura 9. Trazado de las operaciones de logística necesarias para acceder desde la localidad de El Tigre a las diferentes instalaciones operacionales de PDVSA.

Incluso al realizar una nueva consulta es posible utilizar como origen las 14 más importantes localidades del área en estudio y las 501 unidades de producción y transporte de crudo y gas, como destino para conocer que localidad que presenta el emplazamiento más ventajoso.

Para este caso los resultados indican que existen 6,474 combinaciones posibles de rutas a las unidades de producción y transporte, así como también que el tiempo promedio para el acceso en el área Carabobo, se ubica en tres horas con una desviación típica de una hora y media. Si se grafican los promedios para cada uno de estos desplazamientos; resulta la localidad de El Tigre como la más cercana a las infraestructuras, con un promedio de tiempo que se reduce en apenas una hora y una desviación típica de 46 minutos a diferencia del promedio general.

Conclusiones

Los modelos de redes, en el caso particular de aquellos aplicados al transporte permiten con la información del área un soporte a la valoración de la accesibilidad y los costos en tiempo y distancias al transporte de bienes, personas y servicios.

Si bien la información disponible carecía de otros atributos más detallados asociados a la estacionalidad de flujo de transporte, calidad de las vías y otros elementos condicionantes; ofrece una cercana aproximación al análisis de las funcionalidades, potencialidades y restricciones del sistema del transporte.

Sin embargo, la aplicación del modelo representa un desafío importante basado en lo escaso en el detalle de la información disponible aún cuando la definición de una serie de premisas para el diseño del modelo fue un factor decisivo para su elaboración.

Es por este motivo que al diseñar la red, y evaluarla en base a la definición de premisas permite que no sea necesario contar con grandes volúmenes de información en las bases de datos. Los atributos del modelo vial diseñado no poseen mayores complejidades y para su aplicación sólo es necesario contar con información básica proveniente desde la infraestructura (ejes viales), sus datos asociados y los datos de la matriz OD.

La geomática ofrece una serie de herramientas para el desarrollo de estos modelos, aún cuando para el caso en estudio el tipo de software necesario es de licenciamiento, también es posible su desarrollo en plataformas de uso libre.

Para el caso en estudio su aplicación en modo experimental ofrece valores cercanos a la realidad en términos de tiempo y desplazamiento, no obstante para su ajuste es necesario contrastar los resultados con la experiencia en campo a través de evaluaciones en el mundo real.

En lo que refiere a los métodos aplicados al área Carabobo, fue posible realizar una serie de consultas referidas a las rutas más cortas en función a un evento, así como también la definición de áreas de cobertura y respuesta a eventos, con resultados que ofrecen además de una aplicación práctica, una importante ayuda en el análisis de la infraestructura vial y de logística.

Es justamente en el análisis de la matriz de costo origen-destino donde su aplicación permitió a un caso complejo como lo son las operaciones de logística, las cuales ameritan el recorrido a las diferentes unidades de operación y transporte de crudo y gas que PDVSA y sus Filiales dispone en el área de Oriente.

Para este caso en particular se contrastaron diferentes localidades para definir el mejor acceso, siendo de las 6,474 rutas posibles la localidad de El Tigre la más eficiente como base de operaciones.

Bibliografía

Centro de Procesamiento Digital de Imágenes —CPDI (2009). *Estudio de línea base socio-ambiental en un Sistema de Información Geográfica y estudios de impacto ambiental*, Proyecto Orinoco Magna Reservas, Caracas, Venezuela.

- Consejo Nacional Electoral —CNE (2013). *Circunscripciones Electorales*, Oficina Nacional de Infraestructura Electoral, Caracas, Venezuela.
- Environmental System Research Institute —ESRI (2006). *ArcGIS Network Analyst Tutorial*, ESRI Press, California, Estados Unidos.
- National Aeronautics and Space Administration —NASA (2013). *Modelo de elevación digital Global (GDEM)*, (en línea), disponible en <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/search.jsp>, consultado 11 de mayo de 2013.
- Petróleos de Venezuela S.A. —PDVSA (2012). *Informe de Gestión Anual 2011*. Gerencia Corporativa de Asuntos Públicos, Caracas, Venezuela.
- _____ (2010). *Logística Operacional de la región Oriente de PDVSA y sus Filiales*, Gerencia Corporativa de Exploración y Producción, Caracas, Venezuela.
- Rushworth A.; Peterson E., Hoef M. and Bowman W. (2016). Validation and comparison of geostatistical and spline models for spatial stream networks. *Environmetrics* (en línea), disponible en <http://www.fs.fed.us/rm/boise/AWAE/projects/SSN_STARS/downloads/Rushworth_etal_2015.pdf>, consultado 03 de agosto de 2016.
- Venezuela (1998). “Reglamento de la Ley de Tránsito Terrestre”, *Gaceta Oficial* No. 5.240 E, Caracas, Venezuela.