%Estado del Arte: Fundamentos teóricos o Marco teorico

\chapter{Estado del Arte}\label{sec:capitulo3}

\thispagestyle{empty}

%\epigraph{Penetrar en lo antiguo es comprender lo nuevo, lo viejo y lo nuevo son sólo cuestión de tiempo.}{Gichin Funakoshi}

\begingroup

\rightskip0.5cm

\small

\hfill\textit{Penetrar en lo antiguo es comprender lo nuevo, lo viejo y}

\hfill\textit{lo nuevo son sólo cuestión de tiempo.}

\hfill Gichin Funakoshi\\

\endgroup

El presente estado del arte tiene como finalidad dar una visión clara de los fundamentos teóricos previstos para la realización del presente trabajo. Éstos están comprendidos en el ámbito de los Sistemas Cibernéticos de Transporte (CTSs, del inglés: \textit{Cybernetic Transportation Systems}), los cuales implementan la teoría de control para resolver los problemas de la conducción autónoma en entornos urbanos. Los CTSs a su vez forman parte de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITSs, del inglés: \textit{Intelligent Transportation Systems}). Estos últimos tienen el objetivo de incrementar la seguridad y eficiencia de los sistemas de transporte, mediante la implementación de técnicas de control, comunicación y percepción. \\

Este capítulo presenta una breve sección de robótica móvil, una descripción de los ITSs, así como también de los principales grupos de investigación a nivel mundial en conducción autónoma, una reseña de los trabajos más relevantes dentro de los CTSs, enfatizando en los \textit{Cybercars} y diferentes técnicas de generación de trayectorias.

\section{Robótica móvil}

La robótica móvil es una de las áreas con mayor atención hoy en día por parte de las universidades y las instituciones militares, basándose en la creación de robots móviles para la exploración y operación en casi cualquier ambiente. Nace hacia el año 1972 con el primer robot llamado \textit{Shakey}\cite{Ortigoza2007} cambiando así la historia de la robótica. Hoy en día existe una gran cantidad de grupos de investigación dedicados a éste tema a nivel mundial\footnote{Universidad de Oxford: http://www.robots.ox.ac.uk/}\footnote{ Centros de investigación internacionales: http://www.transit-port.net/Lists/Robotics.Org.in.Australia.html}\footnote{Grupo de Robótica Móvil del MIT http://web.mit.edu/mobility/research/index.html}.\\

Entre los grupos de investigación, encontramos el grupo de Desarrollo e Investigación en Mecatrónica de la Universidad Simón Bolívar. Éste ha desarrollado diferentes técnicas de control para robots móviles \cite{PerezDArpino08b}. Investigaciones presentadas en \cite{ PerezDArpino09a, PerezDArpino09b}, conducidas por dicho grupo, están dedicadas a componentes claves en la conducción autónoma como la percepción y los controladores borrosos. Estos últimos tienen especial atención hoy en día, ya que con reglas sencillas pueden emular el comportamiento humano en la conducción de vehículos.

\section{Conducción autónoma de vehículos}

Los primeros pasos hacia la conducción autónoma de vehículos fueron dados hacia los años 60, con investigaciones en sistemas conocidos como Sistemas Avanzados para el Control de Vehículos (AVCS, del inglés: \textit{Advanced Vehicle Control Systems}). Con miras a mejorar el control en los vehículos, estos sistemas evolucionaron gracias a los avances en técnicas de control, telecomunicaciones e informática, derivando en lo que hoy en día conocemos por Sistemas Inteligentes de Transporte.\\

Los ITSs entran en la década de los 90, formando parte de un conjunto de sistemas orientados a vehículos autónomos. Ellos abarcan un amplio campo, comenzando con la automatización en carreteras y entornos urbanos, siendo aplicados además a ferrocarriles, transporte marítimo, aéreo, e incluyendo las conexiones entre distintos tipos de transporte. Su investigación se ve propulsada por bases tecnológicas (Control en sistemas de tiempo real, entornos virtuales, ciencias aplicadas en las telecomunicaciones) y bases sociales (Congestionamiento en las carreteras, accidentes, eficiencia energética). Su finalidad es la utilización de técnicas de control, telecomunicaciones e informática, no sólo para el desarrollo de sistemas de asistencia al conductor en situaciones de emergencia (ADAS, del inglés: \textit{Advanced Driver Assistance Systems}), sino también para la comunicación con infraestructuras inteligentes, la conducción automática de vehículos y la utilización eficiente de los recursos. \\

\noindent

Los objetivos perseguidos por los ITSs son claros:

\begin{itemize}

\item [-] \textbf{Reducir} los accidentes, tiempos de transporte y consumo de combustile.

