

**INVESTIGACIÓN DE LOS SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE Y
AVANCES EN TÉCNICAS DE MODELADO AUTÓNOMO PARA TRÁFICO**

**ANGELA GUZMÁN
DANIEL PINZÓN**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
2016**

**INVESTIGACIÓN DE LOS SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE Y
AVANCES EN TÉCNICAS DE MODELADO AUTÓNOMO PARA TRÁFICO**

**ANGELA GUZMÁN
DANIEL PINZÓN**

Proyecto de Grado para optar el título de Ingeniero Industrial

**Director proyecto
FERNANDO QUINTERO**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
2016**

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
1 CAPÍTULO I. Definición del Problema	9
1.1 Contexto del Problema	9
1.2 Análisis y Justificación	10
1.3 Formulación del Problema	12
2 CAPITULO II. Objetivos	13
2.1 Objetivo General.....	13
2.2 Objetivo del Proyecto.....	13
2.3 Objetivos Específicos.....	13
3 CAPÍTULO III. Marco de Referencia	14
3.1 Marco Teórico.....	14
3.1.1 Teoría de la decisión	14
3.1.2 Sistemas orientados por agentes	15
3.1.3 Modelado basado en agentes	15
3.1.4 Pensamiento divergente.....	17
3.1.5 Metodologías de modelado por agentes	18
3.1.6 Sistemas Inteligentes De Transporte	19
3.2 Antecedentes o Estudios Previos	20
4 CAPÍTULO IV. Metodología	22
4.1 Matriz de Marco Lógico.....	23
5 TÍTULO V. Resultados	24
5.1 Análisis de resultados	24
5.1.1 Objetivo 1	24
5.1.2 Objetivo 2	34
5.1.3 Objetivo 3	40
5.1.4 Objetivo 4	53
5.2 Conclusiones	60

5.3	Recomendaciones	61
6	Bibliografía.....	62

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Sistema radar empleado en un vehículo	28
Ilustración 2: Sistema LIDAR	28
Ilustración 3: Sistema sonar.....	29
Ilustración 4: Sistema GPS	29
Ilustración 5: Visión estereoscópica.....	30
Ilustración 6: Componentes del SIT	34
Ilustración 7: Arquitectura Física SIT	36
Ilustración 8: Diagrama de Flujo de Información.....	39
Ilustración 9: SIT Japón	41
Ilustración 10: Integración simulador y arquitectura cognitiva.....	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de Marco Logico.....	23
--------------------------------------	----

RESUMEN

En lo transcurrido del siglo XXI, las ciudades han tenido un aumento considerable de población y del parque automotor, por lo que ha ido acentuando los problemas de movilidad y seguridad. Los Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) nacen como respuesta a estos problemas, introduciendo las TIC (Tecnología, de la información y la comunicación) al transporte, esto gracias a los avances tecnológicos. El desarrollo que han tenido estos sistemas varía de acuerdo al país donde se han implementado, así como también su arquitectura y la tecnología usada; aunque lo más común son centros de control cuyo objetivo es administrar el tráfico y difundir información, en estos centros se realizan simulaciones de tráfico.

Palabras claves: Sistemas Inteligentes de Transporte, TIC, Simulación de tráfico, Modelado basado en agentes

INTRODUCCIÓN

El desaforado crecimiento poblacional en áreas urbanas, ha traído consigo la expansión de la demanda de la infraestructura vial y de los servicios transporte. Después de décadas de planear urbes priorizando el crecimiento de la red vial para asegurar la movilidad, se ha repensado el paradigma hacia medios sustentables, limitando la oferta de malla vial y controlando las causas de accidentalidad. A la medida que se implementan mecanismos que desestimulen el uso de carros, también se busca afianzar un uso eficiente de la infraestructura. En este contexto, los Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) se constituyen en una solución, siendo un conjunto de aplicaciones de tecnologías de la telecomunicación, redes, computación y sensores, que permiten mejorar la seguridad, eficiencia, sostenibilidad de los sistemas de transporte.

La implementación de los SIT, arrojan importantes beneficios en la dinamización de la economía del área donde éste es implementado. Por ejemplo, una correcta implementación de los SIT puede reducir los tiempos de parada hasta en un 40%, consiguiendo reducir el tiempo del viaje en un 25% y a su vez, una reducción en el consumo de combustible de alrededor del 10%. (It & Leadership, n.d.)

Por otro lado, otro gran elemento que ha sido utilizado para la implementación y análisis de impacto de los SIT en las diferentes situaciones es el modelado basado en agentes, el cual permite capturar y representar comportamientos propios de individuos en determinadas situaciones. Este modelado basado en agentes, ha permitido evaluar la conveniencia de determinadas decisiones dentro de la implementación de los SIT, permitiendo tener una aproximación a la forma de respuesta real de los individuos y así, realizar modificaciones y correcciones sin necesidad de alterar la infraestructura física de los sistemas de transporte.

1 CAPÍTULO I. Definición del Problema

1.1 Contexto del Problema

Ciudades pensadas para el ser humano, y no para los carros, es la nueva consigna urbanística que revoca la concepción modernista implantada en la postguerra desde los Estados Unidos. A sabiendas que la malla vial no puede seguir expandiéndose al mismo ritmo de la población y del uso generalizado del vehículo, la tecnología ha ido marcando transformaciones desde diferentes frentes. Uno de estos, está relacionado con el control del tráfico en busca de eficiencia y seguridad (Vanajakshi, 2010).

Por muchos años, los sistemas de transporte fueron objeto de estudio exclusivo desde la ingeniería civil. Asuntos de materiales, estructuras, geometría vial, normatividad, fueron la base de la planeación y administración de estos sistemas. De manera paralela y en relación a los enfoques holísticos de la cadena de abastecimiento y desde la investigación de operaciones, se formularon y aplicaron modelos de transporte con el fin de determinar rutas más cortas entre origen y destino, ruteos óptimos basados en un nodo origen-destino (problema del agente viajero), y redes de transporte para hallar flujos óptimos de mercancía y bienes entre proveedores y clientes. Entre tanto, los sistemas de transporte de pasajeros, avanzaron con diseños de nuevos modelos logísticos que balanceen costos y niveles de servicio.

Sin embargo, la década de los años 90s, trajo con si un sinnúmero de nuevas tecnologías de la comunicación y la computación. Las primeras arquitecturas de sistemas multiagentes para sistemas inteligentes de administración del tráfico (ITMS, *intelligent traffic management systems*) se remontan al primer lustro de esa década. Estos primeros avances eran el primer intento de administrar el tráfico que para entonces empezaba a mostrar niveles de congestión crecientes en horas

punta (pico) de centros urbanos densamente poblado y donde el vehículo particular era el medio preferente. Además de la movilidad, la preocupación aún vigente son los altos niveles de accidentalidad, llegando a registrar cifras de más de dos millones de vidas pérdidas en todo el planeta al año.

A la fecha, los avances tecnológicos están poniendo contra las cuerdas a la poderosa industria automotriz, cuyo modelo propagandístico de confort y status ya no tiene tantos adeptos. Emerge el carro autónomo como una posibilidad a derrocar el concepto de propiedad, la cultura de “*car sharing*” (carro compartido) va en aumento, los medios masivos de transporte se fortalecen y la información fluye a velocidades no imaginadas hace dos décadas.

En resumen, lo que inicialmente se concibió como un área telemática para mejorar aspectos relacionados con la seguridad, tiempos, eficiencia operacional, consumo de combustibles y costos asociados (Systems, Test, & Study, 1998), hoy por hoy conforma un estado tecnológico que transforma percepciones culturales, ambientales y hábitos de vida, y de paso reconfigura el área de modelado de los sistemas de transporte urbano, donde hemos ido pasando del protagonismo de las simulaciones convencionales de tráfico para apoyar decisiones de infraestructura y coordinación de mecanismos de control, a la sinergia de modelos cognitivos y computacionales de simulaciones basadas en agentes.

1.2 Análisis y Justificación

Por todo lo planteado anteriormente, resulta pertinente investigar acerca de la estructura y principales componentes de los SIT, además de presentar los diferentes niveles de implementación de los SIT a nivel mundial. Principalmente, resulta necesario abordar los últimos avances en técnicas y métodos relacionados con los SIT, y establecer las tendencias del modelado orientado por agentes en sistemas de tráfico que contribuyen a validar los beneficios reales de los SIT.

En el contexto colombiano, el Plan Nacional de Desarrollo del gobierno nacional, suscrito desde el año 2010 considera a los Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT), como una respuesta ante los problemas de movilidad que se están presentando en el país, debido a que estos se han convertido en una herramienta fundamental para la administración del tráfico, la cual tiene como objetivo aumentar la eficiencia y seguridad del sistema, es decir dar una respuesta inmediata ante incidentes o accidentes que afecten la movilidad, y además brinda herramientas para que el sistema de transporte no solo sea sostenible, sino también sustentable.

Por otro lado, la implementación de modelado de agentes en simulaciones de tráfico ha tenido mucho auge en los últimos años, debido a que permite recrear situaciones de tráfico donde existan eventos divergentes que impliquen raciocinio y toma de decisiones según interacción con otros agentes y el entorno.

La importancia del tema es relevante, si se invoca a uno de los más reconocidos promotores de la investigación de operaciones, Rusell Ackoff, quien luego fundamentó y difundió la importancia del enfoque sistémico en la resolución de problemas estructurados y no estructurados, y advirtió la necesidad de comprender el comportamiento humano (individual y colectivo) y su impacto en procesos de decisión. Esto resalta el interés investigativo, de trascender el enfoque meramente operacional y económico que propone soluciones eficientes, al análisis de sistemas donde la intervención humana involucra comportamientos, deseos y creencias.

Se concluye que los SIT y el modelado de agentes autónomos tienen un punto de encuentro, donde este último permite abstraer las funcionalidades de los primeros y analizar y evaluar situaciones de eficiencia y seguridad en los recorridos de los conductores. Esta fusión involucra experticia interdisciplinaria en sistemas cognitivos, arquitecturas y tecnologías para recolección y transmisión de datos,

modelos computacionales, modelos de trayectorias y sus algoritmos dinámicos de optimización, y conocimiento general desde la ingeniería del tráfico.

1.3 Formulación del Problema

El reto es aproximarse al estado del arte de los SIT y al modelado basado en agentes para eventos de tráfico, dadas las coyunturas locales y nacionales del problema de la movilidad, cada vez más complejas, donde se avecinan innovaciones importantes desde la tecnología y las técnicas de modelado, que apoyen el diseño de políticas públicas para la incidencia en la calidad de vida de los ciudadanos.

2 CAPITULO II. Objetivos

2.1 Objetivo General

Explorar desarrollos en los sistemas inteligentes de transporte (SIT)

2.2 Objetivo del Proyecto

Caracterizar los actuales sistemas inteligentes de transporte (SIT) en funcionalidades y estructuras.

