



ROBÓTICA: LOS PRÓXIMOS GRANDES DESAFÍOS

Hace ya más de 60 años que el primer robot industrial, construido por Unimate, fue instalado en una planta de General Motors. Así comenzó un desarrollo creciente de la robótica, destinada en primera instancia a reemplazar al hombre en sus tareas de producción consideradas “ingratas”. No obstante, los robots están presentes en nuestro imaginario cultural desde hace casi un siglo; pensemos en las criaturas artificiales al estilo de Frankenstein y en todas las obras de ciencia ficción en las que ellas aparecen (desde la obra de teatro de Karel Capek de 1920, *R.U.R.*, *Robots Universales Rossum*, que introdujo el término, hasta el ciclo de Asimov, pasando por las novelas de Philip K. Dick y las numerosas películas producidas sobre el tema desde los años sesenta). Y es quizás este imaginario el que más estructura la mirada de la sociedad hacia el lugar que ocupa la robótica en la actualidad y sus perspectivas. ¿Quiere esto decir que los robots van a suplantar a los humanos en cada vez más aspectos de su vida cotidiana y de su vida profesional? Si así fuera, ¿es esto bueno para la sociedad, o no?



PIERRE YVES OUDEYER*

En efecto, como lo muestra Pierre-Yves Oudeyer en este artículo, la robótica está presente hoy en día en gran número de actividades (asistencia a la persona, entretenimiento, educación, transportes, medicina, exploración, industria, etc.) y ofrece numerosas promesas en términos de mejoramiento de lo cotidiano, ya sea a nivel personal o profesional. Sin embargo, hay muchos retos por superar, por una parte en cuanto a la técnica en la mayoría de los campos, pero también en cuanto a la aceptación por la sociedad de las nuevas funcionalidades que ofrece la robótica. Por último, la enorme distancia que separa la ficción de la realidad puede ser apreciada a través de los siguientes desarrollos, sin olvidar, como insiste Pierre-Yves Oudeyer, que el hombre sigue siendo el centro de esta aventura, en el sentido de que controla a la vez los progresos técnicos en la materia y la decisión sobre sus aplicaciones. S.D.

Los robots están en todas partes: en las fábricas y en los campos, en el fondo de los mares y en el espacio, en los jardines y en los salones. Su importancia económica crece día a día y algunos predicen que serán al siglo XXI lo que el auto-

móvil fue al siglo XX. Sin embargo, esta revolución anunciada, cuyo impacto sobre la ciencia, la industria y la sociedad será potencialmente muy grande, va acompañada de grandes retos, tanto tecnológicos como sociales, a los que habrá que hacer frente. Es, pues, fundamental que cada cual esté informado al respecto y participe en la reflexión sobre lo que está en juego para la sociedad en cada campo. Esta necesidad es aún más aguda si se tiene en cuenta que la robótica es un campo muy difuso en el cual los progresos son continuos y progresivos, a menudo sin singularidades o evoluciones súbitas que permitieran llamar la atención de la sociedad sobre algo que, a largo plazo, sin embargo, va a modificarla profundamente. Por esta razón, este artículo se propone examinar el estado actual de las tecnologías (en contraste con el imaginario que se crea sobre ellas a través del cine o la literatura), así como sus perspectivas y sus impactos potenciales.

LOS DESAFÍOS DE LA ROBÓTICA PERSONAL Y DOMÉSTICA

Numerosos estudios predicen que, en los próximos decenios, los robots tendrán una presencia crucial en nuestra vida diaria, especialmente

* Director de investigaciones en Inria (establecimiento público de investigación dedicado a las ciencias digitales); sitio de Internet <http://www.pyoudeyer.com>. Este artículo se basa en un texto que fue presentado en la conferencia "Où vont les robots? Quelques défis de la robotique personnelle", París: Cité des sciences et de l'industrie, 6 de noviembre de 2009, condensado y actualizado por la redacción de *Futuribles* y por el autor (NDLR).

en nuestros hogares. Mientras que la robótica clásica e industrial se articulaba en torno a las tres "D" (*dull, dirty, dumb*), haciendo referencia a los trabajos aburridos, sucios y tontos que serían reemplazados por los robots, la nueva robótica se desarrolla en torno a las tres "E", "*education, entertainment, everyday*", en relación con la educación, el entretenimiento y la vida cotidiana, campos en los que están presentes los robots para acompañarnos cada día y ayudarnos, estimularnos y divertirnos. Es por eso que se habla de robótica de asistencia y de robótica personal.

En este contexto, llega toda una zoología variada alrededor de la cual trabajan numerosos investigadores y que plantea muy importantes retos. Hay, en primer lugar, robots que encajan en el imaginario popular y nos ayudan en las tareas domésticas (robots aspiradoras, robots para cortar el césped, robots de telepresencia...). Otra familia de robots también está en pleno auge: la de los robots educativos, lúdicos y de acompañamiento social. A veces de forma "animaloide", su objetivo es enriquecer la vida social, emocional, intelectual y hasta estética de los humanos con los cuales interactúan. Una tercera tendencia es contraria al imaginario que podemos tener de los robots: en lugar de ver llegar a nuestros hogares robots antropomorfos bípedos, los objetos de la vida cotidiana y las casas mismas se están transformando en robots: aparecen pantallas dotadas de un cuello robotizado y de una cámara que hace las veces de ojos; de los techos cuelgan cámaras-proyectores articulados que detectan cuándo una persona se sienta a una mesa y, en respuesta a un chasquido de los dedos, proyectan ante ella una pantalla táctil con la cual esa persona puede interactuar; las sillas de ruedas

automatizadas pueden anticipar las intenciones del humano y evitar obstáculos imprevistos sin ayuda de nadie, etc.

No nos detendremos en este aspecto, puesto que otros artículos de este número desarrollan el tema de la robótica de asistencia a la persona¹.

LOS DESAFÍOS DE LA ROBOTIZACIÓN DEL TRANSPORTE Y DE LA MOVILIDAD EN LA VIDA COTIDIANA

Muy pronto nuestros automóviles serán robots. A semejanza de los aviones controlados por pilotos automáticos, en algunas ciudades de Europa y de Asia ya se encuentran buses sin conductor que transitan por circuitos reservados para ellos. También en los aeropuertos se encuentran ya vehículos autónomos para el transporte de equipaje y maquinaria. En cuanto a nuestros automóviles para la vida diaria, que ya vienen equipados con sistemas electrónicos de ayuda para la conducción, los investigadores y los industriales están trabajando intensamente para que puedan asistirnos de manera sistemática, incluso para que puedan conducir en nuestro lugar (ver recuadro). Los objetivos son múltiples: aumentar la seguridad de las personas, economizar energía, limitar los embotellamientos, permitir que las personas discapacitadas viajen en automóvil, liberar al conductor para que pueda ocuparse en otra cosa durante el trayecto.