\item [-] \textbf{Aumentar} la seguridad, el confort e independencia de errores humanos.

\end{itemize}

%Entre los sistemas de ayuda a la conducción, mejor conocidos como ADAS (Del inglés: \textit{Advanced Driver Assistance Systems}), podemos nombrar a: los sistemas de seguridad activa (ASS, del inglés: \textit{Active Security Systems}), sistemas de aviso del límite de velocidad (SLW, del inglés: \textit{Speed Limit Warning}), sistemas antibloqueo (ABS, del inglés: \textit{Antilock Braking System}), comunicación vehículo a vehículo y vehículo a infraestructura (V2V, del inglés: \textit{Vehicle to Vehicle}; V2I, del inglés: \textit{Vehicle to Infrastructure}), sistema inteligentes para aparcamientos automáticos (IPAS, del inglés:\textit{ Intelligent Parking Assist System}), entre otros.

Hoy en día, los sistemas ADAS significan una importante ayuda para el conductor, algunos de los más recientes en ser comercializados son: \\

\begin{description}

\item[Control Crucero Adaptativo] (ACC, del inglés: \textit{Adaptative Cruise Control}): Es una versión del antiguo control crucero (CC, del inglés: \textit{Cruise Control}), el cual permite preestablecer una velocidad de referencia, teniendo la capacidad de adaptarse a la velocidad de vehículos que vayan a velocidades menores.

\item[Preaviso de Colisión] (Del inglés: \textit{Precrash System}): Es un sistema de aviso ante posibles colisiones. Las últimas versiones toman el control parcial de vehículos para evitar daños peores. Ha sido comercializado por Ford, Audi, Honda, Mercedes Benz, entre otros.

\item[Aparcamiento Automático] (Del inglés: \textit{Automated Parking}) Funcionando únicamente en condiciones especiales (Líneas paralelas y 50\% o más del tamaño del vehículo).

\item[Control de Estabilidad] (ESC, del inglés: \textit{Electronic Stability Control}): Ayuda a mantener la estabilidad del vehículo en momentos de pérdida del control lateral, como derrapes.

\end{description}

\section{Grupos de investigación a nivel mundial}

Alrededor del mundo, fabricantes y grupos de investigación se enfocan en la mejora e innovación en los sistemas de ayuda a la conducción. En \cite{TesisPerez2012} se evidencia una recopilación de los grupos más influyentes en esta rama de investigación. A continuación se nombran algunos de ellos:\\

\noindent

\textbf{INSIA}\\

El Instituto Universitario de Investigación del Automóvil (INSIA) pertenece a la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), adscrito a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) e integrado en el parque científico y tecnológico de la UPM. El INSIA, con 25 años de experiencia, representa hoy uno de los centros de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) de mayor influencia en España, y sus aportes comprenden el desarrollo y la investigación en materia de vehículos, además de su impacto en la seguridad y el medio ambiente\footnote{http://www.insia-upm.es/quienes.asp}.\\

\noindent

\textbf{IMARA}\\

El grupo Imara\footnote{ https://team.inria.fr/imara/} (del francés, Informatique, Mathématiques et Automatique pour la Route Automatisée) es un grupo de investigación francés que lleva más de 15 años investigando en los ITSs.

\begin{figure}[H]

\centering

%%----primera subfigura----

\subfloat[]{

\label{fig:Cycabs} %% Etiqueta para la primera subfigura

\includegraphics[width=0.41\textwidth]{imagenes/Cycabs}}

\hspace{0.1\linewidth}

%%----segunda subfigura----

\subfloat[]{

\label{fig:Cybus} %% Etiqueta para la segunda subfigura

\includegraphics[width=0.41\textwidth]{imagenes/Cybus}}\\[15pt]