2.3 Objetivos Específicos

- Describir los sistemas funcionales de los SIT
- Identificar la arquitectura de los SIT a partir de sus elementos tecnológicos y operacionales.
- Describir el nivel de desarrollo de los SIT en algunos de los países donde se han logrado implementar correctamente y compararlo con lo que se ha desarrollado en Colombia
- Revisar avances en el modelamiento autónomo para situaciones de tráfico.

3 CAPÍTULO III. Marco de Referencia

3.1 Marco Teórico

El modelado de sistemas basados en agentes involucra teorías enmarcadas en el análisis de decisiones y en la abstracción de sistemas dinámicos. Dos frentes que históricamente han evolucionado individualmente: el primero enfocado en criterios y atributos que a través de técnicas logre maximizar funciones de utilidad y minimizar riesgos, especialmente bajo entornos de incertidumbre, y el segundo con modelos analíticos y computacionales que prescriben, describen y predicen, mejores acciones, desempeños y resultados, respectivamente.

3.1.1 Teoría de la decisión

En diversas áreas como la biología, la medicina, la economía, la psicología etc., siempre ha existido el interrogante sobre como los individuos se comportan y toman decisiones. Como respuesta a este interrogante surgió la teoría de la decisión, la cual se ocupa de analizar como elige un individuo una acción que de entre un conjunto de acciones posibles, le conduce al mejor resultado dadas sus preferencias (Aguilar). Pero esta teoría no es suficiente, ya que en la mayoría de las situaciones los individuos no toman decisiones por si solos, sino que son influenciados por otros individuos. Como respuesta a esto nació la teoría de juegos, la cual analiza las decisiones individuales que se ven influenciadas no solo por la información contextual, sino por las decisiones de otros. En esta teoría se estudian las decisiones estratégicas, ya que lo que una persona decide, depende de la información que tenga sobre lo que hacen los demás. (Aguilar). Actualmente se ha querido avanzar aún más y analizar el comportamiento y la toma de

decisiones de los individuos por medio de sistemas dinámicos, es decir los individuos no solo están influenciados por el contexto y los otros individuos, sino también por su entorno, y los cambios que se producen en este.

Como base inicial para el proyecto resulta indispensable resaltar la teoría de decisiones y el rol que esta tiene dentro del mismo, ya que para poder modelar el comportamiento humano, es necesario primero, analizar cómo se comportan y toman decisiones los individuos cuando están en un ambiente en constante cambio, en el cual no están solos, sino con otros individuos, los cuales tienen sus propios procesos de toma de decisiones, e influyen unos en otros.

3.1.2 Sistemas orientados por agentes

Sistemas orientados por agentes son sistemas de simulación, en los que agentes proactivos, autónomos e inteligentes interactúan entre sí (Chan & Son). Lo que diferencia este sistema de los otros sistemas de simulación, es precisamente la capacidad que tienen los agentes para tomar la iniciativa, comunicarse con otros agentes y tomar decisiones, las cuales se toman considerando, no solo los elementos del ambiente, sino también las decisiones de los otros agentes, es decir los agentes influyen unos en otros. Los agentes pueden percibir, razonar, reaccionar, memorizar y aprender, basado en conocimiento propio y experiencias pasadas.

3.1.3 Modelado basado en agentes

Un modelo basado en agentes (MBA) es un sistema multi-agente simulado, construido con el objetivo particular de capturar y representar para su análisis y

estudio, elementos de algún proceso o fenómeno en particular.(Smith & Conrey, 2015)

Dentro de los elementos que componen el MBA, los protagonistas principales son los agentes, los cuales son entidades computacionales capaces de representar un comportamiento racional e interactuar con su entorno y otros agentes. Estos agentes son capaces de elaborar planes y sub-planes para lograr una meta principal o sub-meta (S. Rao & P. Georgeff, 1995). Estos agentes, son capaces de interactuar e influir en el comportamiento de otros agentes, aprender de sus experiencias y adaptar sus comportamientos de acuerdo al estado de su entorno.(Macal & North, 2010)

El MBA se define desde la perspectiva de las unidades que lo componen, es decir, los agentes; para esto, es necesario definir un set de reglas y comportamientos que deben ser ejecutados por los agentes que hacen parte del modelo, estos agentes pueden ejecutar varios comportamientos de acuerdo a la situación en que se encuentren, alterando el estado del sistema e incidiendo directamente en las decisiones que toman los demás agentes.(Bonabeau, 2002)

El MBA ha sido utilizado ampliamente en diversos campos y ciencias, con objetivos distintos, sin embargo, las principales aplicaciones e investigaciones se han realizado en los siguientes campos (Davidsson, Holmgren, Kyhlback, Mengistu, & Persson, 2006):

- Sociedades animales: Se representa, mediante MBA, las interacciones y el comportamiento de grupos de animales, principalmente para tener un mejor entendimiento de algunos fenómenos asociados al comportamiento animal, como la formación de bandadas, etc.
- Sistemas fisiológicos: Se busca verificar alguna teoría mediante la representación de las partes integradas de algún organismo viviente, como el funcionamiento de un órgano específico, subsistemas del cuerpo humano, etc.

- **Sistemas sociales:** Se busca estudiar y representar un grupo de individuos con metas individuales
- **Organizaciones:** Se representan estructuras de personas relacionadas entre sí para cumplir un propósito o actividad en común.
- **Sistemas económicos:** Se representan estructuras organizadas en el que se lleva a cabo el intercambio de bienes o servicios en un mercado.
- **Sistemas ecológicos:** Se representan animales y/o plantas vivos que desarrollan relaciones entre sí y dependencias del ambiente.
- **Sistemas físicos:** Se representa una serie de entidades pasivas que se comportan bajo los lineamientos de diversas leyes físicas.
- **Sistemas robóticos:** Se representan una o más entidades electro-mecánicas que poseen capacidades sensoriales, táctiles y de decisión.
- **Sistemas de transporte y tráfico:** Se busca representar el movimiento de individuos, bienes o información en una infraestructura de transporte.

3.1.4 Pensamiento divergente

El pensamiento divergente es la habilidad de generar ideas mediante la comparación y combinación de distintas fuentes de información en nuevas formas.(Addis, Pan, Musicaro, & Schacter, 2014)

Este pensamiento divergente se manifiesta en el proceso de generación de ideas a partir de un suceso o evento en particular.

Por ejemplo, el pensamiento divergente puede manifestarse en los individuos durante un accidente vehicular, ya que éste debe generar un plan de respuesta si se ve involucrado o afectado directa o indirectamente por este suceso; la persona debe evaluar y generar ideas por ejemplo, para elaborar una ruta alternativa que le permita llegar a su destino, o cambiar de carril para evitar el altercado, etc.

3.1.5 Metodologías de modelado por agentes

El modelado de sistemas orientados por agentes, ha sido implementado de forma exitosa en diversos campos aplicados, lo que ha estimulado el desarrollo y la aplicación de modelos para situaciones complejas y dinámicas. Algunas de las metodologías empleadas por el modelado de sistemas orientados por agentes son:

- BDI: *Belief-Desire-Intention* BDI es una metodología en donde el comportamiento de los agentes inteligentes dentro del sistema está comprendido en tres elementos fundamentales, los *Beliefs*, que son la representación del estado del mundo por parte de los agentes; los *Desires*, que representan aquellas metas (y sub-metas) o estados deseados por los agentes (Drexel); y las *Intentions*, que representan el plan de acción o conjunto de acciones que el agente determina que va a tomar para lograr alguna meta o sub-meta. (S. Rao & P. Georgeff, 1995)
- GAIA: GAIA comprende una metodología empleada para el modelado de sistemas orientados por agentes en la que se pretende permitir ir, sistemáticamente, desde una serie de requerimientos hasta un diseño que sea lo suficientemente detallado para ser implementado directamente (Wooldridge, Jennings, & Kinny, 2000). Los roles que comprende la metodología GAIA se caracterizan por tres atributos fundamentales, los permisos, que definen qué recursos pueden ser usados dependiendo de cada rol y las limitaciones que existen sobre estos recursos; las responsabilidades, que determinan la funcionalidad de cada rol; y los protocolos, que definen la forma en que cada rol interactúa con los demás roles del modelo. (Wooldridge et al., 2000)

- UML: El Unified Modeling Language (UML) plantea un lenguaje para el modelado de sistemas orientados por agentes, unificado y estandarizado. El UML consiste de una serie de notaciones estandarizadas, que facilitan la sintaxis del lenguaje empleado para el modelado de estos sistemas.(Torres, Choren, & Lucena, 2004)

3.1.6 Sistemas Inteligentes De Transporte

Los avances en las últimas décadas en materia de tecnologías de la información han permitido la transformación de diferentes sectores, desde educación y salud, hasta los sistemas de transporte.

Estos avances en las tecnologías de la información han permitido que los elementos que conforman los sistemas de transporte (vehículos, caminos, semáforos, señalizaciones) sean “inteligentes” mediante la implementación de sensores y microchips que permiten y potencian la comunicación entre ellos a través de tecnologías inalámbricas.

El termino Sistema Inteligente de Transporte apareció por primera vez en Estados Unidos en la década de los 70 y posteriormente en Japón en los 80. Actualmente el EITS (European Telecommunications Standards Institute) define ITS como la aplicación de las TIC en los sistemas de gestión, infraestructura y medios de transporte (aéreo, marítimo, terrestre y fluvial)

3.2 Antecedentes o Estudios Previos

En la década de 1960, en Estados Unidos, surge el Electronic Route Guidance System, ERGS, el cual fue el primer programa para proveer al conductor información sobre las vías, basado en análisis de tráfico en tiempo real. Este sistema usaba un hardware especial ubicado en diversas intersecciones a lo largo de las vías, que enviaban información hasta las centrales de cómputo para su procesamiento y posterior análisis y difusión.

Posteriormente, en Estados Unidos, a principios de la década de 1970 surge una variante mejorada de los ERGS, Automatic Route Control System, ARCS; el cual permitía la integración de diversas señales de tránsito, además de determinar los tiempos de los semáforos mediante un análisis computacional en tiempo real.(Vanajakshi, 2010)

Aunque el origen formal de los SIT data de la década de 1970, el primer congreso mundial de SIT tuvo lugar en 1994, en París. Este evento facilita la consolidación del desarrollo y aplicación de los SIT para su mejora continua e implementación en sistemas de control tráfico existentes.

El desarrollo de los SIT involucra academia, gobierno, empresas y organizaciones de investigación. El organismo líder desde los Estados Unidos es el Intelligent Transportation Society of America (ITS America), el cual ha definido como metas, mejorar la seguridad, reducir la congestión, mejorar la movilidad y accesibilidad, reducir el impacto ambiental de los sistemas de transporte, mejorar la productividad económica, e incrementar la eficiencia energética.