Además de los aspectos técnicos propios de este tipo de vehículos, hay que estar preparados para que muchos conductores sigan prefiriendo el placer de la conducción manual o teman dejarse conducir por un robot. Uno

1 Ver los artículos de Charles Fattal y Michel Héry, en las páginas 25 y 43 del original de *Futuribles* (NDLR).



de los principales retos será entonces el de la aceptabilidad, al cual se debe agregar también el de las infraestructuras: muchos de los desafíos técnicos que se plantean tienen que ver con la capacidad de los vehículos automatizados para percibir e interpretar su entorno en lugar del conductor. Las dificultades obedecen principalmente al hecho de que este entorno, hoy en día, no está estructurado, ya que fue concebido para el hombre y no para los vehículos automatizados.

HACIA EL VEHÍCULO AUTÓNOMO

La automatización de funciones es una realidad en la industria automotriz desde hace cerca de 20 años. Desarrollada inicialmente para la seguridad pasiva, lo fue luego para la seguridad activa en los años noventa, primero con las *airbags*, luego con el sistema de frenos asistidos ABS (*Antiblockiersystem*) y más tarde, en los años 2000, con el control de dirección (ESP, electro-estabilizador programado) y la alerta automática de emergencia.

La integración de un número cada vez mayor de sensores y la inteligencia incorporada de procesamiento de datos dan paso a un nuevo campo de progreso llamado "sistemas avanzados de ayuda a la conducción" (ADAS, *Advanced Driver Assistance Systems*), que ayudan pero tienden a automatizar el manejo del vehículo.

En el primer semestre de 2013, la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) de los Estados Unidos publicó definiciones de los diferentes niveles de autonomía de las funciones (ver esquema)²:

- El nivel 0 no tiene funciones automatizadas, solo sistemas de alerta de choque por la parte delantera o de cambio de carril.
- El nivel 1 tiene automatizadas algunas funciones específicas, como el regulador de velocidad adaptativo, el parqueo automático o el frenado automático en caso de obstáculo.
- El nivel 2 implica la automatización de por lo menos dos funciones básicas intercomunicadas para tranquilizar al conductor. El sistema de ayuda durante un embotellamiento es un buen ejemplo de este tipo de funciones: el automóvil avanza y se detiene automáticamente al ritmo del vehículo que tiene delante; el regulador de velocidad adaptativo y automático (función de la velocidad autorizada y de la velocidad del vehículo que va delante) combinado con el sistema de ayuda que mantiene automáticamente el vehículo en el centro de su vía permite un modo parecido al del pilotaje automático en una vía rápida. Estos sistemas ya existen en algunos modelos de automóviles, pero las leyes actuales requieren que el conductor conserve sus manos sobre el volante y el sistema se desactiva si el conductor suelta el volante.
- El nivel 3 de automatización permite al conductor dejar todo el control al vehículo en ciertas situaciones meteorológicas y de tráfico.
- Por último, en el nivel 4, el vehículo se maneja completamente solo. Desde su construcción, las funciones de conducción determinantes para la seguridad se basan enteramente en el sistema automático. Podrían existir vehículos de nivel 4 que permitan regresar al modo manual de conducción, o que no lo permitan (en este caso, el volante y los pedales pueden desaparecer).

² Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles, mayo de 2013.

Como algunos saben, ya existen prototipos de automóviles totalmente automatizados. El "Google Car" es el más conocido: al parecer, los Google Cars ya recorrieron 500.000 kilómetros en modo automático sin accidente y cuentan con la autorización para rodar en cuatro Estados estadounidenses: Nevada, Florida, California y Michigan³.

Quedan algunas dificultades técnicas por superar para que veamos surgir el automóvil completamente automático para el público en general: además del costo, aún hay que mejorar la precisión de los sistemas de posicionamiento geográfico y mapas. Sin embargo, aunque es muy probable que las dificultades técnicas se resuelvan en los próximos años, hay un freno más para el desarrollo de los automóviles automáticos: el de la responsabilidad jurídica en caso de accidente (a pesar de todo). En efecto, si el vehículo está completamente automatizado, parece lógico que sea el objeto mismo el

que deba tomar un seguro en el momento de la venta, y ya no su conductor o su propietario.

Véronique Lamblin, *Futuribles*

Estos problemas podrían simplificarse de forma considerable si se modifica el entorno para que tenga "comunicación" con los automóviles, por ejemplo instalando en el asfalto elementos electromagnéticos o *chips* RFID (identificación por radiofrecuencia) que sean fáciles de ubicar a través de sensores y que puedan informar al automóvil no solo sobre la forma de la vía y sobre la posición exacta a cada momento, sino también sobre las reglas de la circulación locales. Pero antes de que las vías sean sistemáticamente "aumentadas" para adaptarlas a los vehículos automatizados, será necesario permitir la transición, es decir, que sea posible continuar integrando automóviles clásicos en un entorno hecho para vehículos inteligentes.

Evolución de la automatización de los vehículos

Nivel 4	2014	Automatización completa De fuertemente a totalmente automatizado (punto a punto)
Nivel 3		Automatización limitada De semiautomatizado a fuertemente automatizado Modo de piloto automático (autopistas, vías dedicadas, embotellamientos)
Nivel 2		Automatización parcial ADAS cooperativo (Asistencia para el mantenimiento en la vía con regulador de velocidad adaptativo, asistencia en embotellamiento)
Nivel 1		Automatización de funciones Control de una función específica (regulador de velocidad adaptativo, autoparqueo, mantenimiento en la vía, frenado)
Nivel 0		No hay automatización (no hay ADAS o tan solo un sistema de alerta)
<div style="text-align: right;">→</div>		
2005	2015	2025
		2035

Fuente: NHTSA.



Otra solución podría consistir en aprovechar los adelantos en el campo de la geolocalización, de las imágenes satelitales y del desarrollo de las conexiones móviles a través de Internet, para suministrar a cada vehículo las informaciones que requiere sin tener que realizar la transformación física de las redes viales.