%%----tercera subfigura----

\subfloat[]{

\label{fig:C1} %% Etiqueta para la tercera subfigura

\includegraphics[width=0.41\textwidth]{imagenes/C1}}

\hspace{0.1\linewidth}

%%----cuarta subfigura----

\subfloat[]{

\label{fig:C3} %% Etiqueta para la cuarta subfigura

\includegraphics[width=0.41\textwidth]{imagenes/C3}}

\caption{Algunos de los vehículos autónomos utilizados en el equipo Imara. En (a) Varios \textit{Cycabs}. En (b) los \textit{Cybus}. En (c) un \textit{Citr{\"o}en} C1 eléctrico. En (d) un \textit{Citr{\"o}en} C3 a gasolina.}

\label{fig:CarrosImara} %% Etiqueta para la figura entera

\end{figure}

Forma parte del centro de investigación INRIA (del francés, Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique), uno de los referentes de automatización en Europa. En la Figura \ref{fig:CarrosImara} se presentan algunos de los vehículos del grupo.\\

El objetivo del grupo Imara es mejorar el transporte terrestre en términos de seguridad, eficiencia y confort; basado en investigaciones orientadas a tecnologías de ayuda a la conducción, hasta alcanzar el completo manejo automatizado\footnote{https://team.inria.fr/imara/}. Dentro del grupo Imara, es importante destacar el proyecto LaRA (La Ruta Automática, del francés: La Route Automatisée), el cual se dedica al estudio de la automatización en las carreteras francesas, con 4 líneas específicas: las carreteras rurales, locales, interurbanas y las redes de circulación de las grandes ciudades.\\

\noindent

\textbf{Centro de Investigación FIAT}\\

\begin{wrapfigure}{l}{7.5cm}

\begin{center}

\includegraphics[scale=0.15]{Imagenes/CRF}

\caption{Logo Centro de Investigación Fiat}

\label{fig:CRF}

\end{center}

\end{wrapfigure}

El centro de investigación FIAT (CRF, del italiano: \textit{Centro de Ricerche FIAT}; Figura \ref{fig:CRF}), se crea en 1976 con el objetivo de implementar la innovación, investigación y desarrollo en materia de conducción autónoma para el grupo FIAT. Contando con más de 150 universidades asociadas y 35 años de experiencia, el CRF es hoy en día reconocido a nivel mundial como un centro para soluciones efectivas e innovadoras. Su línea principal de investigación se centra en la propulsión de vehículos para reducción de la contaminación, tanto emisiones como contaminación acústica \footnote{ http://www.crf.it/en-us/company/pages/companyprofilo.aspx}.\\

\noindent

\textbf{Programa AUTOPIA}\\

El programa AUTOPIA fue creado en el año 1997, formando parte del Centro de Automática y Robótica de la Universidad Politécnica de Madrid y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CAR, UPM-CSIC).

\begin{figure}[H]

\begin{center}

\includegraphics[scale=0.55]{Imagenes/Autopia}

\caption{Pruebas de vehículos autónomos con control borroso en autovías}

\label{fig:Autopia}

\end{center}

\end{figure}

Su línea de investigación está marcada por la aplicación de técnicas de control en robótica móvil, a vehículos autónomos reales. Dichas técnicas se basan principalmente en controladores borrosos, con los cuales se puede emular el comportamiento humano en la conducción de vehículos\footnote{http://www.car.upm-csic.es/autopia/index.php}, ver Figura \ref{fig:Autopia}.\\

\noindent

\textbf{Robesafe}, Universidad de Alcalá\\

El grupo \textit{Robe-safe} de la Universidad de Alcalá de Henares (Madrid), se enfoca en sistemas de percepción aplicados a la robótica móvil y seguridad en las vías. Con líneas de investigación que comprenden percepción multi-sensorial, localización, navegación, localización y mapeo simultáneo (SLAM, del inglés: \textit{Simulltaneous Location and Mapping}), el grupo \textit{Robe-safe} mejora la seguridad y evita los accidentes de tránsito. El objetivo principal del grupo es transferir los resultados de dichas tecnologías a la industria, colaborando en éste sentido con una gran cantidad de compañías\footnote{ http://www.robesafe.com/}.\\