Para el presente trabajo se toman varias referencias para la construcción del marco teórico y otros elementos del mismo; entre ellos, se encuentra un trabajo de grado de la universidad Icesi, presentado en 2014, en el que se define y

caracterizan los elementos asociados a las estructuras de los SIT (Daniel & Navarro, 2014).

Por otra parte, en lo que se refiere al modelado orientado por agentes, una clase de modelo computacional que sirve para simular acciones e interacciones entre agentes autónomos, que ha sido usado, entre otras aplicaciones, en situaciones de tráfico, los avances son constantes y sus primeras fueron desarrollados en 1971 por Thomas Schelling, donde Schelling pretendía representar el comportamiento discriminativo de la naturaleza humana, modelando la dinámica interactiva de las decisiones individuales frente a características asociadas con el sexo, ingreso, color, religión, entre otros. (Schelling, 1971).

Para el desarrollo del trabajo, se toma como referencia un marco de trabajo publicado en 2014 (Kim, Son, Tian, & Chiu, 2014) por la universidad de Arizona, en el que se analiza el comportamiento divergente de los conductores cuando una parte del camino se encuentra bloqueado por un incidente de tránsito. En este artículo, se realiza una simulación de diversas situaciones mediante un software para analizar el comportamiento y las acciones tomadas por los conductores en estas situaciones.

4 CAPÍTULO IV. Metodología

Con el objetivo de explorar los desarrollos que se han logrado hasta el momento con respecto a los Sistemas Inteligentes de Transporte se investigaron los sistemas funcionales que los comprenden, la arquitectura de estos sistemas, el nivel de desarrollo que han tenido hasta el momento a nivel internacional y las aproximaciones que se han hecho en Colombia respecto a estos. Adicionalmente se identificaron los avances que se han hecho en el modelamiento autónomo para situaciones de tráfico.

A continuación se presenta la matriz de marco lógico, asociada a la realización de los objetivos específicos, con sus respectivas tareas, recursos, método de verificación y supuestos necesarios que se tuvieron en cuenta para llevar a cabo dichos objetivos específicos que permitieron a su vez, concluir de forma satisfactoria con el objetivo del proyecto.

4.1 Matriz de Marco Lógico

Tabla 1: Matriz de Marco Lógico

OBJETIVOS	TAREAS	RECURSOS	FUENTE DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
Describir los sistemas funcionales de los SIT	1. Identificar los sistemas funcionales de los SIT	Para la construcción y realización de estas tareas, serán consultadas obras, publicaciones de revistas, diarios, artículos científicos, paginas gubernamentales y demás textos que puedan aportar para el desarrollo de los objetivos planteados. Dichos textos serán consultados usando las bases de datos de la universidad, biblioteca física y demás fuentes confiables electrónicas	Tutor del proyecto	Se cuenta con toda la información disponible sobre los SIT
	2. Investigar sobre la aplicación, tecnología y beneficios de los SIT		Tutor del proyecto	
Identificar la arquitectura de los SIT a partir de sus elementos tecnológicos y operacionales.	3. Investigar cuales son los principales componentes del SIT y las relaciones que existen entre estos		Tutor del proyecto	
	4. Describir cada uno de los componentes del SIT		Tutor del proyecto	
	5. Identificar la tecnología y comunicación utilizada en los SIT		Tutor del proyecto	
Describir el nivel de desarrollo de los SIT en algunos de los países donde se han logrado implementar correctamente y compararlo con lo que se ha desarrollado en Colombia	6. Identificar los países donde los SIT han tenido un mayor desarrollo		Tutor del proyecto	Se cuenta con toda la información disponible sobre la implementación de los SIT a nivel internacional
	7. Describir como se implementan los SIT en los países identificados y la tecnología usada		Tutor del proyecto	En Colombia se han realizado avances con respecto a los SIT y estos avances se encuentran documentados
	8. Investigar los avances que se han hecho en Colombia con respecto a los SIT y la tecnología implementada para dichos avances		Tutor del proyecto	
Revisar avances en el modelamiento autónomo para situaciones de tráfico	9. Comparar los avances que se han realizado a nivel internacional con los avances nacionales		Tutor del proyecto	Se cuenta con toda la información disponible sobre las diferentes metodologías de modelado de agentes
	10. Identificar y describir las metodologías de modelado de agentes usadas para simulación de trafico		Tutor del proyecto	

Fuente 1: Elaboración propia

5 TÍTULO V. Resultados

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Objetivo 1

Los sistemas inteligentes de transporte se pueden clasificar de acuerdo a su aplicación. Esta clasificación varía dependiendo del país donde se estén implementando. El ITS América los clasifica en:

5.1.1.1 Sistema Avanzado de Gestión de Tráfico (ATMS)

Son sistemas que se enfocan en la implementación de dispositivos de control de tráfico, como semáforos, señales variables en las vías, mediciones de rampas, etc. En los ATMS, se emplean centros de operación de tráfico, que usan información obtenida a través de diferentes tecnologías como vehículos sondas, cámaras, equipo en carretera, y demás dispositivos que, en conjunto facilitan la creación de una visión integrada del flujo del tráfico y detectar accidentes, condiciones climáticas peligrosas u otras amenazas en la vía.

Una de las implementaciones de un ATMS más destacada son las señales adaptativas de tráfico, las cuales son capaces, de forma dinámica e inteligente, establecer sus tiempos de forma autónoma; contrario a la manera en que funcionan la mayor parte de los semáforos alrededor del mundo, cuyos tiempos son establecidos de forma estática, basándose en datos históricos.

5.1.1.2 Sistemas Avanzados de Información para viajeros (ATIS)

Son sistemas que proveen a cualquier viajero en general información que pueda resultarle útil para circular o planificar su viaje. (Avanzados & AI, n.d.)

Dentro de los principales objetivos de los ATIS, se destaca el énfasis en el uso más eficiente de la infraestructura existente, por ejemplo, para proveer información a los usuarios de las vías. (Wahle, 2008)

Obtención de información

El funcionamiento de los ATIS empieza con la obtención de información directamente en las vías; durante esta etapa se recopilan datos sobre el tráfico o demás información que pueda resultar útil al viajero, como por ejemplo, información acerca del clima, noticias, consejos de ruta, etc.

Para la obtención de esta información, los métodos empleados más comunes son:

- **Espiras y sensores inductivos:** Estos son los dispositivos más empleados para la obtención de información en los ATIS debido principalmente, a los bajos costos y la alta confiabilidad que otorgan. Estos dispositivos detectan la cantidad de metal que cruza determinada área para así, obtener información como el flujo vehicular de la zona, tipo de vehículos, etc. (Wahle, 2008)
- **Cámaras de video:** Cámaras dispuestas en puntos críticos en las principales vías vehiculares para la obtención de información acerca del flujo vehicular en tiempo real.
- **Vehículos sonda:** Estos vehículos son empleados para realizar mediciones directamente en las vías, obteniendo información acerca de la velocidad de los vehículos que transitan la zona, tiempo promedio de viaje, etc. La información obtenida por estos vehículos es transmitida a centros de control para su posterior fusión y difusión.

Posterior a la obtención de información mediante los métodos ya mencionados, se pasa a la etapa de fusión y difusión de datos.

En la etapa de fusión de datos, la información obtenida es consolidada y plasmada en una base de datos para su posterior difusión.

Durante la difusión de los datos, se toma la información ya recopilada y consolidada y se difunde mediante diversos medios, entre ellos:(Avanzados & AI, n.d.)

- Radio comercial
- Paneles de mensajes variables
- Televisión
- Teletexto
- Telefonía básica y celular
- Internet

Una vez la información ha sido difundida, el usuario debe estar en capacidad de recibir esta información para su posterior uso; para esto, los usuarios hacen uso principalmente, de:(Avanzados & AI, n.d.)

- Receptor de TV
- Receptor de Radio
- Teléfonos fijos y móviles
- Ordenadores
- Pagers
- PC's portátiles o de escritorio

Naturaleza de la información

Debido a la naturaleza temporal de los datos obtenidos mediante la aplicación de los ATIS, es necesarios, clasificar la información en tres categorías diferentes:(Wahle, 2008)

- Datos históricos: Los datos históricos recopilados reflejan estados previos de la red. Estos datos tienen como objetivo ser usados para realizar pronósticos.
- Datos actuales: Esta información es recopilada en tiempo real y se obtiene mediante dispositivos de detección, para brindar información acerca del estado actual de la red a los usuarios.
- Datos predictivos: Este tipo de información es obtenida a partir de la aplicación de diversos algoritmos inteligentes que emplean información histórica para brindar información a corto o largo plazo (hasta un día) acerca de las condiciones de tráfico esperadas.

5.1.1.3 Sistemas Avanzados de Control y Seguridad de Vehículos (AVCSS)

Su objetivo es ayudar a los conductores a controlar los vehículos, para así mejorar la seguridad y reducir los accidentes. Las herramientas usadas en estos sistemas son principalmente: alerta y control anti-colisión, asistencia al conductor, control lateral y longitudinal automático, y los planes a largo plazo de la conducción automática y de sistemas automáticos de carreteras.

Las principales funciones de los AVCSS se listan a continuación (Chan, Zhang, Miloudi, Kursi, & Lemaire, 2001):

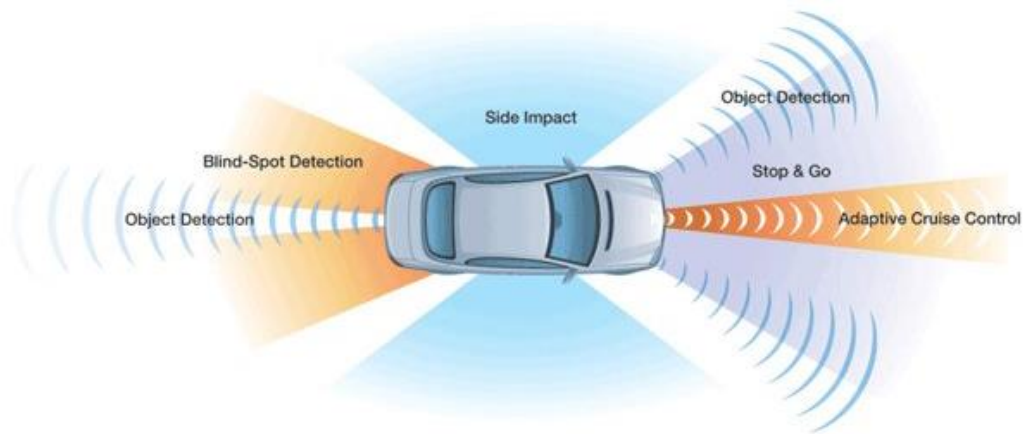
- Alerta de colisión
- Alerta de cambio de carril
- Control automatizado longitudinal
- Control automatizado lateral
- Prevención de colisiones frontales

Tecnologías

A continuación se listan las principales tecnologías empleadas en los AVCSS para lograr los objetivos mencionados(Chan et al., 2001):

- **Radar:** Sistemas que, mediante ondas electromagnéticas permite conocer la distancia hasta un objeto y su velocidad.