LOS DESAFÍOS DE LA ROBÓTICA MÉDICA

Los robots hicieron su ingreso a los hospitales y constituyen una ayuda cada vez más importante para nuestra salud. Para confirmarlo, basta con mirar la diversidad de los robots médicos: robots de asistencia quirúrgica (utilizados diariamente desde hace unos quince años), cápsulas endoscópicas robotizadas y miniaturizadas capaces de explorar el cuerpo humano (de aparición más reciente), prótesis de extremidades, sistemas robóticos para la reeducación o la sustitución, exoesqueletos que podrían permitir recuperar la capacidad de marcha a quienes no pueden caminar, sillas de ruedas robotizadas, e incluso robots interactivos sociales que son objeto de investigaciones dentro del marco del diagnóstico y la terapia para trastornos del desarrollo (como el autismo), o de la estimulación cognitiva de personas de la tercera edad.

LOS ROBOTS QUIRÚRGICOS

Los robots pueden ser una ayuda valiosa para el cirujano, ya que son capaces de realizar movimientos más precisos y más repetibles, de rendimiento constante. Además, su morfología puede ser flexible y adaptarse a las cavidades estrechas en el interior del cuerpo. Esto permite realizar intervenciones menos invasivas y, en principio, menos peligrosas para el paciente. Algunos robots son autónomos y realizan acciones quirúrgicas a partir de las instrucciones funcionales que previamente les ha dado el

cirujano. Para esto se requiere, principalmente, que el robot sea capaz de reconstruir las estructuras anatómicas del cuerpo particular de cada paciente a partir de diversas medidas (suministradas por sus sensores y derivadas de los datos calculados previamente con base en imágenes).

Con otros robots, los gestos operatorios son controlados de forma directa por el cirujano a través de interfaces. Estas interfaces son especialmente útiles cuando la escala de las fuerzas y de los movimientos a realizar es muy pequeña y, por lo tanto, muy inferior a la de los movimientos naturales de las manos y de los brazos del cirujano. Su función, entonces, es la de transformar los movimientos del cirujano en micromovimientos complejos, así como transmitir a los cirujanos informaciones táctiles y de fuerzas, es decir, "hápticas", que caracterizan el contacto entre el instrumento quirúrgico y el cuerpo del paciente. Uno de los retos más importantes es el de elaborar interfaces que permitan al cirujano controlar de manera eficaz estos microinstrumentos complejos, asegurando a la vez precisión y seguridad, pero también facilidad de aprendizaje. Esto constituye un desafío a la vez técnico y ergonómico, al cual se agregan cuestiones jurídicas y éticas, como las relacionadas con las responsabilidades en caso de accidente operatorio.

LOS MICROROBOTS DE EXPLORACIÓN DEL CUERPO

Desde hace varios años, uno de los temas prioritarios de investigación de varios laboratorios es el de los robots miniaturizados, autónomos o teledirigidos, capaces de desplazarse inálámbicamente por las venas, las arterias o los conductos intestinales. Su objetivo es, en primer lugar, suministrar medidas e imágenes de los tejidos del cuerpo humano de una manera muy poco invasiva, y también ayudar al

médico en su diagnóstico. Los desafíos que se plantean son múltiples: ¿cómo incorporar en un robot del tamaño de una cápsula el sistema de propulsión y de navegación, las cámaras y otros sensores y el sistema de comunicación inalámbrica con el exterior? ¿Cómo elaborar métodos de locomoción adaptados a la escala microscópica en la cual los líquidos tienen propiedades de viscosidad muy diferentes? Para los robots teledirigidos, ¿cómo desarrollar interfaces que permitan su control por el cirujano? Para los que son autónomos, ¿cómo incorporar la potencia de cálculo necesaria para el mando del robot?

PRÓTESIS, SUSTITUCIONES ROBÓTICAS Y REEDUCACIÓN

Ya empiezan a encontrarse dispositivos robóticos para reemplazar, aumentar o reeducar diferentes partes del cuerpo humano. Se están desarrollando, por ejemplo, prótesis de mano o de brazo para que una persona amputada pueda utilizar una mano o un brazo robótico instalado en el lugar de su equivalente biológico. Uno de los retos más grandes consiste en lograr que estas personas puedan controlar sus prótesis con facilidad y eficacia para realizar movimientos complejos de manera coordinada. La mayoría de las veces, las prótesis se conectan al cuerpo del paciente mediante sensores colocados sobre ciertos músculos que, al ser contraídos, envían señales a la mano o al brazo robótico. El objetivo es lograr que el dispositivo robótico interprete estas señales de tal manera que comprenda las intenciones musculares del humano y las realice, pero también desarrollar un sistema que el humano pueda aprender fácilmente y que no requiera ser recalibrado con frecuencia.

Por otro lado, la conexión robot-cuerpo humano debe ser a la vez sólida, limpia, duradera e inocua para la persona. A semejanza de lo que ya se hizo con monos, la conexión podría

realizarse directamente con el cerebro, de tal manera que sea a la vez seguro desde el punto de vista médico y correcto desde el punto de vista ético.

Además de las prótesis, también se están desarrollando dispositivos robóticos de sustitución y de reeducación. Entre las tecnologías más notables, podemos citar la aparición de los exoesqueletos, dobles robóticos del cuerpo humano que se le superponen como un caparazón y cuyo objetivo es potenciar las fuerzas físicas. Para las personas que ya no tienen resistencia o fuerza para caminar, esta podría ser, justamente, una manera de recuperar esa capacidad. Falta lograr que el exoesqueleto pueda interpretar correctamente y en tiempo real los movimientos que desea hacer la persona que lo lleva puesto, para luego construir exoesqueletos seguros de que no puedan causarle daño al humano. Esto implica en particular que se lleven a cabo investigaciones sobre un nuevo tipo de "actuadores" que respondan a la aplicación de una fuerza exterior.

ROBOTS SOCIALES PARA EL DIAGNÓSTICO Y LA ESTIMULACIÓN COGNITIVA Y EMOCIONAL

En el imaginario colectivo se suele considerar que un robot es, por definición, una entidad de comportamientos estereotipados, insensible a las emociones. Resulta sorprendente que algunos investigadores estén estudiando la manera de utilizarlos para ayudar a los niños con trastornos de desarrollo. Es el caso del autismo, que se caracteriza justamente por presentar comportamientos estereotipados y un aislamiento social y emocional que posiblemente obedece de forma parcial a la dificultad de los niños afectados para percibir e interpretar los comportamientos de sus congéneres, demasiado variables y demasiado cargados de códigos. Algunos investigadores han demostrado que, en



presencia de robots con formas y comportamientos animaloides / antropoides, más simples y más predecibles que los humanos, pero más interactivos que los objetos inanimados, los niños autistas podrían salir de sus comportamientos estereotipados e incluso aprovechar el robot como un intermediario para interactuar con los demás humanos.