\noindent

\textbf{VisLab}, Universidad de Parma\\

\begin{wrapfigure}{l}{7.5cm}

\begin{center}

\includegraphics[scale=0.35]{Imagenes/Vislab}

\caption{Vehículos utilizados para el recorrido entre Parma y Shanghai}

\label{fig:Vislab}

\end{center}

\end{wrapfigure}

\textit{VisLab} en la Universidad de Parma, fue creado en 1989 y cuenta con una gran experiencia en sistemas de visión artificial y percepción ambiental para vehículos inteligentes. En el año 2010 bajo el proyecto \textit{The VisLab Intercontinental Autonomous Challenge}, realizaron una de las mayores hazañas hasta ahora alcanzadas en materia de vehículos inteligentes: un recorrido total de 13.000 km entre Parma (Italia) y Shangai (China), ver Figura \ref{fig:Vislab}. El vehículo autónomo recibía las posición del GPS del vehículo predecesor (conducido manualmente)\footnote{http://vislab.it/automotive/}.\\

\noindent

\textbf{PATH}\\

\begin{wrapfigure}{r}{7.5cm}

\begin{center}

\includegraphics[scale=0.35]{Imagenes/Path\_logo}

\caption{Logo del grupo California PATH}

\label{fig:Path}

\end{center}

\end{wrapfigure}

Fundado en 1986, PATH (\textit{Partners for Advanced Transportation TecHnology}) se encuentra en la Universidad de California y está administrado por el Instituto de Estudios del Transporte (Del inglés: \textit{Institute of Transportation Studies}), ver Figura \ref{fig:Path}. Siendo un programa multidisciplinar, su objetivo es el desarrollo de estrategias y tecnologías innovadoras en el campo de los ITSs, con la finalidad de mejorar su seguridad, flexibilidad, movilidad y administración de los sistemas de transporte de California, Estados Unidos, y el mundo entero\footnote{http://www.path.berkeley.edu/}.\\

\noindent

\textbf{Universidad de Griffith}\\

La Universidad de Griffith\footnote{http://www.griffith.edu.au/} ha creado en conjunto con el gobierno australiano, un laboratorio para la investigación en ITSs. Dentro del marco del centro se investigan tópicos como el control de la distancia al vehículo precedente en cruces, adelantamientos y conducción cooperativa. En recientes oportunidades, se han establecido relaciones con el grupo Imara, implementando sus algoritmos de control en los \textit{Cybercars}.

\section{Sistemas Cybernéticos de Transporte}

Los CTSs van de la mano con los \textit{Cybercars}, los cuales pertenecen a un concepto de transporte urbano basado en dos ideas principales, la primera es el hecho de ser un medio de transporte compartido, y la segunda es la automatización orientada a zonas de transporte puerta-a-puerta \cite{Parent1997}. En el 2000, nacen algunos de los proyectos Europeos más importantes en la rama de los CTSs; proyectos como \textit{Cybercars}\footnote{http://www.cybercars.org/}/\textit{Cybermove}\footnote{http://www.cybermove.org/} sentaron las bases en cuanto a la definición del \textit{Cybercar}, presentando también las tecnologías claves para dichos proyectos y las necesidades de los usuarios. \\

Por otro lado, una flota de vehículos fue desarrollada por diferentes compañías y centros de investigación en \cite{Parent2003}. Estos proyectos fueron promocionados en el extranjero, e.g.: El proyecto \textit{CyberC3} se mezcla con el proyecto europeo \textit{CyberCars} (dirigido por el grupo Imara-Inria), para transferir tecnologías existentes desde Europa a Asia, estimulando así las aplicaciones de los \textit{Cybercars} en China \cite{Yang2005, Ming2006}.\\

\begin{figure}%[!ht]

\begin{center}

\includegraphics[scale=.45]{Imagenes/Collage}

\caption{Distintos \textit{Cybercars} alrededor del mundo}

\label{fig:Collage}

\end{center}

\end{figure}

Algunos investigadores han desarrollado planificadores de movimiento, maniobras de seguridad y estados de colisión inevitables (ICS, del inglés: \textit{Inevitable Collision State}) \cite{Sephane2005,premebida2006}. Otros trabajos se enfocan en detección, rastreo y clasificación de objetos en ambientes externos del tipo de los \textit{Cybercars} \cite{premebida2006}. En \cite{Bonnifait2008}, se ha sido diseñado un nuevo Sistema de Información Geográfico (GIS, del inglés: \textit{Geographical Information System}) para la automatización de los \textit{Cybercars}. Lo anterior propone una estrategia que agrupa la demarcación del terreno del láser en mapas mejorados, correspondientes a caminos en una capa del GIS. Además, el grupo de vehículos inteligentes de la Universidad de Jilin, en Shanghái, ha implementado un filtro Kalman, usando un modelo matemático basado en previos datos cinemáticos de vehículos inteligentes \cite{Rong2008}. \\