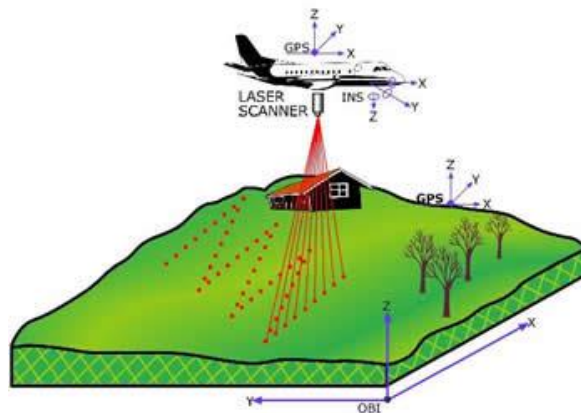
Ilustración 1: Sistema radar empleado en un vehículo



Fuente: www.ubergizmo.com

- **LIDAR:** Es una tecnología que permite determinar la distancia entre un objeto y el emisor del pulso.

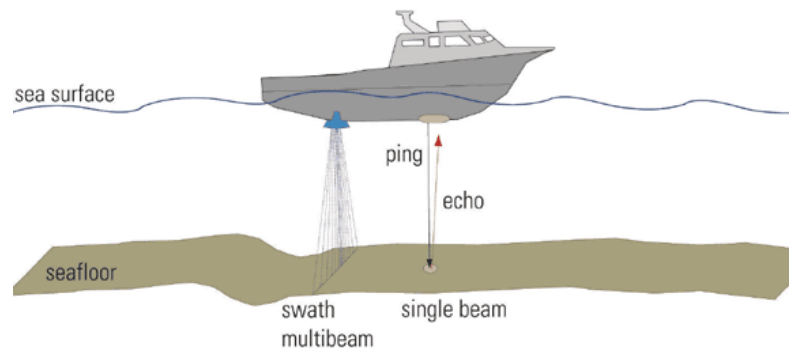
Ilustración 2: Sistema LIDAR



Fuente: Sitio web del US forest service

- **Sonar:** Es una técnica que, mediante la emisión de impulsos sonoros permite determinar distancia y ubicación de un elemento.

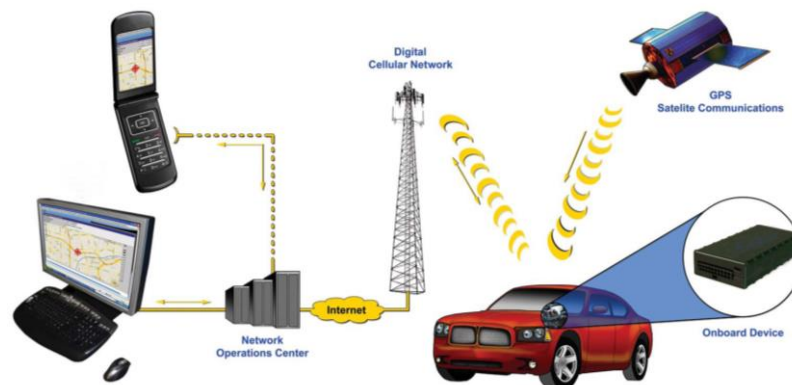
Ilustración 3: Sistema sonar



Fuente: coastal.er.usgs.gov

- **GPS:** Es un sistema de radionavegación compuesto de tres elementos; satélites en órbita, estaciones terrestres de seguimiento y control, y receptores de GPS; que proporciona servicios de posicionamiento que permiten obtener coordenadas tridimensionales de latitud, longitud y altitud, además de la hora local precisa. (U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics, 2014)

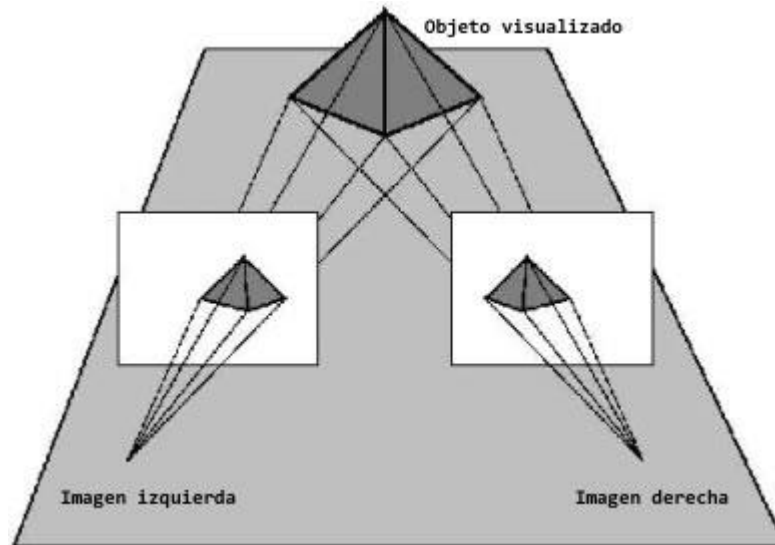
Ilustración 4: Sistema GPS



Fuente: www.securesystemgrouppltd.com

- **Visión estereoscópica:** Técnica que emplea tomas de un mismo escenario desde varias perspectivas para obtener una visión tridimensional de la misma

Ilustración 5: Visión estereoscópica



Fuente: www.panasonic.es

5.1.1.4 Operación de Vehículos Comerciales (CVO)

Aplica las tecnologías ATMS, ATIS y AVCSS en manipulación de vehículos comerciales, como camiones, buses, ambulancias, taxis, etc., para mejorar la eficiencia y seguridad.

Beneficios

Entre los principales beneficios obtenidos a partir de la implementación del CVO, se encuentran (Systems, Test, & Study, 1998):

- Seguridad mejorada
- Costos reducidos
- Ahorro de tiempos
- Consumo de combustible reducido

- Mayor eficiencia operacional

Tecnologías

Las tecnologías más relevantes para los CVO se listan a continuación:

- GPS
- Sistemas acoplados a los vehículos
- Comunicación celular
- DSRC
- Sistemas de información del clima
- Sistemas de información de velocidad vehicular
- Clasificación vehicular automática
- Señales de mensajes dinámicas.

5.1.1.5 Sistemas Avanzados de Transporte Público (ATPS)

Son sistemas que contienen una serie de tecnologías que permiten incrementar la eficiencia y seguridad en los sistemas de transporte, además de ofrecer al usuario un mayor acceso a la información. Dentro de sus aplicaciones esta poder conocer la ubicación de un vehículo, para así dar información en tiempo real a los pasajeros, conexión multimodal, pago de tarifa transporte público.

Tecnologías asociadas a los APTS

Las tecnologías disponibles, empleadas para el funcionamiento de los APTS pueden ser organizadas en 5 categorías distintas, listadas a continuación:

Sistemas de manejo de flota: Permite incrementar la eficiencia de los sistemas de tránsito, en la medida que se reduce costos operativos y se mejoran servicios de tránsito mediante un mayor cumplimiento de los cronogramas y horarios definidos.

- Sistemas automáticos de localización de vehículos
- Software de operaciones de tránsito
- Sistemas de comunicación
- Sistemas de información geográfica
- Contadores automáticos de pasajeros
- Sistemas de prioridad de señales de tránsito

Sistemas de información al viajero: Estos sistemas combinan tecnologías computacionales y de comunicación para proveer información vehicular a los viajeros, donde quiera que éstos se encuentren. Mediante estos sistemas, el viajero puede acceder, en tiempo real a información sobre congestión vehicular y así, escoger la ruta más eficiente y conveniente a tomar

- Sistemas de información de tránsito multimodales y pre-viaje.
- Sistemas de información de tránsito *In-terminal/Wayside*
- Sistemas de información de vehículos en tránsito.

Sistemas de pago electrónico: Son sistemas instalados para facilitar a los viajeros el pago del servicio, de forma más conveniente y menos costosa para los proveedores del servicio.

- Tarjetas inteligentes
- Sistemas de distribución de tarifas
- Clearinghouse

Manejo de la demanda de transporte: Son un conjunto de técnicas y programas empleadas por las agencias y organizaciones de transporte para manejar y utilizar, de forma más eficiente, la capacidad de la infraestructura existente. Tiene como objetivo maximizar la capacidad de la red de transporte.

- *Ridesharing* dinámico
- Servicio automatizado de coordinación
- Centros de manejo de transporte

Iniciativa de vehículo inteligente en tránsito: Son un conjunto de tecnológicas, instaladas en los vehículos que buscan principalmente, prevenir colisiones.

- Sistema contra colisiones y cambio de carril
- Sistema contra colisiones frontales

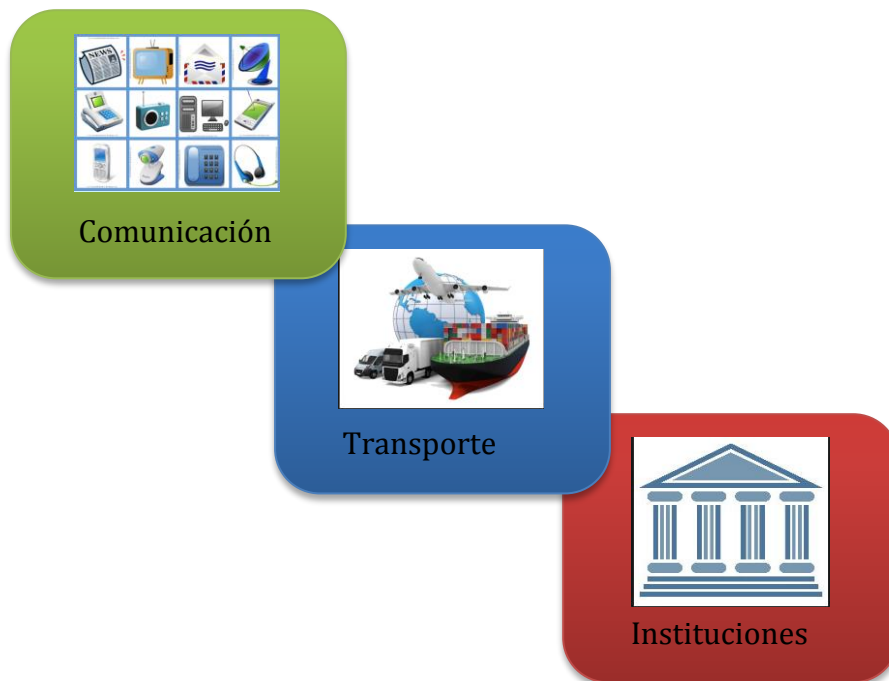
5.1.2 Objetivo 2

5.1.2.1 Arquitectura del SIT

La arquitectura del SIT varía dependiendo del país donde se esté implementando, pero debido a que Estados Unidos fue el pionero, la mayoría de los países latinoamericanos están adoptando la misma arquitectura.