Otros investigadores utilizan la función repetidora de los comportamientos del robot como una herramienta de diagnóstico que permite seguir las evoluciones de ciertas respuestas sociales de los niños en el contexto de interacciones idénticas. No obstante, estas investigaciones aún plantean importantes retos y deberán continuar hasta que se pueda asegurar, principalmente, que los efectos observados tienen (o no) un efecto duradero y que no existe el riesgo de que el robot agrave el aislamiento social del niño.

Esta estimulación emocional, cognitiva y social por los robots también puede servir para las personas de la tercera edad, en particular para quienes sufren la enfermedad de Alzheimer. En este caso, la idea es desarrollar robots capaces no solamente de facilitar la vida cotidiana de estas personas, sino también de ayudarles a estimular su memoria y sus funciones intelectuales.

LOS RETOS DE LA ROBÓTICA DE EXPLORACIÓN Y DE INTERVENCIÓN EN MEDIO HOSTIL

Los robots se han convertido en herramientas esenciales para la exploración de entornos desconocidos o peligrosos. Gracias a ellos, podemos seguir los pasos de los grandes exploradores de siglos anteriores y descubrir mundos a los que el hombre no puede llegar. Entre estos robots, quizás los más conocidos son Sojourner, Spirit y Opportunity, que posaron sus ruedas sobre Marte y nos permitieron descubrir las

propiedades geofísicas, topográficas y químicas de este planeta.

En la Tierra, los robots permiten explorar los grandes fondos submarinos en condiciones de presión muy difíciles y sin luz y no solo hacer el inventario de una fauna y una flora únicas, sino también estudiar las corrientes marinas o los fenómenos volcánicos en el límite de las placas tectónicas. El papel de los robots de exploración será también cada vez más esencial para la intervención en zonas terrestres muy peligrosas (escombros de una ciudad luego de un terremoto, plantas nucleares, zonas de guerra...).

Por último, estas mismas tecnologías se multiplicarán para crear toda una familia de aplicaciones civiles y militares menos extremas pero igualmente importantes: vehículos terrestres, aéreos o acuáticos robotizados para vigilar la seguridad de las fronteras, el tráfico de buques y sus posibles desgasificaciones, los incendios forestales, la pesca ilegal, los movimientos de multitudes, etc. Hay desafíos importantes para los robots de exploración y de intervención en medio hostil, ya sean autónomos para realizar la misión que se les ha asignado o semiautónomos cuando están parcialmente teledirigidos por un operador humano.

MOVILIDAD EN MEDIO HOSTIL

Se requieren, por ejemplo, robots capaces de desplazarse entre ruinas o sobre un planeta cubierto de obstáculos rocosos y de grietas, pero también robots pequeños capaces de volar en todas las condiciones atmosféricas. Con respecto a la morfología de los robots y al modo de propulsión, se distinguen dos grandes enfoques: por una parte, la robotización de vehículos clásicos de ruedas, hélices o reactores; por otra, la elaboración de formas y de materiales inspirados en lo vivo (robots con patas, o que batan alas como las de los insectos, o que naden como los peces).

AUTONOMÍA ENERGÉTICA EN MEDIO HOSTIL

Es, por definición, muy difícil encontrar estaciones de recarga energética en medio hostil y con frecuencia es imposible programar que el robot pueda regresar a una zona “tecnificada” durante su misión. Por ello, es necesario construir robots que sean energéticamente autónomos y que puedan realizar misiones de larga duración, lo que implica, por una parte, desarrollar técnicas que les permitan captar las fuentes de energía disponibles en su lugar de intervención (solar, corrientes marinas, viento, biomasa...) y, por otra, elaborar robots que economicen la mayor cantidad posible de energía.

INTERACCIÓN OPERADOR-ROBOT

Autónomos o semiautónomos, estos robots están concebidos para realizar los objetivos fijados por un operador humano. Por lo tanto, el mando de sus sistemas debe ser intuitivo y fácil. Para los robots autónomos, esto consiste en elaborar sistemas que permitan al humano expresar órdenes de alto nivel estratégico o táctico que puedan ser transformadas por un robot en un plan de acción preciso. Para los robots semiautónomos, las órdenes dadas por el humano son normalmente de un nivel más bajo y se asemejan a las del control remoto. En este caso, los retos están, por una parte, en el desarrollo de interfaces que permitan al humano no molestarse por el desfase temporal entre el envío de la orden y su realización por el robot, y que reduzcan a un mínimo el número de órdenes que deban ser dadas para alcanzar un objetivo dado; por otra parte, en la capacidad del robot para detectar los peligros de ciertas órdenes del operario y activar de manera autónoma un programa que los evite sin entrar en conflicto con el pedido del operario.

CONSTRUCCIÓN AUTOMÁTICA DE MAPAS Y NAVEGACIÓN

Como para los exploradores humanos, una de las principales actividades de los robots de exploración es la construcción de mapas, destinados no solo al operario humano sino también a facilitar su propia navegación en medios desconocidos. ¿Cómo puede un robot construir un mapa de su entorno y ubicarse en él? Hay una intensa actividad entre los investigadores en torno al desarrollo de nuevos sensores (como los LIDAR, *Ligth Detection And Ranging*, una especie de escáneres en 3D del entorno) y en relación con los algoritmos que permiten reconstruir un mapa a partir de múltiples informaciones provenientes no solo del robot sino también potencialmente de otros sensores, por ejemplo de los instalados en satélites o en otros robots.

LOS DESAFÍOS DE LA ROBÓTICA INDUSTRIAL Y DE LOS SERVICIOS PROFESIONALES

Los robots industriales, aparecidos en los años sesenta y definidos como máquinas reprogramables para realizar de manera automática diversas tareas de manipulación en las fábricas, han proliferado constantemente durante los últimos 50 años. De acuerdo con la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, el mercado de la robótica industrial creció un 19% entre 2000 y 2005, año en el cual representaba 11.000 millones de dólares estadounidenses. En 2012, las ventas de robots industriales ascendieron a cerca de 8.500 millones de dólares estadounidenses; incluyendo las aplicaciones de *software*, los periféricos y la ingeniería de los sistemas, el mercado de los sistemas robóticos industriales habría ascendido a los 26.000 millones de dólares



estadounidenses en 2012^[4] y, según la Japan Robot Association, podría alcanzar los 66.000 millones de dólares estadounidenses en 2025.

En la actualidad, la principal usuaria de robots es la industria automotriz, en cuyas fábricas hay robots que ensamblan casi totalmente los automóviles bajo una supervisión funcional de los humanos. El desarrollo de estos robots puede explicarse mediante las tres D: son máquinas que permiten reemplazar a los humanos en las tareas *dull* (aburridas), *dirty* (sucias) y *dumb* (que no requieren ninguna facultad intelectual). Además, son insensibles a la fatiga, pueden trabajar día y noche y son capaces de manipular y colocar piezas industriales de varias centenas de kilos con una precisión milimétrica en entornos estructurados.

