

TELEPRESENCIA

Marvin Minsky

Revista OMNI, junio de 1980

EDITOR: Enseñar a las máquinas a pensar por sí mismas es lo que Marvin Minsky hace mejor. Como fundador del laboratorio de inteligencia artificial del MIT, Minsky dirige uno de los principales grupos de investigación del mundo en informática y robótica. En este ensayo exclusivo, el cibercientífico de Cambridge propone un plan de 20 años que aliviará los dolorosos efectos secundarios de la civilización moderna.

Te pones una chaqueta cómoda forrada con sensores y motores musculares. Cada movimiento de tu brazo, mano y dedos se reproduce en otro lugar mediante manos móviles y mecánicas. Ligeras, diestras y fuertes, estas manos tienen sus propios sensores a través de los cuales puedes ver y sentir lo que está sucediendo. Con este instrumento, puedes "trabajar" en otra habitación, en otra ciudad, en otro país o en otro planeta. Tu presencia remota posee la fuerza de un gigante o la delicadeza de un cirujano. El calor o el dolor se traducen en sensaciones informativas pero tolerables. Tu trabajo peligroso se vuelve seguro y agradable.

Las toscas máquinas robóticas de hoy en día pueden hacer poco de esto. Sin embargo, al construir nuevos tipos de manecillas mecánicas versátiles y controladas a distancia, podríamos resolver problemas críticos de energía, salud, productividad y calidad ambiental, y crearíamos nuevas industrias. Puede llevar de 10 a 20 años y costar un billón de dólares, menos que el costo de un solo túnel urbano o reactor de energía nuclear o el desarrollo de un nuevo modelo de automóvil.

Para transmitir la idea de estas herramientas de control remoto, los científicos a menudo usan las palabras "teleoperador" o "telefactor". Prefiero llamar a esto "telepresencia", un nombre sugerido por mi amigo futurista Patrick Gunkel. La telepresencia enfatiza la importancia de la retroalimentación sensorial de alta calidad y sugiere instrumentos futuros que se sentirán y funcionarán tanto como nuestras propias manos que no notaremos ninguna diferencia significativa.

La telepresencia no es ciencia ficción. Podríamos tener una economía a control remoto para el siglo XXI si comenzamos a planificar ahora. El alcance técnico de tal proyecto no sería mayor que el de diseñar un nuevo avión militar.

Un sistema de telepresencia genuino requiere nuevas formas de sentir los diversos movimientos de las manos de una persona. Esto significa nuevos motores, sensores y actuadores livianos. Los prototipos serán complejos, pero a medida que los diseños maduren, gran parte de esa complejidad pasará del hardware al software de computadora que se copia fácilmente. Los primeros diez años de investigación de telepresencia verán el desarrollo de instrumentos básicos: geometría, mecánica, sensores, efectores y teoría de control y su interfaz humana. Durante la segunda década trabajaremos para hacer que los instrumentos sean resistentes, confiables y naturales.

Three Mile Island realmente necesitaba telepresencia. Estoy horrorizado por la incapacidad de la industria nuclear para hacer frente a lo inesperado. Todos vimos la inflexibilidad absurda de la tecnología actual para manejar el daño y hacer reparaciones en ese reactor. Los técnicos aún esperan realizar una inspección exhaustiva de la planta dañada y absorber la dosis permitida de radiación de un año en solo unos minutos. El costo de reparación y las pérdidas de energía serán de un billón; la telepresencia podría haber reducido este gasto a unos pocos millones de dólares.

El gran problema hoy es que las plantas nucleares no están diseñadas para la telepresencia. ¿Por qué? La tecnología sigue siendo demasiado primitiva. Además, las plantas ni siquiera están diseñadas para acomodar la instalación de telepresencia avanzada cuando esté disponible. ¡Un círculo vicioso!

Quizás hayas visto el estilo actual de armas de control remoto utilizadas en instalaciones nucleares. Son un poco mejores que los alicates: no pueden hacer muchas cosas que puedes hacer con tus propias manos. Cualquiera puede comprar un simple manipulador remoto de estantes. Generalmente consiste en una unidad de entrada para que el operador controle y un dispositivo de salida que hace el trabajo. Por lo general, la entrada es un asa unida a un enlace articulado tipo brazo. Cuando aprieta el mango, una pinza se cierra en la salida. Pero ningún dispositivo de este tipo demuestra una verdadera telepresencia. Es posible que la pinza remota imite el movimiento de tu mano, pero el brazo remoto no sigue la curva de tu brazo, por lo que no siempre puede sortear los obstáculos. La dinámica no es natural, y los diseños escatiman en muchos movimientos de hombro, codo y muñeca. Las manos tienen muñecas antinaturales. Las pinzas convencionales pueden pellizcar o sujetar, pero no pueden torcer, cortar, girar o doblar. No pueden usar tijeras comunes. En cambio, alguien debe quitar la mano y reemplazarla con una herramienta especial para esa tarea en particular.