De acuerdo con el Departamento de Transporte de Estados Unidos, la arquitectura de los SIT está dividida en 3 áreas principales: Instituciones, Comunicación y Transporte.

Ilustración 6: Componentes del SIT



Fuente: Elaboración propia

Instituciones:

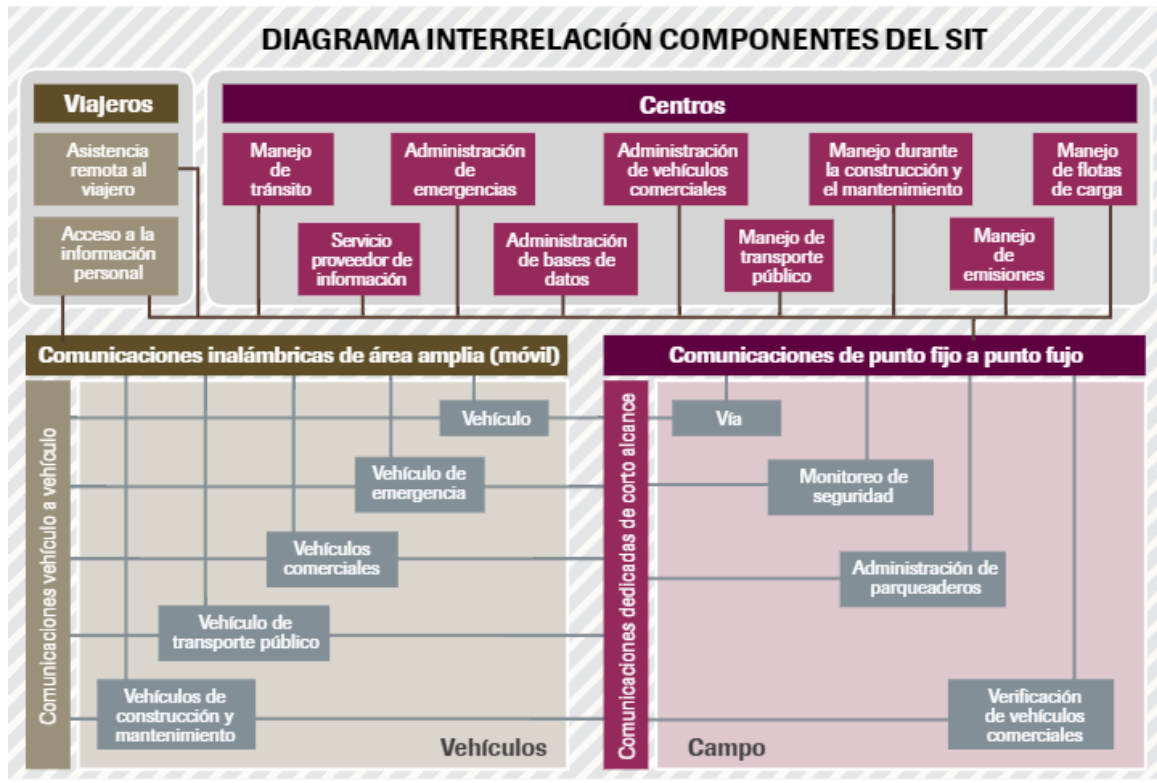
En esta área se define que entidades van a implementar los SIT y la labor que van a llevar a cabo.

- **Gobierno Nacional:** En Colombia el presidente a través de su equipo de gobierno es responsable de llevar a cabo un Plan Nacional de Desarrollo (PND), el cual tiene una vigencia de cuatro años (periodo presidencial). El PND provee los lineamientos de las políticas públicas formuladas por el presidente (Desarrollo), entre estas políticas se encuentran las políticas de transporte y TIC. Es decir es responsabilidad del gobierno nacional concretar las normas que van a regir los SIT.
- **Ministerio de Transporte:** tiene como objetivo la formulación y adopción de las políticas, planes generales, programas proyectos y regulación económica en materia de transporte, tránsito e infraestructura de los modos de transporte carretero, marítimo, fluvial, férreo y aéreo y la regulación técnica en materia de transporte y tránsito de los modos carretero, marítimo, fluvial y férreo (Colombia).
- **Sector Privado:** es necesario para el desarrollo de las TIC, en este caso específicamente para el desarrollo de tecnología, ingeniería de tráfico, mercadeo e investigación.

Arquitectura física SIT

La arquitectura física es una representación de las interfaces y componentes principales del ITS. La ilustración 7 corresponde a la arquitectura física del SIT, la cual comprende los componentes de comunicación y transporte

Ilustración 7: Arquitectura Física SIT



Fuente: Plan Maestro de Movilidad

Transporte:

En el componente transporte se definen las funciones que se llevarán a cabo, los subsistemas que realizan estas funciones y las interfaces requeridas. Las entidades pertenecientes a este componente y sus funciones se describen a continuación.

- **Centros:** Gestionan administran y apoyan el sistema de transporte. Estos se comunican con otros centros, con los vehículos y el campo para recolectar y brindar información.

- Campo: Hace referencia a la infraestructura vial, vigilancia directa a los vehículos y proporción de información. Los subsistemas campo son administrados y controlados por los subsistemas centros.
- Vehículos: Los vehículos se comunican con el campo y los centros para darle información al conductor
- Viajeros: corresponde a los equipos usados por los conductores (Celulares, Tablets, computadores, sistemas de navegación, etc.). Este subsistema se comunica con el subsistema centros, para obtener información.

Comunicación:

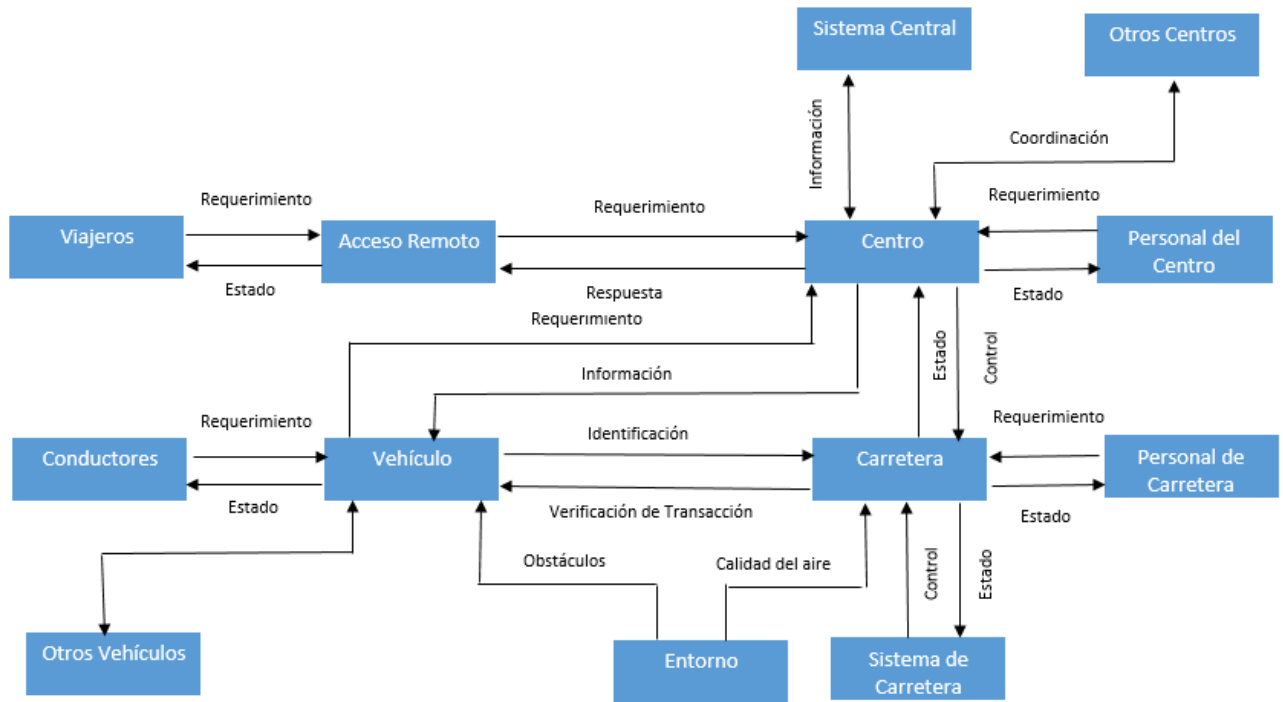
- Comunicación de punto fijo a punto fijo: comunicación entre entidades inmóviles pertenecientes al SIT. Este vínculo respalda actividades de mantenimiento, monitoreo y administración del servicio. Incluye todo tipo de red de comunicación.
- Comunicación inalámbrica de áreas amplias: sistema inalámbrico que permite la comunicación con otros vehículos y dispositivos de los conductores, desde cualquier lugar. Este vínculo respalda la divulgación de información en tiempo real y la rápida comunicación.
- Comunicación vehículo a vehículo: Comunicación inalámbrica a corto alcance entre vehículos. Este tipo de comunicación se puede usar para evitar choques, compartir información sobre las condiciones de la carretera y coordinación entre el sistema de coordinación del vehículo.
- Comunicación campo vehículo: comunicación entre vehículos y la infraestructura más próxima. Apoya actividades como cobro de peajes, control de tráfico de vehículos, información del conductor.

5.1.2.2 Flujo de Información

El diagrama de flujo de la información es una representación de las relaciones entre los componentes del SIT, y la intención de estas relaciones. Como se puede observar en la ilustración 8, el sistema central está en constante intercambio de información con el centro, el cual se coordina con los otros centros, e intercambia información con el personal del centro, la carretera, los vehículos y el acceso remoto de los viajeros, esta información consiste en el estado de la carretera, flujo vehicular y localización de los vehículos. Por otro lado cuando en la carretera se implementan sistemas como recaudo electrónico vehicular (peajes electrónicos), los sistemas que administran la carretera requieren identificar los vehículos y verificar las transacciones electrónicas.

Los vehículos captan información del entorno sobre los obstáculos (accidentes, choques, etc.) que puede haber en las vías y la carretera capta información sobre la calidad del aire, esta información después es intercambiada con los centros, los cuales la distribuyen y la usan para dar soluciones a los problemas que se estén presentando, generando alternativas para los conductores y viajeros.