Sin embargo, los robots industriales del futuro no serán simples extrapolaciones de los robots industriales de hoy. En primer lugar, si las muy grandes industrias pueden utilizar favorablemente los sistemas robóticos existentes para fabricar en masa ciertos productos que tienen una vida útil relativamente larga, muchas empresas pequeñas y medianas deben ser capaces de diseñar y fabricar nuevos productos muy rápidamente, lo que implica una capacidad de reorganización dinámica de los procedimientos industriales. En este contexto, necesitan poder construir robots capaces de realizar tareas más variadas, más complejas que la colocación de piezas, y más fácilmente reprogramables para una tarea nueva. Así, la investigación relacionada con la elaboración de robots humanoides, capaces de una gran destreza y de manipular las herramientas de los humanos, ocupa un lugar central.

REACTIVAR LA INDUSTRIA FRANCESA MEDIANTE LOS ROBOTS: RECOMENDACIONES DE LA FUNDAPOL

El resurgimiento de los debates sobre la política industrial en 2012 puso de nuevo sobre la mesa el tema de la robótica: ¿Es posible reactivar la industria francesa mediante los robots? Esta es la pregunta que formula la Fundación para la innovación política (Fundapol) en los dos informes de Robin Rivaton publicados en 2012^[5]. El primer informe se refiere a los retos de la robótica y presenta un balance industrial que no es favorable para Francia. En efecto, las cifras son elocuentes: mientras que la mayor parte de los países desarrollados se equiparon masivamente en robots industriales, Francia se dejó tomar ventaja y se quedó a la zaga en la revolución robótica. A finales de 2011, había cuatro veces menos robots en la industria en Francia que en Alemania, y dos veces menos que en Italia; si bien durante 2011 se instalaron 3.000 robots en la industria francesa, la cifra en Alemania fue seis veces mayor. Robin Rivaton señala que la robotización es un factor de competitividad de la industria manufacturera, puesto que permite jugar a la vez con el factor precio de la producción, mediante las economías de mano de obra, y con la calidad de los productos, que presentan menos defectos; así, contribuye a disminuir las pérdidas de materia prima, al mismo tiempo que introduce flexibilidad (los robots son reprogramables).

La comparación internacional del número de robots por cada 10.000 empleados en la industria permite constatar el adelanto de Japón y Corea del Sur, con 359 y 347 robots por cada

4 Fuente: World Robotics, 2013.

5 Rivaton (2012: 56 y 44, respectivamente).

10.000 empleados en 2012, respectivamente. Alemania se encuentra en el tercer lugar, con 261 robots, y Francia bastante detrás, con 122 robots por cada 10.000 empleados, después de Taiwán (129 robots por cada 10.000 empleados). China, por su parte, comienza a equiparse. Japón produce el 60% de los robots industriales, seguido por Corea del Sur, y su industria automotriz lleva una aplastante ventaja en la robotización de las fábricas, lo que explica su altísima productividad. Las plantas de fabricación de automóviles en Francia están cerca de un 60% menos robotizadas que las japonesas y dos veces menos que las alemanas. Aunque Francia produjo robots industriales hasta comienzos de los años noventa, desde entonces su industria se desplomó. Hoy en día, la industria se enfrenta a nuevos retos: se han producido importantes avances en el campo de los sensores y del *software*, y se vislumbra una nueva ola robótica con un mejor acople entre el hombre y la máquina. Por otro lado, están llegando al mercado robots de servicio, llamados humanoides por algunos; en este campo, si bien Japón también es el líder, hay una empresa francesa, Aldebaran Robotics, que está muy bien posicionada. Robotizar la industria francesa es un imperativo estratégico, concluye este primer informe, ya que es un medio para recuperar la competitividad, en particular en la industria automotriz –la comparación de la productividad en las plantas de Peugeot (PSA) en Aulnay y en Sochaux es bastante elocuente, siendo más elevada en la segunda que está dotada de robots recientes–.

El informe también incita a reactivar la producción de robots en Francia. El segundo informe aborda los temas de estrategia. Afirma que, a pesar de que Francia perdió su ventaja en la robótica industrial, sería un error estra-

tégico abandonar esta rama para dar prioridad a la robótica de servicio, ya que es necesario mantener la cadena completa, desde la robótica industrial hasta la robótica de servicio, que son complementarias. Por tanto, la Fondapol recomienda una estrategia integrada para la robótica con el apoyo de los poderes públicos. Considerando que Francia posee importantes ventajas en la investigación, con organismos públicos de investigación que suelen estar a la vanguardia (Centre national de la recherche scientifique, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Inria...), la I&D y la formación deben ser un pilar de esta estrategia nacional para la cual será necesario movilizar recursos financieros, muy seguramente a nivel regional, para equipar en robots a las pequeñas y medianas empresas, e invitando al mismo tiempo a que se establezcan en Francia expertos extranjeros del mundo de la robótica.

Aunque la opinión francesa se muestra reticente frente a la robótica, por considerarla una causa de desempleo, el informe concluye que es necesario mostrar que la robotización ya no es una fantasía futurista sino un importante reto industrial. Unos meses después de la publicación de estos dos informes, en marzo de 2013 fue lanzado el plan France Robots Initiatives⁶, lo cual parece indicar que estas recomendaciones fueron escuchadas.

Pierre Papon, *Futuribles*

MANIPULACIÓN E INTERACCIONES CON EL MUNDO FÍSICO

Una de las principales actividades de los robots industriales en la actualidad consiste en hacer lo que se llama *pick-and-place*, es decir,



por ejemplo, tomar piezas que llegan por una cinta transportadora y colocarlas de manera precisa en una estructura del producto final. Otras actividades motoras muy difundidas son la colocación de tornillos, la soldadura o la pintura. Todas ellas tienen en común que son actividades relativamente simples desde el punto de vista de la destreza requerida.

Por el contrario, muchas de las actividades realizadas por obreros humanos consisten en manipulaciones complejas que requieren la coordinación de los dedos de ambas manos y, por lo tanto, están fuera del alcance de las capacidades de los robots actuales. Para que esto sea posible, se requiere avanzar, por un lado, en la elaboración de sensores del tacto y de fuerzas que puedan cubrir la totalidad de una mano artificial; por otro, en la creación de algoritmos de control capaces de acoplar en tiempo real los datos de estos sensores y los movimientos de los accionadores para manipular objetos complejos, potencialmente flexibles y cuya posición no es conocida previamente por el robot. La existencia de estos brazos y manos artificiales podría permitir, además de la manipulación compleja en cadenas robotizadas tradicionales, dotar de ellos a los robots con el fin de que puedan utilizar herramientas concebidas en su origen para el hombre, más numerosas y variadas. Este es uno de los campos de investigación en curso.

