



AUTOMOCIÓN

LA VERDAD SOBRE LOS COCHES SIN CONDUCTOR

Llegarán pronto, pero no serán
como nos han hecho creer

Steven E. Shladover


EN SÍNTESIS

La prensa y la industria del automóvil han exagerado las capacidades del coche automatizado. Todo encuentro en la carretera, por simple que sea, plantea enormes dificultades a los ordenadores. Los chóferes robóticos aún tardarán décadas en aparecer.

Los sistemas de conducción automatizada que dependen de la intervención humana en caso de emergencia son especialmente problemáticos. Aun así, en el próximo decenio veremos algunos sistemas de conducción autónoma, aunque restringidos a aplicaciones y condiciones específicas.

Algunas aplicaciones son viables y tal vez inevitables; entre ellas, los aparcacoches automáticos, las lanzaderas en recintos universitarios, las columnas de camiones pesados y los sistemas automáticos de control para carriles de autopista.

Steven E. Shladover es ingeniero mecánico y cofundador del programa Socios para la Tecnología Avanzada del Transporte (PATH), desarrollado por el Instituto de Estudios sobre el Transporte de la Universidad de California en Berkeley.



N UN FUTURO CERCANO, UN CHÓFER ELECTRÓNICO NOS LLEVARÁ A DONDE queramos ir, en el momento en que lo deseemos y con total seguridad... siempre y cuando no tengamos que girar a la izquierda a través del tráfico. Las cambiantes superficies de las carreteras también supondrán un problema, igual que la nieve y el hielo. Será de crucial importancia evitar a los agentes de tráfico, a los vigilantes de los cruces de peatones ante las escuelas y a los vehículos para emergencias. Además, en entornos urbanos, donde es probable que un peatón aparezca de repente frente al coche, quizá deberíamos ir a pie o en metro.

Estas simples situaciones con las que se topan a diario los conductores humanos plantean enormes problemas a los ordenadores. Su resolución requerirá tiempo, dinero y esfuerzo. Sin embargo, mucha gente está llegando a convencerse de que los vehículos completamente automatizados se hallan a la vuelta de la esquina.

¿Qué ha originado este malentendido? Parte del problema radica en la terminología. Los medios de comunicación aplican los descriptores «autónomo», «sin conductor» y «que se conduce a sí mismo» de forma indiscriminada a tecnologías que presentan importantes diferencias entre sí. Se han difuminado así unas distinciones clave. Además, la industria de la automoción no ha ayudado a aclarar las cosas. Los especialistas en mercadotecnia que trabajan para fabricantes de automóviles, proveedores de equipos y compañías tecnológicas se esmeran por componer materiales publicitarios que admitan un amplio abanico de interpretaciones del grado en que los respectivos productos automatizan la conducción. Y a los periodistas que cubren este campo les conviene adoptar las predicciones más optimistas, ya que estas se antojan más emocionantes. La consecuencia de este bucle retroalimentado es una espiral de expectativas cada vez menos realistas.

Esta confusión es desafortunada, porque la conducción automatizada, en efecto, está llegando. Pero no ocurrirá exactamente como nos están haciendo creer.

DEFINICIÓN DE CONDUCCIÓN AUTOMATIZADA

Conducir constituye una actividad mucho más compleja de lo que la mayoría de las personas aprecian. Implica un amplia variedad de habilidades y acciones, algunas de las cuales pueden automatizarse con mayor facilidad que otras. Mantener la velocidad en una carretera despejada resulta sencillo; esa es la razón de que los sistemas de control de velocidad ordinarios lleven decenios haciéndolo de manera automática. Conforme ha progresado la tecnología, los ingenieros han sido capaces

de automatizar otras sub tareas asociadas a la conducción. En la actualidad están muy difundidos los controles de velocidad adaptativos, que mantienen la velocidad y la distancia de seguridad con los vehículos que circulan por delante. Los asistentes de permanencia en el carril, como los incorporados en los nuevos modelos de Mercedes-Benz e Infiniti, se valen de cámaras, sensores y controles de dirección para mantener el vehículo centrado en el carril. Hoy los coches son ya bastante inteligentes, pero existe un enorme trecho entre estos sistemas y la conducción completamente automatizada.