Ilustración 8: Diagrama de Flujo de Información



Fuente: Elaboración propia, adaptado de Introduction to Transportation Engineering, de James H. Banks (2002)

5.1.3 Objetivo 3

5.1.3.1 Implementación de SIT a nivel internacional

5.1.3.1.1 Implementación de SIT en Japón

Japón es uno de los líderes a nivel mundial en implementación de ITS. Sus sistemas asociados a los ITS tienen como objetivo la eficiencia y la integración, además de ser sistemas expandibles y sostenibles (BERMÚDEZ & MURCIA, 2014)

Lo anterior fue posible gracias a la colaboración conjunta de varios entes del gobierno japonés; el entonces ministerio de construcción, el ministerio de asuntos internacionales y comunicaciones, y la agencia nacional de policía, concibieron un sistema integrado que empezó a funcionar en Abril de 1996, y desde el 2003 ha estado disponible para el uso público en todo el territorio nacional. (It & Leadership, n.d.)

El nivel de implementación en el territorio nipón de los SIT es uno de los más altos a nivel mundial, y con esto, los beneficios y el número de usuarios que acceden a estas tecnologías es cada vez mayor. Se estima que el 80% de los usuarios de los sistemas asociados a los SIT perciben estos sistemas como “esenciales” o “convenientes”.

Vehicle Information and Communications System (VICS)

El VICS, es un sistema lanzado inicialmente en 1996, el cual inicialmente, recolectaba datos acerca del tráfico vehicular a través de sensores incrustados en las avenidas, cámaras de tráfico o entes que reportasen acerca del tráfico, como policías, por ejemplo.

Este sistema, desde su lanzamiento a nivel nacional, ha fortalecido especialmente, el uso de vehículos sonda para el monitoreo y recolección de datos en tiempo real

acerca del flujo vehicular, comportamiento vehicular, comportamiento del tráfico y condiciones del clima.

La información recopilada por el VICS es transmitida a los usuarios en una de tres formas:

- Cuando un vehículo pasa debajo de balizas de ondas de radio, las cuales se encuentran en las principales vías rápidas del país, y puede proveer información del tráfico del sector (hasta 200km de la posición del dispositivo).
- Mediante dispositivos infrarrojos, los cuales se encuentran con mayor frecuencia en las vías-arteria del país. Estos dispositivos proveen al VICS con información acerca del tráfico vehicular, con un alcance de unos 30km.
- Mediante transmisión múltiple vía FM, el cual permite proveer al VICS con información en un área amplia, usando tecnología DSRC de 5.8 GHz.

Ilustración 9: SIT Japón



Fuente: It & Leadership

Smartway

Actualmente, Japón se encuentra desarrollando una nueva arquitectura en SIT llamada Smartway. Esta nueva arquitectura se enfoca en proveer al usuario 3 servicios esenciales:

- Proveer información y asistencia de conducción directa, incluyendo aspectos relacionados con la seguridad.
- Servicios de conexión a internet.
- Servicio de pago electrónico sin efectivo en parqueaderos, estaciones de servicio, tiendas, etc.

5.1.3.1.2 Implementación de SIT en Estados Unidos

Aunque Estados Unidos es uno de los pioneros en el desarrollo de arquitecturas ITS (Daniel & Navarro, 2014), en comparación con los líderes en implementación de los SIT, se encuentra rezagado actualmente, particularmente en lo que se refiere a proveer información del tráfico en tiempo real. (BERMÚDEZ & MURCIA, 2014)

Los servicios cubiertos por los SIT en Estados Unidos se clasifican principalmente en 8 áreas (Note & Yokota, 2004):

- **Administración de datos**
 - Clasificación de Datos
 - Bodega de datos
 - Bodega de datos virtual
- **Transporte público**
 - Monitoreo de vehículos de transporte
 - APTS02 Operación de rutas ajustadas
 - Operación de transporte ajustada a la demanda real

- Administración del recaudo electrónico
- Seguridad en el transporte público
- Administración de la flota de transporte
- Coordinación multi-modal
- Información al viajero
- Priorización de señales de tránsito
- Conteo de pasajeros
- Protección de conexiones multimodales

- **Información al viajero**

- Difusión de información al viajero
- Información interactiva al viajero
- Guía de ruta autónoma
- Guía de ruta dinámica
- Viaje basado en planificación y guía de ruta
- Intercambio de datos de operación de transporte
- Información y reserva de servicios de viaje
- Compartimiento dinámico de ruta entre usuarios
- Señalización desde el vehículo
- Comunicación de la información de rango corto para el viajero

- **Administración de tráfico**

- Red de vigilancia
- Sonda de vigilancia de tráfico
- Control de señales de tránsito
- Medición de tráfico

- Administración de líneas reservadas por ocupación de vehículo (HOV lanes).
- Difusión de información de tráfico
- Administración de tráfico regional
- Administración de incidentes
- Soporte de toma de decisiones y gestión de la demanda
- Recolección electrónica de peajes
- Seguimiento y gestión de emisiones
- Control del sistema de iluminación en carretera
- Estandarización de los grados de cruce de las vías férreas
- Grados de cruce de vías férreas avanzadas
- Coordinación de operación de vías férreas
- Administración de parqueo
- Administración regional de parqueo
- Administración de carril reversible
- Advertencia de velocidad y control
- Administración de puentes levadizos
- Administración de cierre de vías
- Variables de límites de velocidad
- Administración de líneas dinámicas y uso de líneas adyacentes
- Advertencia de cambios de vía
- Carril de usuario pago VMT
- Uso combinado de sistemas de alertas

- **Seguridad en vehículos**

- Monitoreo de seguridad de vehículo
- Monitoreo de seguridad del conductor
- Advertencia de seguridad longitudinal
- Advertencia de seguridad lateral

- Advertencia de seguridad en intersección
 - Advertencia de colisión
 - Mejora de visibilidad del conductor
 - Control avanzado longitudinal de vehículo
 - Control avanzado lateral de vehículo
 - Evasión de colisión en intersección
 - Operación automática de vehículos
 - Cooperación de Sistemas de seguridad para vehículos
-
- **Operación de vehículos comerciales**
 - Gestión de operadores y flota de transporte
 - Administración de carga
 - Liquidación electrónica
 - Procesos administrativos de vehículos comerciales
 - Liquidación electrónica de frontera internacional
 - Peso en movimiento
 - Vía segura para CVO
 - Seguridad a bordo
 - Gestión de flota de vehículos comerciales
 - Administración de materiales peligrosos
 - Mitigación y detección de materiales peligros en carretera
 - Autenticación segura del conductor de CVO
 - Seguimiento a la asignación de carga
-
- **Administración de emergencias**
 - Recepción y despacho de llamada de emergencia
 - Ruteo de emergencia
 - Soporte de alarmas y llamados de emergencia

- Patrullas de servicio de carreteras
 - Protección de infraestructura de transporte
 - Zonificación
 - Sistemas de alerta temprana
 - Respuesta y recuperación a desastres
 - Gestión de evacuación y reingreso
 - Información de desastres al viajero
- **Mantenimiento y construcción**
 - Mantenimiento y construcción de vehículos y seguimiento de los equipos
 - Mantenimiento de vehículos de construcción
 - Información del estado del tiempo para viaje
 - Procesamiento y distribución de la información del estado del tiempo
 - Tratamiento automático de carreteras
 - Mantenimiento de invierno
 - Mantenimiento y construcción de carreteras
 - Administración de zonas de trabajo
 - Monitoreo de seguridad de la zona de trabajo
 - Coordinación de actividades de mantenimiento y construcción
 - Vigilancia ambiental
 - Monitoreo de infraestructura

Aunque el número de servicios ofrecidos por las diferentes áreas que pretende cubrir los SIT en Estados Unidos es basto, su implementación varía de estado en estado en gran medida, y tiende a ser esporádica, aislada, y no conectada a nivel nacional. (It & Leadership, n.d.)

5.1.3.1.3 Implementación de SIT en Chile

Chile cuenta con la implementación de un SIT multimodal desde el año 2001, siendo pionero, al igual que Brasil en el uso de estos sistemas. (Sectoriales & Cualitativo, n.d.)

Dentro de sus logros más destacados en materia de implementación de SIT, se encuentra el sistema de transporte integrado de la capital, Transantiago.

Sistemas implementados:

- Monitoreo y gestión de tránsito (UOCT)
- Autopistas Urbanas y Peaje de Flujo Libre (TAG)
- Gestión y Seguridad en túneles
- Transporte de Carga
- Transporte Público Urbano:
 - Transantiago (Buses y Metro)
 - Sistemas de Información de Flotas

Componentes del SIT Chileno

A continuación se listan los principales componentes que hacen parte del SIT Chileno(EI, EI, & Metropolitano, 2010):

- Sistema de Control Central
- Sistema de Control de Iluminación
- Sistema de Control de Ventilación
- Sistema de Detección de Incendios
- Sistema de Circuito Cerrado de Televisión (CCTV)
- Sistema de Megafonía
- Sistema de Postes S.O.S.

- Sistema de Monitoreo de Tráfico
- Sistema de Detección Automática de Incidentes
- Sistema de Señalización Variable y Semaforización
- Sistema de Pesaje Dinámico
- Red de Comunicaciones

Transantiago

El sistema de transporte público de Santiago, Transantiago, es un sistema de transporte público, con operación en el área metropolitana de la capital Chilena.

Este sistema, integra física y tarifariamente la totalidad de los buses de transporte público de la ciudad, además del metro de la ciudad.(Orellana, 2007)

Se estima que cubre alrededor de 6.2 millones de usuarios en un área de 680 km².

Tecnologías implementadas por el sistema Transantiago

Para el funcionamiento del Transantiago, se hace uso de una serie de tecnologías para la obtención, interpretación y posterior difusión de la información, las principales tecnologías empleadas son:

- Información a bordo de buses
- Información en Paradas, Estaciones
- Información por celular, internet, kioscos y call center.

5.1.3.2 Implementación de SIT en Colombia

Uno de los propósitos que se exponen en el Plan de Desarrollo Movilidad consiste en la implementación de los TIC en el transporte, por tal razón el Congreso Nacional elaboró el decreto 2060 de 2015, en el cual se reglamentan (estándares, protocolos y uso) los Sistemas Inteligentes para la Infraestructura, el Transito y el Transporte (SIT) y se dicta el diseño, la organización, el funcionamiento y la administración de los SIT.