Por último, otro gran reto relacionado con las capacidades de manipulación de los robots tiene que ver con los movimientos cada vez más rápidos que pueden provocar torsiones u oscilaciones del cuerpo del robot difíciles de controlar. De manera más general, la manipulación de objetos flexibles o blandos se sale del marco de los sistemas de mando basados en la hipótesis de que el robot y el objeto manipulado por él son rígidos: en este nuevo contexto, la tarea que el robot debe efectuar se caracteriza por tener propiedades dinámicas muy

difíciles de modelizar, y el desafío técnico es considerable.

FLEXIBILIDAD, REPROGRAMABILIDAD Y PORTABILIDAD

Los robots industriales existentes son reprogramables, pero a menudo se requiere bastante esfuerzo para esa reprogramación, lo cual constituye un obstáculo importante en las fábricas donde los productos y procesos pueden cambiar muy rápido. Queda entonces mucho por hacer en el desarrollo de robots que se puedan reprogramar fácilmente para realizar una tarea nueva o a los que una persona pueda especificar una tarea compleja o incluso transferir su propia destreza. A este respecto, un reto de investigación importante es el desarrollo de sistemas robóticos capaces de aprender por imitación y/o demostración de la tarea por un obrero no ingeniero. Estos desafíos implican especialmente el establecimiento de herramientas de *software* avanzadas en términos tanto de interface con el usuario humano como de interoperabilidad entre los sistemas y los robots.

INTERACCIONES CON EL HOMBRE: SEGURIDAD, COOPERACIÓN, COMUNICACIÓN Y APRENDIZAJE

Flexibilidad, variedad de las tareas, minimización de las transformaciones que deban hacerse a las plantas existentes de las pequeñas y medianas empresas: estas son las razones esenciales que llevan a cierto número de investigadores y de industriales a desarrollar robots parcialmente humanoides que ayuden a los obreros humanos en su trabajo, trabajando como ellos y con las mismas herramientas.

Los desafíos son inmensos. El primero es el de la seguridad: teniendo en cuenta que, en este contexto, los robots deben interactuar a veces físicamente con el humano, es indispen-

sable que sean inocuos para el humano. Así, un eje de investigación muy dinámico estos últimos años es el desarrollo de robots a la vez livianos y potentes, equipados con motores capaces de absorber casi totalmente los golpes potenciales no previstos contra elementos exteriores, y que de forma sencilla puedan ser bloqueados en su movimiento por la mano de un humano.

Un segundo desafío tiene que ver a la vez con los problemas de interpretación de las intenciones del obrero por los robots, y con la coordinación entre el robot y el humano para realizar la tarea del momento. Esto implica que el robot sea capaz de construir en tiempo real un modelo de la tarea y del humano. Sin embargo, hay que tener en cuenta que cada humano es diferente, que sus preferencias evolucionan con el tiempo, y que incluso las tareas pueden evolucionar. Por todo ello, es esencial que el robot sea capaz de adaptarse permanentemente, de aprender a interpretar las nuevas señales, las emociones, las intenciones o las nuevas preferencias del humano. Para responder a este reto, numerosos laboratorios en el mundo están desarrollando métodos de aprendizaje estadístico, así como interfaces hombre-robot que permitan este aprendizaje durante las interacciones naturales con el humano.

LOS ENTORNOS NO ESTRUCTURADOS

En el contexto de las interacciones con el humano, un elemento fundamentalmente diferente de la situación de los robots industriales de hoy es la imposibilidad de anticipar todos los comportamientos y gestos del humano: se trata de un entorno no estructurado. Es también el caso de los robots de servicios profesionales, concebidos para ayudar a las personas que trabajan en los campos, en las obras de construcción, en los puertos y en los aeropuertos. En todos estos entornos pueden ocurrir hechos imprevistos, y la estructura misma del entorno es parcialmente

desconocida (plano de las calles, ubicación de los cubos de la basura, etc.).

Esto implica que las estrategias de acción del robot no pueden programarse totalmente con anticipación, sino que deben evolucionar de manera automática con el tiempo, gracias a métodos de adaptación y de aprendizaje. Esto debe permitir no solo el manejo de las incertidumbres con respecto a la medida de las propiedades que caracterizan los elementos relativos a la tarea (por ejemplo, la posición y el número de frutos que se van a coger de un árbol), sino también la respuesta a hechos imprevistos para los cuales, por definición, no se tiene un modelo *a priori*. Operar de manera eficaz y en condiciones de seguridad cuando es imposible modelizar totalmente su entorno con anticipación, ese es otro reto mayúsculo.

LOS DESAFÍOS DE LA NANORROBÓTICA

Durante el último decenio, las investigaciones en nanotecnología, en particular en nanorrobótica, se han multiplicado de forma considerable. Los nanorrobots son máquinas cuyos componentes están en una escala atómica o molecular. Estos componentes pueden ser moléculas biológicas, como proteínas o fragmentos de ADN, cuyas capacidades naturales de reacción a estímulos químicos, físicos o eléctricos son utilizadas en un contexto artificial para que funcionen como motores, sensores o articulaciones; también pueden ser conjuntos de átomos creados *de novo* por el humano. Al ensamblar estos componentes es posible formar y caracterizar máquinas que tengan diferentes grados de libertad, que sean capaces de aplicar fuerzas y de manipular otros objetos nanométricos y que estén dotadas de una eficacia energética muy grande.

Las aplicaciones podrían ser médicas, medioambientales, espaciales o militares. Por



ejemplo, es posible imaginar que algún día estas máquinas sean capaces de transportar medicamentos dentro del cuerpo humano para llevarlos hasta ciertas células identificadas individualmente e inyectarlos en ellas sin tocar las células circundantes. También es posible imaginar unos nanorrobots capaces de reparar esas células o de eliminar selectivamente células cancerosas. Sin embargo, quedan todavía varios retos importantes que será necesario afrontar antes de que estas proyecciones se hagan realidad.

MOTORES, SENSORES, ARTICULACIONES Y ENSAMBLE

Lo mismo que los robots macroscópicos, los nanorrobots necesitan motores, sensores y articulaciones para actuar sobre su entorno y percibirlo. ¿Cuáles son los conjuntos moleculares que permiten propulsar un nanorrobot en un entorno sometido a las leyes de la física atómica y cuántica más que a las leyes de la física newtoniana? ¿Qué tipos de sensores utilizar?