%\begin{figure}

%\centering

%\includegraphics[width=0.45\textwidth]{Collage}\\

%\caption{Diferentes \textit{Cybercars} Existentes}\label{Carros}

%\end{figure}

Por otra parte, diferentes sistemas de comunicación fueron probados: redes ad hoc y Protocolos de Enrutamiento de Conexión Optimizada (OLSR, del inglés: \textit{Optimized Link State Routing Protocol}) que emulan situaciones en tráfico real, así como también protocolos de seguridad, intersecciones y adelantamientos entre \textit{Cybercars} \cite{Bouraoui2006,Bouraoui2006a}. Otras investigaciones utilizan el concepto de toma de decisiones para vehículos autónomos simulados en espacios urbanos, estas maniobras incluyen las más básicas, tal como conducción en pelotón, intersecciones, parada de emergencia, adelantamientos, etc. \cite{Furda2010}\\

En la actualidad existe una gran cantidad de \textit{Cybercars}, uno de los más grandes es el RobuRide, un vehículo capaz de transportar de manera autónoma a treinta personas a una velocidad de 6.7m/s, utilizando un RTK GPS diferencial (Sistema de Posicionamiento Global Cinemático a Tiempo Real, del inglés: \textit{Real Time Kinematic Global Positioning System}) y la odometría del vehículo para la localización \cite{Lucet2010}.\\

Un resumen de ROSOSOFT (Compañía francesa constructora de \textit{Cybercars}) es presentado en \cite{Dupourque2008}, empresa que apunta al transporte autónomo de personas por \textit{Cybercars}. Esta compañía ha implementado una demostración en un parque temático en Vulcania (Francia), con una flota de tres vehículos autónomos que transportan 28 personas a 8km/h, como un servicio de traslado. En el equipo Imara, uno de los más recientes \textit{Cybercars} instrumentados es un minibús con la capacidad de transportar a 4 personas, llamado CyBus. Este vehículo ha estado trabajando durante 6 meses en una demostración permanente para la ciudad de La Rochelle en 2011 \cite{bouraoui2011}, en el marco del proyecto Citymobil.\\

%Dadas todas estas contribuciones, una arquitectura de control para CTS, que toma en cuenta la generación de la trayectoria en tiempo real, curvas paramétricas y diferentes escenarios urbanos, es presentada en el presente trabajo. De acuerdo con los trabajos mostrados en \cite{Resende2012}, y de la lección aprendida en las últimas demostraciones del equipo Imara, una arquitectura evolucionada, modular y adaptable, es presentada en este trabajo. La mayor contribución es el generador dinámico de la trayectoria, el cual considera la condición del vehículo, información de la infraestructura y de obstáculos para definir rutas alternas en tiempo real.

\section{Técnicas para la generación de trayectorias}

Dentro de la arquitectura de control de los CTSs, por lo general encontramos planeadores de trayectoria. Éstos se presentan en gran cantidad de aproximaciones al problema de conducción autónoma.\\

La interacción entre diferentes tipos de vehículos autónomos fue mostrada en el proyecto europeo \textit{Cybercars2} \cite{Naranjo2009}. Con la participación del equipo Imara, el laboratorio TNO (Holanda), y Autopía (España), se realizó un sistema de comunicaciones para coordinar maniobras en intersecciones de entornos urbanos. Sin embargo, hasta ahora se han utilizado únicamente trayectorias previamente grabadas.\\

Recientemente, algunos autores han desarrollado planeadores de velocidad, simulando controladores para un nuevo rastreo de trayectoria y seguimiento de camino para vehículos de tipo CTS como en \cite{Solea2007}. Cruces de camino, intersecciones, rotondas y situaciones con riesgo de colisión, son considerados hoy en día los temas más interesantes para \textit{Cybercars} \cite{Mehani2007,Perez2011D}.\\

En \cite{TesisPerez2012}, la generación de trayectorias viene dada gracias a curvas paramétricas del círculo y curvas Bézier. Éstas últimas merecen gran atención gracias a sus características de simplicidad y de baja carga computacional a la hora de ser implementadas.\\