En el decreto se definen 3 subsistemas o centros que van a componer el Sistema Inteligente Nacional para la Infraestructura (SINITT), el Transito y el Transporte (Transporte):

- Gestión de Transacciones de Recaudo Electrónico Vehicular (SiGT): consolida y distribuye la información que se produce en este tipo de transacciones. El recaudo electrónico vehicular (REV) permite a los usuarios pagar mediante transacción electrónica bienes o servicios, mediante dispositivos instalados en la infraestructura o a bordo del vehículo.
 - Dispositivos para peajes electrónicos: Etiqueta de radiofrecuencia (TAG RFID).
- Gestión de Disputas (SiGD): gestión de disputas generadas durante la operación de los SIT.
- Información para la gestión de la autenticación de actores estratégicos de los SIT (SiGAAE): permitir el acceso al SINITT o los subsistemas.

Aunque en Colombia solo hasta el 2015 se reglamentaron los SIT a nivel nacional, las ciudades principales del país han implementado estos sistemas desde hace ya varios años.

5.1.3.2.1 Implementación de SIT en Bogotá

En Bogotá la implementación del SIT es un proceso que consta de varias fases, la primera fase consiste en el montaje y adecuación del Centro de Gestión de Tráfico, modernización del sistema semafórico, detección electrónica de infracciones y paneles de mensajes variables.

En el Centro de Gestión de Tráfico se administra el sistema de movilidad de Bogotá, con el objetivo de tomar decisiones y difundir información sobre accidentalidad, congestión, medio ambiente y percepción ciudadana, mediante el monitoreo del tráfico vehicular, la difusión permanente de las condiciones de tráfico, la integración con otros centros o subsistemas como el NUSE, la Policía Metropolitana, Detección Electrónica, semaforización, etc., la integración con subsistemas externos como Transmilenio, Terminal de Transporte, Secretaria de ambiente, etc. y la toma de decisiones con modelos estadísticos predictivos, que informen los cambios de movilidad relacionados con incidentes.

Dispositivos:

- Sensores wifi-bluetooth para determinar velocidad
- Sensores de conteo para el conteo de vehículos y sus respectivas clasificaciones por tamaño.
- Sensores de bicicleta
- Cámaras

El centro de gestión cuenta con 5 salas, destinadas al seguimiento, monitoreo y gestión de incidencias, al apoyo de la toma de decisiones mediante herramientas de modelización y estadística, al procesamiento de datos relacionado con infractores, al análisis de situaciones de impacto en las condiciones de tránsito (Bogota).

5.1.3.2.2 Implementación de SIT en Medellín

En Medellín se creó el Sistema Inteligente de Movilidad (SIMM), con el objetivo de optimizar la red vial, la cual ha excedido su capacidad, debido al incremento del parque automotor (Medellin).

Componentes:

- Centro de Control: Es el articulador del SIMM, en este se planea, analiza y opera la movilidad, además se realizan estudios para la formulación de políticas de movilidad sostenible y sustentable.
- Cámaras de foto detección: Tienen el propósito de detectar posibles infracciones de tránsito, mediante recopilación de videos, fotografías y datos, los cuales son posteriormente revisados y analizados por agentes de tránsito.
- Circuito cerrado de TV: Tiene el propósito de detectar incidentes que puedan afectar la movilidad, mediante cámaras que son operadas desde el Centro de Control de Tránsito.
- Paneles informativos: En estos se publica información (alertas, vías alternas y peligros) en tiempo real sobre el estado de las vías desde el Centro de Control
- Web 2.0: Reporte en tiempo real sobre el estado de las vías por medio de las redes sociales.
- Optimización de semáforos: Sistema compuesto por herramientas que permiten tener conocimiento sobre la cantidad de vehículos que están circulando, velocidades promedio, ocupación de la vía, etc y un software de planeación semafórica que facilita evaluar diferentes escenarios.
- Software Gestor: Genera alertas cuando se presentan incidentes o situaciones que pueden afectar la movilidad.

5.1.3.3 Comparación del desarrollo del SIT en Colombia con respecto a otros países

- Instituciones: Tanto en Japón como en Estados Unidos los SIT han sido implementados por el gobierno nacional y cuentan con una clara arquitectura y base legal, según las cuales se desarrollan todos los proyectos relacionados con transporte. En Colombia las gobernaciones municipales van un paso adelante de las nacionales, ya que en ciudades como Bogotá y Medellín desde hace varios años se han visto desarrollos con respecto a estos sistemas (Centros de Control), mientras que el gobierno nacional solo hasta el año 2015 elaboró el decreto según el cual se van a regir los sistemas, pero en este no se tienen en cuenta los centros de control, por lo que no existe realmente una base legal que soporte los desarrollos que se están dando en el país.
- Centros o subsistemas: Estados Unidos y Japón cuentan con una gran variedad de subsistemas, los cuales no solo están enfocados a administrar el tráfico y proveer información a los conductores, sino también a administrar el transporte público, la seguridad en los vehículos, la operación de vehículos comerciales, la administración de emergencias y el mantenimiento y construcción. En Colombia a nivel nacional solo se va a empezar a implementar el centro de gestión de transacciones de recaudo vehicular (peajes), y las principales ciudades cuentan con centros de control, los cuales tienen como objetivo administrar el tráfico y difundir información.

5.1.4 Objetivo 4

La simulación basada en agentes (ABS, *agent-based simulation*) es una variante de la simulación de eventos discretos (DES, *discret-event simulation*), útil para modelar sistemas complejos adaptativos y emergentes, que desde el año 2005 entró en auge gracias a varias conferencias y publicaciones, anunciando sus posibilidades aplicativas. Entendiendo un agente como una entidad que se sensibiliza con su entorno o ambiente, incluso con otros agentes, éste usa información de estos para tomar decisiones de manera autónoma. Las reglas que determinan sus comportamientos son estructuradas por atributos y condicionales que modelan la lógica de decisiones en su interacción con el entorno. En otras palabras, puede existir un proceso de aprendizaje a partir de los otros agentes y el ambiente, y adaptan sus comportamientos, cambiando sus reglas de decisión. Estos procesos adaptativos implican el uso de memoria para registrar y usar elementos en el proceso de cambiar las reglas. Al igual que la DES, la ABS cambia los estados del sistema en puntos discretos del tiempo pero se diferencia en que las entidades deben interactuar y aprender de los estados del sistema y entre ellas mismas.

Uno de las grandes áreas de aplicación de la ABS, son las situaciones de tráfico, en donde el comportamiento de los conductores puede ser representado mediante ABS, para obtener, entre otros elementos, una descripción natural de un sistema de tráfico, como un atasco vehicular, accidente en la vía, etc, con el fin de representar y analizar el comportamiento, la toma de decisiones y el impacto de estas sobre los demás agentes (conductores) o el sistema mismo. (Bonabeau, 2002)

Para el análisis del comportamiento humano y sus acciones frente a una situación determinada, se hace uso de unas arquitecturas cognitivas; a continuación, se definen las principales arquitecturas cognitivas que existen.

5.1.4.1 Algoritmos de planeación de rutas

Los algoritmos para la planeación de rutas en redes de transporte han tenido un crecimiento importante recientemente.

Estos algoritmos permiten conocer la ruta óptima en una red de transporte entre distintos nodos objetivos. Esto a su vez, puede ser útil en situaciones como planeación de logística o simulación de tráfico, en donde se requiere evaluar y resolver un número considerable de sub-problemas de rutas más cortas en redes de transporte. (Delling, Sanders, Schultes, & Wagner, 2009)

La implementación de estos algoritmos en el ABS presenta algunas debilidades, entre las que se encuentran algunas suposiciones poco realistas como, los conductores tienen información completa acerca de la red de caminos; los conductores siempre buscan el camino más corto para llegar a su destino, lo cual puede no ser siempre cierto, debido a los intereses particulares de cada individuo; una vez que los conductores poseen la misma información acerca de una red de caminos, éstos tomarán las mismas decisiones, tomando siempre la misma ruta. Sin embargo y a pesar de estas debilidades, estos algoritmos han sido empleados, tradicionalmente, para determinar las decisiones de los conductores una vez se encuentran frente a un suceso, como un accidente, o un bloqueo.

Algunos de los principales algoritmos de planeación de rutas son:

Algoritmo Dijkstra

El algoritmo Dijkstra permite resolver problemas de ruteo en los que se requiere conocer, desde un único nodo, el camino más corto hasta cualquier otro nodo. (Skiena, 1990)

Sin embargo, actualmente, encontramos métodos para la resolución de problemas similares y más complejos que los abordados por el algoritmo Dijkstra que son hasta tres millones de veces más rápidos. (Delling et al., 2009)

Algoritmo ruta más corta, dependiente del tiempo, A*

El algoritmo A* surge como una variación del problema de la ruta más corta, abordado por algoritmos como el Dijkstra; en este algoritmo, A*, se incluye la generalización de dependencia del tiempo.

La característica principal de los problemas abordados por el algoritmo A* es la dependencia del tiempo, que consiste en que los resultados obtenidos por el algoritmos dependen siempre, del tiempo de partida del mismo.(Delling et al., 2009)

El algoritmo busca encontrar un nodo origen y una ruta que, con un tiempo de salida determinado, minimice el tiempo de llegada.(L. Zhao, T. Ohshima, 2008)

5.1.4.2 Arquitecturas cognitivas

Debido a las limitaciones ya mencionadas impuestas por la implementación de los algoritmos de planeación de rutas para representar la toma de decisiones de los conductores, se adoptan arquitecturas cognitivas que permitan representar de forma más acertada el comportamiento humano frente a una determinada situación o suceso.

El modelado de sistemas orientados por agentes, ha sido implementado de forma exitosa en diversos campos aplicados, lo que ha estimulado el desarrollo y la aplicación de modelos para situaciones complejas y dinámicas. Estas arquitecturas cognitivas permiten realizar una mímica de la percepción humana y de los procesos de toma de decisiones.

Algunas de las metodologías empleadas por el modelado de sistemas orientados por agentes son:

Arquitectura cognitiva ACT-R

Una arquitectura cognitiva se define como el conjunto de componentes esenciales que permite el análisis de cogniciones y conductas. (De León & Blázquez, 2011)

El control del pensamiento adaptativo-racional, o Adaptive Control of Thought – Rational (ACT-R) es una arquitectura cognitiva desarrollada por John Robert Anderson en 1993.(Anderson, Matessa, & Lebiere, 1997) Esta arquitectura cognitiva tiene lugar a partir de los desarrollos logrados en arquitecturas anteriores como la arquitectura ACT (Anderson, Language, memory, and thought, 1976) y la arquitectura ACT* (Anderson, The Architecture of Cognition, 1983) y plantea, esencialmente, una teoría sobre cómo trabaja la mente humana.