Si la gente tuviera un poco más de coraje ingeniero y tratara de hacer que estas manos se parecieran más a las manos humanas, siguiendo el modelo de la fisiología de la palma y los dedos, podríamos hacer que las plantas de reactores nucleares y otras instalaciones peligrosas sean mucho más seguras.

Mi primera visión de una economía a control remoto provino de la novela profética de 1948 de Robert A. Heinlein, "Waldo". Supongo que Heinlein había escuchado sobre la miastenia gravis, una enfermedad que causa debilidad muscular profunda. Su héroe, Waldo, un joven rico, la padecía. Entonces Waldo construyó un satélite e inventó dispositivos de telepresencia; él podía yacer allí en gravedad cero y operar sus inventos sin esfuerzo. Waldo creó docenas de manos mecánicas, algunas simplemente de tamaño de puños de mono, algunas de micrómetros; manipuló otras tan grandes que cada "mano" se extendía seis metros del dedo al pulgar. Las manos imitaban todo lo que hacía; él pasaba todo su tiempo en el espacio operando fábricas en la Tierra. Treinta años después de que escribió Waldo, Heinlein tuvo muchas sugerencias para este artículo.

El desarrollo de la telepresencia implicará problemas científicos y de ingeniería difíciles, pero creo que debemos seguir adelante. Los dispositivos actuales son tan torpes que se usan solo cuando nada más funciona. Sin embargo, una vez mejorada, la telepresencia nos traerá

- Generación segura y eficiente de energía nuclear, procesamiento de residuos y minería terrestre y marítima. La explosión de petróleo submarino en el Golfo de México el año pasado es el tipo de accidente que estoy convencido de que la tecnología de telepresencia podría haber ayudado a mitigar.
- Avances en los sistemas de fabricación, montaje, inspección y mantenimiento. Con la telepresencia, se puede trabajar tan fácilmente a miles de kilómetros de distancia como a unos pocos pies. El trabajo manual podría realizarse fácilmente sin salir del hogar. La gente podría formar "clubes de trabajo". Una región del mundo podría exportar las habilidades especializadas que tiene. En cualquier lugar. Un trabajador en Botswana o India podría comercializar sus habilidades en Japón o la Antártida.
- La eliminación de muchos peligros químicos y físicos para la salud y la creación de nuevas técnicas médicas y quirúrgicas. Si miniaturizamos la telepresencia para su uso en microcirugía, por ejemplo, los cirujanos podrían reparar o reemplazar muchos pequeños vasos sanguíneos en el cerebro. Otros órganos más allá del alcance del bisturí y el fórceps podrían repararse o sustituirse de manera similar.
- Reducción de tiempo y costos de energía. Una persona podría hacer diferentes trabajos en diferentes lugares. El transporte masivo podría ser reemplazado por vehículos eficientes controlados a distancia. Los dispositivos de telepresencia podrían reparar alcantarillas, conductos eléctricos y tuberías de agua desde el interior.
- La construcción y operación de estaciones espaciales de bajo costo. La telepresencia podría resultar invaluable para la construcción de satélites de energía solar, para acumular materiales en el espacio y suministros para la fuerza laboral humana. La telepresencia sería capaz de ensamblar varias estructuras orbitales.

La teleoperación eliminará las tareas peligrosas y desagradables. Hay muchos lugares aquí en la Tierra más peligrosos para nosotros que el espacio exterior. Las minas, por ejemplo. En una operación minera a control remoto, no hay personas que se vean afectadas. Un colapso o explosión no generaría más respuesta que: "Bueno, es muy triste. Hemos perdido seis robots". Podríamos extraer los depósitos de carbón de antracita de un metro de espesor que ahora se encuentran en formaciones que no podemos alcanzar, y los esquemas de refinación subterránea podrían ser factibles.

El mayor desafío para desarrollar la telepresencia es lograr esa sensación de "estar allí". ¿Puede la telepresencia ser un verdadero sustituto de lo real? ¿Podremos acoplar nuestros dispositivos artificiales de forma natural y cómoda para trabajar juntos con los mecanismos sensoriales de los organismos humanos?