Dentro de la generación de trayectorias es importante tomar en cuenta el tiempo de cómputo de las técnicas empleadas. En \cite{Han2010}, se presenta una relación entre las curvas de Bézier y otros tipos de generación de curvas, como currvas polinomicas, \textit{splines} (Curva polinómica definida a trozos) y \textit{clothoids} (Segmento cuya curvatura cambia linealmente con la longitud del recorrido). Dicha relación deja en evidencia que las curvas generadas por polinomios, \textit{splines} o \textit{clothoids}, se ven superadas por las curvas de Bézier, en cuanto a simplicidad de implementación y calidad de resultados con respecto a continuidad de segmentos. \\

En \cite{Montes2007} se observa la parametrización de \textit{clothoids} con curvas de Bézier. Esto debido a que es necesario un procesamiento rápido en la trayectoria, siendo difícil de alcanzar esta premisa con \textit{clothoids}.\\

Finalmente, es importante decir que las contribuciones anteriores sugieren considerar la implementación de las curvas de Bézier, debido a su versatilidad y simplicidad para el trato de las intersecciones. Éstas se reseñan a continuación.

\subsection{Curvas de Bézier}

Las curvas de Bézier son curvas paramétricas utilizadas frecuentemente en gráficos computacionales, trazado de dibujos técnicos, el diseño aeronáutico y el diseño automovilístico. Fueron creadas hacia los años 60 y publicadas por primera vez en 1962 por su creador: Pierre Bézier. En la actualidad, vuelven a la investigación automovilística por su simplicidad para describir tramos curvos entre dos puntos, y así generar trayectorias de alto valor en el control de vehículos autónomos \cite{TesisPerez2012}.\\

Diferentes autores han utilizado recientemente las curvas de Bézier \cite{Yang2010, Han2010, Choi2008}, gracias a su bajo costo en tiempo y su sencillez en el trato de intersecciones. En la ecuación \ref{eq:Bezier} se presenta la definición matemática para la generación de curvas de Bézier de grado n-ésimo.

\begin{equation}

B\_{(t)}=\sum\_{i=0}^{n}\left(\stackrel{n}{i}\right)(1-t)^{n-i}t^{i}\*P\_{i}\label{eq:Bezier}

\end{equation}

Donde t es un parámetro $\in$ [0,1], B(t) serán los puntos generados de la trayectoria y $P\_{i}$ se refiere a los puntos de control de Bézier. En la Figura \ref{fig:bezier} la generación de una curva cúbica de Bézier es presentada, evidenciando los puntos de control $P\_0$, $P\_1$, $P\_2$ y $P\_3$.\\

\begin{figure}%[!ht]

\begin{center}

\includegraphics[scale=.40]{Imagenes/Bezier\_curve}

\caption{Generación de una curva de Bézier}

\label{fig:bezier}

\end{center}

\end{figure}

\noindent

Estas curvas poseen 3 características importantes para la generación de trayectorias:

\begin{enumerate}

\item La trayectoria definida por ellas siempre pasa por los puntos $P\_0$ y $P\_n$.

\item El vector dirección que define su inicio y su final siempre es $\overline{P\_0P\_1}$ y $\overline{P\_{n-1}P\_n}$ respectivamente.

\item Su comportamiento de concavidad siempre será coherente con la concavidad formada por sus puntos de control.

\end{enumerate}

En resumen, en el presente capítulo se reseña un estado del arte con aportes importantes que encajan dentro del marco teórico de la pasantía realizada. La conducción autónoma parte de la robótica móvil, o bien busca en ella soluciones para los problemas presentados. Grupos de investigación y fabricantes a nivel mundial vuelcan sus esfuerzos dentro del campo de los ITSs, buscando soluciones a problemas dentro y fuera de las ciudades como lo es el tráfico, las emisiones de gases nocivos, la buena implementación de los recursos, transportes puerta-a-puerta, el aumento de la seguridad en la conducción, entre otros.\\

Parte de las respuestas a los problemas presentados yacen en iniciativas como los \textit{Cybercars}, dentro del concepto de los CTSs, generando de esta manera soluciones de alta calidad para entornos urbanos. Finalmente, se presentan trabajos e ideas que sustentan la generación de trayectorias por medio de curvas paramétricas; cuya implementación será explicada en los capítulos siguientes.