El funcionamiento de esta arquitectura cognitiva se fundamenta en la regla de producción de Newell y Simon. (Axten, Newell, & Simon, 1973)

Estas reglas de producción están conformadas básicamente de dos partes; una condición, y una acción. La condición, que bien puede ser externa o interna al sistema, incluye los elementos necesarios para que la acción tenga lugar. Las reglas toman la forma de “SI *condición* ENTONCES *acción*” (De León & Blázquez, 2011)

Para la comprensión de la arquitectura resulta necesario abordar los conceptos claves que conforman la arquitectura cognitiva ACT-R.

En primer lugar, encontramos el concepto de espacio problema, el cual es el conjunto de estados (inicial, intermedios y final) y operadores (Aquello que transforma un estado en otro) que están disponibles para alcanzar un objetivo determinado en una situación cualquiera. En cada espacio problema, se define una meta y unas sub-metas, que surgen cuando el sistema se enfrenta a una determinada tarea.

Para la resolución de estos espacios problemas, el sistema debe también conocer y analizar todas sus reglas de producción, la consecuencia de las acciones y discernir entre las posibles reglas de producción disponibles para lograr la meta. (De León & Blázquez, 2011)

Arquitectura cognitiva Soar

Soar es una arquitectura cognitiva presentada en 1987 por John Laird, Allen Newll, y Paul Rosenbloom. Esta arquitectura cognitiva, al igual que las demás arquitectura tiene como fin proveer fundamentos para que un sistema sea capaz de emular un comportamiento inteligente.(Laird, Newell, & Rosenbloom, 1987)

Esta arquitectura Soar, no presenta mayor variación frente a la arquitectura cognitiva ACTR* (predecesor de la arquitectura ACT-R) presentada en 1983 por Anderson; la principal diferencia entre estas dos radica en que la arquitectura Soar cuenta con una sola memoria que incluye el conocimiento declarativo y procedimental. (Broncano, 2007)

BDI: *Belief-Desire-Intention*

BDI es una metodología en donde el comportamiento de los agentes inteligentes dentro del sistema está comprendido en tres elementos fundamentales, los *Beliefs*, que son la representación del estado del mundo por parte de los agentes; los *Desires*, que representan aquellas metas (y sub-metas) o estados deseados por los agentes (Drexel); y las *Intentions*, que representan el plan de acción o conjunto de acciones que el agente determina que va a tomar para lograr alguna meta o sub-meta. (S. Rao & P. Georgeff, 1995).

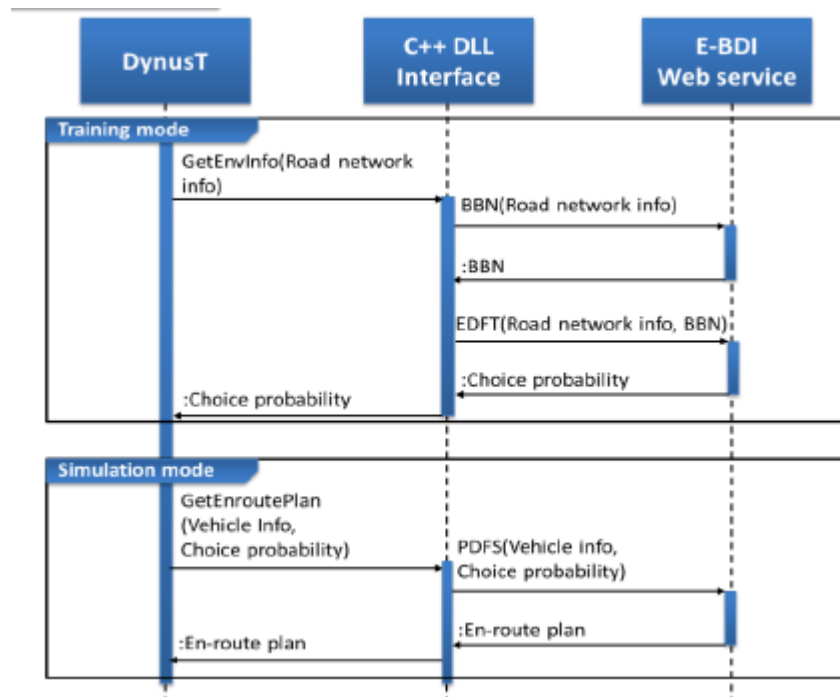
Diferencia entre ACT-R SOAR y BDI

Tanto ACT-R como SOAR, usan conceptos relacionados con los mecanismos reales de la actividad celebrar relacionados con el procesamiento de la información, razonamiento, planeación, solución de problemas y aprendizaje. Por

el contrario BDI usa conceptos relacionados con la psicología, describe el razonamiento humano y las acciones de la vida diaria (Transportation).

5.1.4.3 Integración de las arquitecturas cognitivas

Ilustración 10: Integración simulador y arquitectura cognitiva



Fuente: 1Drivers´ en route divergence behavior modeling using extend belief-desire-intention (E-BDI) framework

La implementación de un software especializado como DynusT presenta algunas limitaciones relacionadas con la forma en que este representa el proceso de decisión de los conductores, el cual se realiza (en DynusT) mediante la aplicación de los algoritmos de planeación de rutas ya mencionados. Por esto, se hace uso en conjunto, de las arquitecturas cognitivas.

La comunicación entre estas dos plataformas se hace posible mediante un servicio web externo, encargado de realizar la integración de estas dos plataformas, las cuales emplean lenguajes informáticos distintos.

En la ilustración 9, se presentan dos modelos, el primero permite generar probabilidades de elección para cada tipo de conductor; el segundo integra la arquitectura cognitiva (BDI como ejemplo) teniendo en cuenta las probabilidades dadas por el primer modelo.

En el primer modelo, se corrigen los datos observados para la construcción de la información asociada a la red de caminos, y el cálculo de las probabilidades mediante el software especializado.

Posteriormente, se realiza la implementación de la arquitectura cognitiva mediante el servicio web. Luego, a través del software se graban varios datos asociados a los vehículos, como identificación, volumen del tráfico, tiempo de viaje, etc.

Después, con base en la información recolectada, se recalculan las probabilidades para cada tipo de conductor mediante el servicio web externo.

Una vez las probabilidades están definidas, la arquitectura cognitiva es ejecutada durante la simulación, en el segundo modelo; durante esto, la interfaz del software genera, mediante la interacción con el servicio web externo, una ruta, basado en el tipo de conductor y las observaciones del camino. Finalmente, la interfaz sustituye el plan de ruta original de un conductor por el nuevo plan establecido por el servicio web, siguiendo los lineamientos de las arquitecturas cognitivas (Soujung Kim, 2014).

5.2 Conclusiones

- En Colombia existe una discrepancia entre el desarrollo que han tenido los SIT en el país y la base legal para estos, ya que las leyes que se han expedido hasta el momento sobre estos no son suficiente para regirlos.
- Colombia, mediante la correcta implementación de los SIT, podría verse beneficiada en gran medida en aspectos como, mejor flujo vehicular, reducción en las paradas por concepto de semáforos hasta en un 40%, reducción en el consumo de combustible hasta en un 10%, reducción hasta del 25% en los tiempos de viaje, y emisiones vehiculares reducidas hasta en un 22%; de acuerdo a los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los SIT en otras regiones.
- La implementación de tecnologías y metodologías como las arquitecturas cognitivas permiten representar el proceso de toma de decisiones humano, lo cual ha permitido realizar grandes avances en campos como el de los sistemas de vehículos autónomos, en donde se requiere que las entidades sean capaces de recolectar información, interpretarla y tomar decisiones con base en esto.

5.3 Recomendaciones

- Para investigaciones futuras se recomienda realizar un análisis cuantitativo, que permita establecer el nivel de implementación de los SIT en Colombia, comparando las tecnologías disponibles con las empleadas en Colombia.

6 BIBLIOGRAFIA

- S. Rao, A., & P. Georgeff, M. (1995). Australian Artificial Intelligence Institute.
- Scerri, D., Padgham, L., Jayatilleke, G., & Hickmott, S. (2011). *INTEGRATING BDI REASONING INTO AGENT BASED MODELING AND SIMULATION*. Melbourne: School of Computer Science and Information Technolog - RMIT University.
- Kinny, D., & Georgeff, M. (1991). Commitment and effectiveness of situated agents. *Proceedings of the Twelfth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, (págs. 82-88). Sidney.
- Cohen, P. R., & Levesque, H. J. (1990). *Intention Is Choice with Commitment*. Menlo Park: Artificial Intelligence Center and Center for the Study of Language and Information.
- Jennings, N. (1992). *ON BEING RESPONSIBLE*. Queen Mary & Westfield College.
- Kinny, D., Ljungberg, M., Rao, A., Sonenberg, E., Tidhar, G., & Werner, E. (1994). *Artificial Social Systems*. Amsterdam.
- Muller, J., Pischel, M., & Thiel, M. (1994). *A pragmatic approach to modelling autonomous interacting systems*. Amsterdam.
- Shoham, Y. (1993). *Agent-oriented programming*.
- Drexel, U. *Beliefs, Desires, Intentions (BDI)*. Drexel University.
- Aguiar, F. *Teoria de la decisión e incertidumbre: modelos normativos y descriptivos*.
- Chan, W. K., & Son, Y.-J. *AGENT-BASED SIMULATION TUTORIAL - SIMULATION OF EMERGENT BEHAVIOR AND DIFFERENCES BETWEEN AGENT-BASED SIMULATION AND DISCRETE-EVENT SIMULATION*. Argonne National Laboratory.
- Epstein, J. M., & Axtell, R. L. (1996). *Growing Artificial Societies*. MIT.
- Chiu, S. K.-J.-C. (2014). *Driver en-route divergence behavior modeling using extend belief-desire-intention (E-BDI) framework*. The University of Arizona.
- Broncano, F. (2007). *La mente humana*. Trotta.

Anderson, J. R. (1983). *The Architecture of Cognition*.

Anderson, J. R. (1976). *Language, memory, and thought*.

Desarrollo, D. N. (s.f.). *Departamento Nacional de Desarrollo*. Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/Plan-Nacional-de-Desarrollo/Paginas/Qu-es-el-PND.aspx>

Colombia, C. d. *Decreto 087 del 2011, articulo 1*.

Unidos, D. d. (s.f.). *Intelligent Transportation Systems*. Obtenido de <http://www.iteris.com/itsarch/html/menu/hypertext.htm>

Transporte, M. d. *Decreto 2060 de 2015*.

Bogota, A. M. (s.f.). *Secretaria Distrital de Movilidad*. Obtenido de <http://www.movilidadbogota.gov.co/?pag=2358>

Medellin, S. d. (s.f.). *SIMM-Medellin*. Obtenido de <https://www.medellin.gov.co/simm/>

Transportation, U. D. *A Primer for Agent-Based Simulation and Modeling in Transportation Applications*.

U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics. (2014). *The Global Positioning System*. Obtenido de <http://www.gps.gov/systems/gps/>