¿Cómo ensamblar de manera robusta, repetida y a un costo razonable esos motores, sensores y articulaciones para convertirlos en robots completos? Hoy en día, esta operación se realiza mediante sistemas microscópicos de muy alta tecnología, pero ¿será posible desarrollar sistemas macroscópicos de manipulación nanoscópica que sean robustos y precisos y que puedan ser producidos a gran escala y a bajo costo? Otra vía de investigación posible es la del autoensamble: en efecto, numerosas estructuras biológicas nanométricas se ensamblan espontáneamente en ciertas condiciones locales físico-químicas.

CONTROL, COMUNICACIÓN, PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Así como se controla a los macrorrobots, también será necesario poder controlar a los

nanorrobots. Para esto se requiere disponer de capacidades de almacenamiento y de procesamiento de la información, lo cual constituye un reto inmenso en la escala nanométrica. Se necesitaría construir y programar nanomicrocontroladores incorporados en un nanorrobot. En primera instancia, algunos investigadores han propuesto que dicho control se haga a distancia, en forma de telecomando, de modo que las funcionalidades incorporadas en el nanorrobot se limiten al almacenamiento de la información y al envío y recepción de la misma desde un sistema macroscópico exterior operado por un humano. Se plantea entonces otro reto: el de la interfaz entre el nanorrobot y el sistema técnico macroscópico: ¿cuál será el medio utilizado para enviar las órdenes al robot y recibir las informaciones captadas por sus sensores?

ENJAMBRES DE NANORROBOTS, SEGURIDAD

Muchos investigadores se orientan hacia el uso de enjambres de nanorrobots: así como en las sociedades de insectos sociales, su comportamiento inteligente sería el resultado de interacciones masivas entre ellos y con el entorno. ¿Cómo desarrollar sociedades de nanorrobots para realizar una tarea determinada, y cómo programarla?

Las capacidades de manipulación de la materia a nivel atómico, de autoensamble y de replicación pueden permitir aplicaciones extraordinarias, pero también usos muy peligrosos para el humano. ¿Cómo asegurarse, por ejemplo, de que unos nanorrobots capaces de desagregar las estructuras moleculares a su alrededor y de alimentarse de ellas para construir otras máquinas idénticas no hagan desaparecer toda la materia y, por lo tanto, toda la vida que se encuentra a su alrededor? ¿Cómo garantizar que los nanorrobots médicos no se transformen en sustancias tóxicas para el organismo? ¿Cómo asegurarse de que

unos nanorrobots capaces de replicarse no se conviertan en nuevos tipos de virus / parásitos que perturben los ecosistemas y puedan poner en peligro la salud de los seres vivos?

LOS DESAFÍOS SOCIETALES DE LA ROBÓTICA

Más allá de los desafíos tecnológicos y científicos a los que debe hacer frente la robótica, los impactos potenciales que estos trabajos podrían tener sobre la sociedad plantean inquietudes fundamentales, sociales y éticas.

LA ACEPTACIÓN SOCIAL EN LO COTIDIANO

Como vimos, los robots podrían convertirse rápidamente en objetos muy presentes en nuestra vida diaria. Sin embargo, además de los obstáculos tecnológicos, su llegada enfrenta también la oposición de una parte de la sociedad. Muchos de los robots existentes, aunque han sido recibidos por algunos con diversión y/o benevolencia, también han provocado reacciones hostiles, especialmente en Occidente. Una parte de esta hostilidad obedece a que estos robots están destinados a participar en las interacciones sociales con los humanos y entre humanos, pero son percibidos como criaturas extrañas, insensibles o "maquínicas" que deshumanizan la vida cotidiana.

Para contrarrestar esta hostilidad, como vimos, numerosos investigadores se concentran en el desarrollo de robots capaces de comportamientos gestuales, afectivos o lingüísticos basados en los comportamientos de los humanos; en otras palabras, intentan humanizar los robots, es decir, elaborar robots que se adapten al humano, y no al contrario. Pero estos robots humanizados también provocan hostilidades: al mover las fronteras entre el mundo vivo y sensible y el mundo inerte y artificial, así como las

fronteras entre lo que distingue al hombre de las demás criaturas, estos robots cuestionan la manera como, en Occidente, se concibe al hombre y a los seres vivos. Además de este aspecto filosófico, esos robots encarnan también un tabú religioso: la tentativa de construcción de robots humanizados, capaces de razonamiento y de emoción, es vista por algunos como una manera de "jugar a ser Dios", lo que ha sido considerado durante siglos como un sacrilegio; y aunque las sociedades occidentales están hoy en día muy secularizadas, las criaturas artificiales humanizadas siguen siendo percibidas por ellas como algo negativo.

¿Cómo hacer que los robots sean socialmente aceptables en la vida diaria sin herir la susceptibilidad de las personas con las cuales van a interactuar? Este desafío implica para investigadores e ingenieros un trabajo a la vez sociológico, para articular en detalle las razones de estas hostilidades, y pedagógico, para explicar que su objetivo es construir máquinas más humanas que las que nos rodean hoy y que, por lo tanto, más que una deshumanización, se trata de una humanización de la presencia de la tecnología en lo cotidiano.

EL RESPETO ÉTICO DE LA PERSONA

Además de que la sociedad pueda no acoger favorablemente a los robots, también se plantean importantes consideraciones éticas, sobre todo en el campo de la robótica de asistencia a las personas con discapacidad mental o física. Es el caso, por ejemplo, de la utilización de robots dentro del marco del autismo o del acompañamiento de personas de la tercera edad.

En ambos casos, hay fuertes razones que justifican el interés potencial de esos tipos de investigación y de tecnología. Sin embargo, también puede uno preguntarse si no existe un riesgo de que el vínculo social introducido gracias al robot contribuya a reducir aún



más el vínculo social efectivo con los demás humanos y, por ende, a reforzar a mediano plazo el aislamiento social de las personas así tratadas. Estas investigaciones y las aplicaciones asociadas plantean aquí desafíos éticos importantes.

Otro ejemplo de problemática ética tiene que ver con la robótica de reeducación física y de sustitución funcional. Buen número de proyectos de investigación están orientados a desarrollar aparatos robóticos que incluyen tecnologías potencialmente intrusivas para el cuerpo, y que tienen por objetivo ayudar a las personas que tienen alguna discapacidad física como consecuencia de un accidente a recuperar la totalidad o parte de sus capacidades físicas. Si bien este tipo de tecnología tiene ventajas evidentes, también presenta sus riesgos tanto en el plano del daño físico de las personas como del respeto de su identidad y de su dignidad. ¿Cómo sopesar todas estas consideraciones para realizar una investigación responsable y luego introducir convenientemente este tipo de tecnología entre las herramientas terapéuticas estándar?