La taxonomía en cinco niveles definida por SAE Internacional (antes llamada Sociedad de Ingenieros de Automoción) nos sirve para clarificar nuestra reflexión sobre la conducción autónoma. Los tres primeros peldaños de esta escala de automatización creciente (excluyendo el nivel cero, que corresponde a la automatización nula) están ocupados por tecnologías que precisan la intervención humana en caso de emergencia. El control de velocidad adaptativo, el asistente de permanencia en el carril y otros dispositivos similares pertenecen al nivel uno. Los sistemas de nivel dos combinan las funciones de las tecnologías ubicadas en el primer escalón (por ejemplo, los controles laterales y longitudinales de los sistemas de mantenimiento del carril y de control de velocidad adaptativo) para automatizar tareas de conducción más complejas. Es el grado máximo de automatización alcanzado en los vehículos que pueden adquirirse hoy en el mercado. Los sistemas de nivel tres permitirían a los conductores activar el piloto automático en situaciones concretas, como durante un atasco en una autopista.

Los dos escalones siguientes presentan profundas diferencias con los anteriores, ya que funcionan casi sin ayuda humana. Los sistemas de nivel cuatro (automatización elevada) se encargarían de todos los aspectos de la conducción dinámica, pero actuarían solo en situaciones definidas de forma muy estricta: por ejemplo, en un aparcamiento cerrado o en carriles de autopista reservados para vehículos de ese tipo. Por último, en la cima se

La escalera de la automatización

La industria del automóvil y los medios de comunicación han embarullado la terminología: las expresiones «autónomo», «sin conductor» y «autoconducido» oscurecen más que iluminan. Para aclarar las cosas, SAE Internacional ha elaborado definiciones, parafraseadas aquí, de los distintos niveles de automatización y los ha organizado en una escala según su dependencia

decreciente del conductor. Esta jerarquía depara algunas sorpresas. Por ejemplo, el nivel cuatro es, en principio, más abordable que el tres. Los sistemas automatizados de nivel cinco —chóferes electrónicos que pueden gestionar cualquier situación sin necesidad de intervención humana— aún tardarán décadas en llegar.

| | Un conductor humano vigila el entorno | | | El sistema vigila el entorno | | |
|--|---|---|--|---|--|--|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | Automatización nula | Conducción asistida | Automatización parcial | Automatización condicional | Automatización elevada | Automatización plena |
| | Ausencia total de dispositivos de ayuda a la conducción, como el control de velocidad adaptativo. | Sistemas que ayudan a mantener la velocidad o a permanecer en un carril, pero que dejan el control del vehículo al conductor. | La combinación de controles automáticos de velocidad y de dirección; por ejemplo, de mantenimiento del carril. | Sistemas automatizados que conducen y vigilan el entorno, pero con intervención humana en caso de emergencia. | Sistemas que realizan todas las tareas de conducción (aun en caso de emergencia), pero solo en circunstancias limitadas. | El verdadero chófer electrónico, con control total del vehículo en cualquier circunstancia y sin intervención humana en las emergencias. |
| Quién maneja el volante, acelera y frena | Conductor humano | Conductor humano y sistema | Sistema | Sistema | Sistema | Sistema |
| Quién vigila el entorno de conducción | Conductor humano | Conductor humano | Conductor humano | Sistema | Sistema | Sistema |
| Quién toma el control si surgen problemas | Conductor humano | Conductor humano | Conductor humano | Conductor humano | Sistema | Sistema |
| Número de tareas de conducción automatizadas | Ninguna | Algunas modalidades de conducción | Algunas modalidades de conducción | Algunas modalidades de conducción | Algunas modalidades de conducción | Todas las modalidades de conducción |

FUENTE: SAE INTERNATIONAL (WWW.SAE.ORG/MISC/PDF/AUTOMATED_DRIVING.PDF); PARA DOCUMENTACIÓN, INCLUIDAS LAS DEFINICIONES ORIGINALES COMPLETAS, VÉASE TAXONOMY AND DEFINITIONS FOR TERMS RELATED TO ON-ROAD MOTOR VEHICLE AUTOMATED DRIVING SYSTEMS, SAE INTERNATIONAL, ENERO 2014; NIGEL HOLMES (icomas)

halla el nivel cinco, el vehículo plenamente automatizado. Cabe suponer que esto es lo que se le viene a la cabeza a la mayoría de la gente cuando oye a alguien como Carlos Ghosn, director ejecutivo de Nissan, anunciar con absoluta confianza que, para el año 2020, habrá vehículos autónomos en las carreteras.