Cuando cualquier trabajo se vuelve demasiado grande, pequeño, pesado o liviano para las manos humanas, se hace difícil distinguir la inercia y la elasticidad del instrumento de lo que está trabajando. La telepresencia podrá ajustar y compensar tales problemas, facilitando así el trabajo. Por ejemplo, un "minero" remoto podría cavar una costura estrecha sin tener que agacharse o gatear. Las máquinas incorporarán nuevas teorías sobre el patrón de percepción sensorial humano y el feedback para "reflejar" con precisión al usuario las sensaciones remotas modificadas.

Hemos hablado de la minería, pero no importa cuánto carbón extraigamos, nos guste o no, estamos volviéndonos dependientes de la energía nuclear. Incluso si se prohibiera en los Estados Unidos, no podemos evitar su proliferación en el extranjero. Los diseñadores nucleares intentan anticipar y evitar todos los modos de falla. Pero todos los reactores tienen el potencial de descomponerse: las altas temperaturas debilitan los materiales estructurales; los generadores aplican altas presiones a esas estructuras debilitadas y el daño por radiación dificulta la inspección, al tiempo que agrava el daño estructural y la corrosión.

Estos problemas obligan a los diseñadores a elegir entre dos extremos. Uno es construir cada parte con una resistencia monumental, para minimizar la exposición humana, y esperar que este sistema nunca falle; este es el enfoque favorito de los diseñadores de hoy. Pero al final, el colapso y el fracaso ocurren de todos modos, lo que requiere la intervención del hombre. Incluso una falla mínima apaga un reactor durante meses. Creo que el mejor extremo es construir sistemas modulares que permitan la inspección periódica, el mantenimiento y la reparación. La telepresencia evitaría las crisis antes de que pudieran surgir.

Si no hubiera nadie en los edificios, nadie estaría expuesto a la radiación. Entonces todos podríamos dejar de discutir sobre las dosis "tolerables" y "umbral". Si nada entra o sale del reactor, excepto por medio de máquinas de telepresencia, nadie puede robar nada. Las computadoras, o personas escépticas, pueden monitorear actividades inusuales en los canales de visualización. Esto permite pocas oportunidades de sabotaje y facilita la

combinación de generación de energía, procesamiento de combustible y gestión de residuos.

Podemos emplear la telepresencia en cualquier entorno ajeno a los humanos. La mayor parte de la tierra, por ejemplo, es océano; las "caminatas lunares" en el fondo del océano a dos millas de profundidad son técnicamente más difíciles de ejecutar que las caminatas lunares en la luna o Marte. Los "equipos de construcción" para el fondo marino operados de manera remota podrían evitar los peligros prohibitivos de la exploración tripulada, evitando el riesgo de barcos con problemas climáticos y torres traicioneras de extracción en la plataforma continental. La Oficina de Investigación Naval de EEUU tiene algunos proyectos de exploración de aguas profundas controlados a distancia, y eventualmente tales sistemas explorarán y extraerán petróleo y minerales de las profundidades marinas. Eventualmente, plantas industriales submarinas enteras podrían controlarse desde la superficie.

Ya hay algunos manipuladores submarinos. El sumergible Alvin, en Woods Hole, Massachusetts, es maravilloso, pero su manipulador se utiliza principalmente para recoger muestras. No podrías atar un nudo con él. Me gustaría ver uno que pueda hacer cualquier cosa que los dedos puedan hacer.

En el espacio, el sorprendente éxito de Vikings 1 y 2 muestra cuánto se puede hacer con el control remoto, incluso con retrasos de transmisión de todo el día. Sin embargo, la nave espacial vikinga tenía limitaciones patéticas. No había forma de reconfigurar el equipo para hacer uso de lo aprendido; se requirió una semana de planificación sin aliento solo para que Viking 2 volcara una piedra.

Creo que la mejor manera de explorar los planetas es tener personas en naves espaciales en órbita para operar telerobots en la superficie. Un Mars Rover con buenos manipuladores de telepresencia puede hacer excavaciones extensas, luego reconfigurar equipos científicos para explotar lo que se ha descubierto.