Un tercer ejemplo tiene que ver con la robótica androide. Algunos investigadores han desarrollado robots, llamados androides, que reproducen la apariencia humana tanto en términos de materia y de color como de movimientos, en particular para estudiar los comportamientos del humano. Algunas veces, estos androides son construidos a partir del modelo de una persona humana existente: ¿Es esto aceptable? ¿Puede uno razonablemente pensar en confrontar a las personas con ese tipo de robots?

Un último ejemplo es el de la robótica autónoma de uso militar. Muchos investigadores están trabajando en técnicas de navegación y de cartografía automática, de superación de obstáculos o de seguimiento de objetivos visuales. Aunque existen numerosas aplicaciones

potenciales pacíficas de estas técnicas, las aplicaciones militares son bastante más frecuentes en la práctica. Sin embargo, se presta muy poca atención a las aplicaciones potenciales de estas investigaciones que, naturalmente, plantean importantes interrogantes éticos.

RECONCILIAR IMAGINARIO Y REALIDAD

La robótica es un campo muy explorado por las obras de ficción, en general mucho antes de las investigaciones científicas y técnicas. Las ficciones occidentales y las orientales difieren considerablemente en la manera de presentar los robots: mientras que en las historias occidentales suelen ser la causa de grandes catástrofes, en las historias asiáticas, por el contrario, suelen ser los salvadores de la humanidad. Estas diferencias están arraigadas en la historia, las mitologías, la cosmogonía y las tradiciones religiosas de estas dos partes del mundo. No obstante, estos dos universos de ficción presentan dos grandes similitudes: 1) han tenido y tienen un impacto muy importante en el imaginario popular; 2) están muy lejos del estado de la realidad tecnológica en la cual trabajan actualmente investigadores e industriales.

En efecto, mientras que en las historias de ficción los personajes centrales son robots dotados de inteligencia casi humana que saben hablar, desplazarse y manipular su entorno como seres vivos, los robots reales, por el contrario, carecen de los medios necesarios para hacer frente a la complejidad y a la variabilidad de los entornos domésticos. Están aún muy lejos de poder sobrevivir física y funcionalmente en nuestras casas y durante las interacciones con humanos no complacientes. Y esta lejanía entre el imaginario colectivo y la realidad es muy problemática, puesto que la sociedad, cuando evalúa la llegada de los robots a nuestra vida diaria, centra su atención en asuntos que no

serán pertinentes sino, tal vez, dentro de centenares de años, y deja sin tratar o deforma con el prisma de la ficción otros temas más urgentes e igualmente importantes relativos a los desafíos éticos o a los usos que queremos dar a los robots a corto y mediano plazo. La reducción de esta distancia entre el imaginario popular, la ficción y la realidad de la robótica constituye también un desafío esencial de los años venideros.

EL LUGAR DE LOS ROBOTS EN LA SOCIEDAD

El futuro de la robótica y de su impacto en la sociedad está casi todo por construir. Aunque algunos trabajos de investigación y algunos robots ya comercializados exploran funcionalidades como el trabajo en las fábricas, la exploración espacial, la realización autónoma de oficios domésticos o la asistencia a la persona, es importante preguntarse si estos usos le convienen a nuestra sociedad o si son los más útiles para ella. Todavía es bastante posible redefinir estos usos e inventar unos nuevos: ¿qué es lo que realmente queremos hacer con los robots? En efecto, la decisión sobre los usos que están siendo explorados por la mayoría de los investigadores y de las industrias en la actualidad está en un punto donde convergen nuestro imaginario y los intereses científicos, industriales y económicos. Pero ¿es este el interés de los usuarios, es decir de la sociedad?

Por ejemplo, numerosos robots han sido concebidos para reemplazar al hombre en ciertos tipos de tareas y de entornos: es el caso de los robots obreros, de los robots agrícolas, de los robots aspiradoras, y hasta de los robots enfermeros que están siendo desarrollados en Corea del Sur o en Japón. Aunque muchas de

estas tareas sean a veces aburridas o fatigantes, ¿queremos realmente que los robots nos reemplacen? Además de que esto cambia el paisaje de los empleos, haciendo que algunos desaparezcan y creando otros más calificados (pero para personas diferentes), esta tendencia puede extrapolarse fácilmente y se podría imaginar un futuro en el cual la mayoría de nuestras actividades físicas cotidianas estén reducidas a un mínimo gracias al trabajo de los robots. De hecho, podríamos llegar a una situación similar a la que viven los humanos en la película *Wall-e*⁷: una vez que los robots los reemplazaron en todas sus tareas físicas, incluso la de alimentarse, fueron incapaces de utilizar sus cuerpos. Así, su situación resulta muy poco envidiable, y la privación de actividad física y cotidiana tiene consecuencias muy negativas sobre el plano mental. Esta visión imaginaria aún está muy lejos, pero nos muestra las direcciones que podría tomar la robótica hoy.

Más que para reemplazar al hombre, se podrían inventar usos en los cuales los robots más bien acompañen, enriquezcan y estimulen al humano en su vida diaria. Hoy en día, los robots para el acompañamiento social e intelectual y para el entretenimiento son considerados mucho menos serios que los robots trabajadores; sin embargo, podrían quizá corresponder a usos más provechosos para la sociedad a largo plazo. En cualquier caso, parece fundamental que los usuarios y la sociedad en general participen de manera directa en la elaboración y determinación de los nuevos robots y sus usos, con el fin de que estos últimos sean elegidos y no impuestos por una dinámica científica, industrial y económica. Ese es probablemente uno de los más grandes desafíos de la robótica.

7 Película animada de los Estados Unidos, dirigida por Andrew Stanton, estrenada en 2008.



REFERENCIAS

Désaunay, Cécile (2013). "La fin des conducteurs ?", en *Futuribles*, n° 394, mayo-junio de 2013, p. 108-110.

Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles, mayo de 2013. Disponible en [http:// www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/](http://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/)

Automated_Vehicles_Policy.pdf. Consultado el 31 de enero de 2014.

Rivaton, Robin (2012). *Relancer notre industrie par les robots (1): les enjeux*, y *Relancer notre industrie par les robots (2): les stratégies*, París: Fondapol, diciembre de 2012.

World Robotics, 2013.