Lo cierto es que nadie espera que los sistemas automáticos de nivel cinco estén en el mercado para entonces. Y puede que los sistemas de nivel tres se demoren tanto como los de nivel cinco. Pero ¿qué ocurre con el nivel cuatro? Lo tendremos el

próximo decenio. Para poder comprender este confuso estado de las cosas, tenemos que hablar de informática.

PESADILLA INFORMÁTICA

A pesar de la percepción popular, la capacidad de los conductores humanos para evitar colisiones graves resulta notable. Según las estadísticas de tráfico de Estados Unidos para 2011, se produce un accidente mortal cada 3,3 millones de horas de conducción y un accidente con heridos cada 64.000 horas. Estas cifras fijan

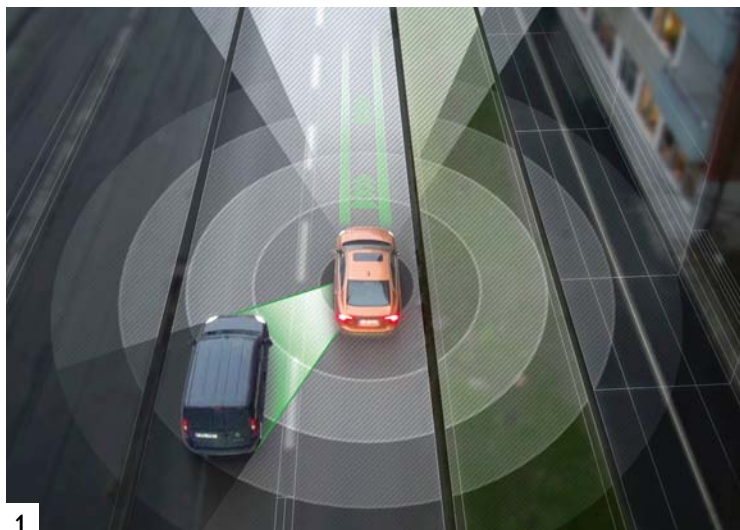
un estándar muy alto para los sistemas de conducción autónoma: como mínimo, deberán ser tan seguros como los conductores humanos. Para alcanzar este grado de fiabilidad se requerirá un desarrollo inmensamente mayor del que los entusiastas de la automatización quieren creer.

Piense en la frecuencia con que se cuelga su ordenador. En el caso de un automóvil, un retraso de tan solo una décima de segundo en la respuesta del programa supondría con gran probabilidad un peligro para el tráfico. Por tanto, los programas que se encarguen de la conducción autónoma deberán diseñarse conforme a unos estándares radicalmente distintos a los aplicados en la actualidad a los dispositivos electrónicos de consumo.

El establecimiento de metodologías y protocolos entrañará profundas dificultades y precisará avances básicos en informática y en procesamiento de señal. Hacen falta nuevos procedimientos para diseñar programas que garanticen un funcionamiento correcto y seguro incluso en condiciones complicadas y muy cambiantes. Hoy existen métodos formales que permiten analizar todos los posibles fallos de un fragmento de programa antes de escribirlo (pueden verse como una especie de «demostración matemática» para programas informáticos), pero solo funcionan en aplicaciones muy sencillas [véase «Lo que Church y Turing ya sabían sobre mi portátil», por Salvador Lucas, en *este mismo número*]. Es ahora cuando los científicos están estudiando cómo aumentar la escala de este tipo de pruebas para validar la complejísima programación requerida para controlar un vehículo completamente autónomo.

Una vez que se haya escrito el programa, los ingenieros informáticos necesitarán nuevas herramientas de depuración y verificación. Los métodos existentes son demasiado engorrosos y costosos para llevar a cabo esta tarea. Para ponerlo en perspectiva, téngase en cuenta que la mitad del coste de un avión militar o comercial nuevo se destina a verificar y validar sus programas. Y el sistema informático de un avión es, en realidad, mucho menos complejo que el que se requerirá en los vehículos de carretera automatizados. Un ingeniero puede diseñar un piloto automático para un avión sabiendo que en muy raras ocasiones, si es que se presenta alguna, tendrá que vérselas con más de una o dos aeronaves en sus inmediaciones. Al piloto automático no le hace falta conocer la velocidad y la posición de los otros aparatos con precisión milimétrica, ya que la distancia a la que se encuentran le da margen para actuar. Las decisiones deben tomarse en un tiempo del orden de decenas de segundos. Por el contrario, un vehículo de carretera automatizado tendrá que vigilar la trayectoria de docenas de vehículos, localizar obstáculos y tomar decisiones en una fracción de segundo. La complejidad del programa aumentará en varios órdenes de magnitud con respecto a la del que hace volar a un aeroplano.

Cuando se valide el programa, los fabricantes necesitarán «demostrar» la seguridad de un sistema de conducción completamente automatizado que satisfaga a los gestores de riesgo de la empresa, a las compañías de seguros, a los defensores de la seguridad vial, a las autoridades y, por supuesto, a los clientes. La clase de «ensayos de aceptación» formales que se usan hoy resultan del todo impracticables para este propósito. Quienes probasen un vehículo tendrían que hacer con él cientos de millones de kilómetros, si no miles de millones, para garantizar con suficiente confianza estadística que lo han sometido a las



1



2

EL PRÓXIMO AÑO, Volvo Cars probará sobre el terreno cien vehículos equipados con sistemas que automatizan la conducción en tramos especiales de autopista (1 y 2). En Europa también se han empleado vehículos Volvo en ensayos de trenes de carretera (3).

situaciones de peligro con las que se topará cuando miles de personas lo usen con regularidad. Ya se están pensando soluciones a este problema —la industria y el Gobierno alemanes han lanzado un proyecto al respecto de millones de euros—, pero por ahora se trata solo de esfuerzos incipientes.

El programa informático que controlará al vehículo, su «cerebro», no es el único componente que debe someterse a un examen detallado. También habrá que analizar con minuciosidad los sensores que suministran a ese cerebro los datos que empleará para tomar decisiones. Los ingenieros han de desarrollar nuevos algoritmos de fusión de datos y procesamiento de señales que puedan distinguir entre objetos inofensivos y peligrosos situados en la trayectoria del vehículo, sin apenas falsos negativos (un objeto peligroso que no se ha identificado) y con poquísimos falsos positivos (un objeto inofensivo que se ha clasificado erróneamente, con las consiguientes respuestas inapropiadas, como un viraje brusco o un frenazo).

Para alcanzar tales objetivos, los ingenieros no pueden recurrir al mismo tipo de redundancia por fuerza bruta usada en los aviones comerciales, ya que un coche automatizado es un producto de consumo que debe ser asequible para la población general. Acudir a la inteligencia artificial tampoco parece una solución obvia. Algunas personas han sugerido que los algoritmos



de aprendizaje automático podrán lograr que los sistemas de conducción autónoma estudien los datos de millones de horas de conducción para, después, ir aprendiendo en el transcurso de su ciclo de vida. Sin embargo, el aprendizaje automático presenta sus propios problemas, ya que se trata de una técnica no determinista. De una misma cadena de montaje podrían salir dos vehículos idénticos que, un año después, y como consecuencia de haberse enfrentado a situaciones de tráfico diferentes, acaben comportándose de manera muy distinta.

UN FUTURO DE NIVEL CUATRO

Antes solía decir que los sistemas de conducción de nivel cinco, plenamente automatizados, no serían factibles antes de 2040. A partir de cierto momento se me empezó a atribuir la afirmación de que el nivel cinco llegaría en 2040. Ahora digo que no disfrutaremos de vehículos plenamente automatizados y capaces de conducir en cualquier circunstancia hasta 2075. ¿Podría ocurrir antes de ese año? Sin duda. Pero no mucho antes.

Las perspectivas para la automatización de nivel tres también se ven empañadas por el problema, muy real, de que ante una emergencia haya que recuperar la atención de un conductor que está en las nubes mientras contempla el paisaje o, peor, que se ha dormido. He oído a representantes de varios fabricantes de automóviles decir que se trata de una cuestión tan difícil de resolver que, sencillamente, no intentarán el nivel tres. Excepcionalmente los asistentes de conducción en atascos, que toman el control cuando se está parando y arrancando todo el rato (es decir, donde la velocidad es tan baja que el peor choque no irá más allá de un parachoques abollado), cabe pensar que la automatización de nivel tres no se producirá nunca.

A pesar de todo, dentro de poco veremos vehículos con un alto grado de automatización, probablemente en el próximo decenio. Casi todos los grandes fabricantes de automóviles y muchas compañías tecnológicas están dedicando importantes recursos a los sistemas de nivel cuatro: conducción plenamente automatizada, pero restringida a entornos específicos y que no depende de la intervención de un conductor humano falible. Cuando se limitan las situaciones en que los sistemas autónomos pueden actuar, su viabilidad aumenta mucho. (Los transportes automatizados de personas llevan años funcionando en los grandes aeropuertos, pero circulan por carriles separados por completo.)

Con toda probabilidad, los próximos diez años traerán sistemas de aparcacoches automáticos que permitirán a los conductores dejar sus vehículos en la entrada de un garaje equipado de modo conveniente y que excluya el acceso de peatones y coches no automatizados. Un sistema instalado a bordo se comunicará con sensores distribuidos por todo el recinto para localizar los

sitios disponibles y circular hasta ellos. Dado que no habrá necesidad de abrir las puertas, las plazas de aparcamiento serán más estrechas que hoy, de modo que cabrán más vehículos en garajes en áreas donde el espacio es caro.

En zonas peatonales urbanas, parques empresariales, recintos universitarios y otros lugares donde se excluya a los vehículos veloces, circularán lanzaderas sin conductor. En tales entornos podría bastar con sensores de capacidad reducida para detectar a peatones y ciclistas. Y, si se produjese un falso positivo y el vehículo frenara sin necesidad, no se causarían daños (aunque los pasajeros se podrían irritar). El proyecto CityMobil2, de la Comisión Europea, lleva varios años probando estas técnicas y tiene programada la demostración final para este verano.

Gracias a los carriles separados para autobuses y camiones, los vehículos comerciales funcionarán pronto con niveles más altos de automatización. Separar físicamente a estos vehículos del resto de los usuarios simplificará muchísimo los sistemas de detección de amenazas y de respuesta. Al final, un tren o fila india —disposición que ahorra combustible— de autobuses y camiones sin conductor podrá seguir a un vehículo conducido por una persona. Diversos grupos de investigación de todo el mundo, entre ellos el programa PATH de la Universidad de California en Berkeley, el proyecto japonés Energy ITS y los proyectos europeos KONVOI y SARTRE, ya han ensayado prototipos de sistemas de trenes, de autobuses y de camiones.

Sin embargo, lo más probable es que la automatización de nivel cuatro se aplique en el próximo decenio, sobre todo, como sistema autónomo de autopista para vehículos de pasajeros de uso personal. Bajo ciertas condiciones, permitirán que los automóviles se conduzcan a sí mismos en secciones de autopista designadas para ello. Los vehículos contarán con subsistemas y componentes redundantes para que, si surgen complicaciones, puedan volver a casa sin intervención humana en modo «precario» de funcionamiento. Seguramente se restringirá su uso a los momentos de buen tiempo y a tramos de autopista cartografiados con todo detalle, incluidas la señalización y las marcas de los carriles. Estas secciones de carretera podrían incluso incorporar «puertos seguros» a los que puedan acudir los vehículos en caso de problemas. La mayoría de los grandes fabricantes de automóviles están trabajando para desarrollar estos sistemas; Volvo Cars planea realizar el año que viene un ensayo público sobre el terreno con 100 prototipos en la ciudad de Gotemburgo.

Puede que estos escenarios no suenen tan futuristas como el que evoca un chófer electrónico personal, pero serán factibles —e incluso inevitables— dentro de poco. 📄

PARA SABER MÁS

Technical challenges for fully automated driving systems. Steven Shladover.

Presentado en el *21st World Congress on Intelligent Transport Systems*, Detroit, Michigan; 7-11 de septiembre de 2014.

Towards road transport automation: Opportunities in public-private

collaboration. Actas del tercer congreso *EU-U.S. Transportation Research Symposium*, Washington, D.C., 14-15 de abril de 2015. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2015.

Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle

automated driving systems. Definiciones para el informe de 2014 de SAE International: www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf

EN NUESTRO ARCHIVO

Seguridad dinámica para automóviles. Steven Ashley en *lyC*, marzo de 2009.