Piensa cuánto más podríamos haber aprendido con un vehículo permanente en la luna. El retraso de la velocidad de la luz de la Tierra-Luna es lo suficientemente corto para un control remoto lento pero productivo. Con un vehículo de telepresencia lunar que realiza recorridos cortos de un kilómetro por día, podríamos haber examinado un área sustancial de la superficie lunar en los diez años que han pasado desde que aterrizamos allí,

Una de las perspectivas más emocionantes para resolver nuestros problemas de energía es construir un anillo de satélites de energía solar en órbita alrededor de la Tierra. Luego, la energía solar segura y gratuita podría recolectarse y enviarse a los receptores ubicados cerca de nuestras ciudades. El principal problema es el costo: debemos colocar estructuras suficientemente grandes en el espacio para reunir suficiente luz solar, ya que cada estación requiere miles de hectáreas de reflectores y colectores. Y luego está el costo de enviar personas al espacio para construirlas.

La telepresencia podría ahorrar miles de millones de dólares al emplear manos controladas a distancia estacionadas en órbita y controladas por técnicos en la Tierra y en la luna. La mayor parte de la construcción satelital podría ser realizada por personas que trabajan en sus propios hogares y oficinas.

Para evitar el costo de elevar los satélites con cargas contra la poderosa gravedad de la Tierra, los científicos han estado ideando formas de fabricar y lanzar materiales directamente desde la luna o desde los asteroides. Sin embargo, construir tales instalaciones lunares sería increíblemente costoso si fuera realizado en su totalidad por hombres con trajes espaciales en la luna. En cambio, ¿por qué no utilizar mano de obra barata con base en la Tierra a través de la telepresencia para construir fábricas lunares? Imagina tener que ir no más allá de tu estudio para operar una grúa en Mare Imbrium. Solo necesitamos enviar máquinas de telepresencia en viajes económicos de ida.

El escenario incluye enviar 20 hombres y mujeres reales a la luna. No es muy difícil. Los Saturno 5 tienen el potencial de enviar un equipo de científicos e ingenieros con suministros para muchos meses. (¡Ojalá no tuvieran que traerlos de vuelta!) Así que transportamos un vehículo de regreso para su uso en emergencias. Luego enviamos viviendas más permanentes y, finalmente, el equipo de telepresencia superflexible necesario para construir las primeras instalaciones lunares. Las personas están allí para supervisar el trabajo y arreglar el equipo cuando sea necesario.

Un obstáculo importante para todo esto ha sido la incapacidad legal de la NASA para tratar conceptos tan profundos como la telepresencia. El programa espacial de EEUU está totalmente orientado a la misión. La NASA nunca obtiene asignaciones para hacer mejores manipuladores o dispositivos de navegación, como cosas en sí mismas. Aun así, los científicos del Centro de Investigación Ames, en California, lograron desarrollar una telepresencia sorprendente: un traje espacial controlado a distancia. Parece un traje espacial real; pones tu brazo en el traje maestro y el traje esclavo se mueve igual que tu brazo. Es un brazo extremadamente bueno, una imitación perfecta. Tu brazo se siente natural en él. Pero no tiene ninguna mano.

El transbordador espacial también tiene un brazo. Es muy largo y toma aproximadamente medio minuto completar cualquier movimiento. Pero no hay ninguna razón para apurarse. En gravedad cero, nada pesa nada; así que uno puede usar una tubería delgada y larga de 100 libras para mover una carga de diez toneladas muy lentamente. (Hay un simulador para esto en el Centro de Vuelo Espacial Marshall, en Alabama. Es un modelo del tanque de combustible del transbordador espacial: un globo de helio tan grande como una casa. Sentado en su hangar, no pesa nada. Cuando lo presionas, no se produce movimiento durante unos 30 segundos, pero luego comienza a moverse. Si te aferras a él, te levanta, y debido a que no tiene peso, puedes levantarlo con la mano, ¡pero tiene una masa de media tonelada!)

Si bien los brazos del transbordador son simplemente grúas de construcción glorificadas, son el comienzo de teleoperadores gigantes. En el otro extremo del espectro de tamaño, los biólogos han usado durante mucho tiempo micromanipuladores, pequeños teleoperadores. Pero ninguno de ellos tiene sensores. Si tuviéramos que miniaturizar la telepresencia para cirugía, podríamos desarrollar micromanos que reflejen el tacto en sondas delgadas que lleguen a través de los pasajes más estrechos de los vasos. Además, en el futuro, un cirujano podría dirigir un procedimiento semi inteligente, que incluya varias micropresencias simultáneas, para realizar reparaciones más pequeñas rápidamente.

Las primeras manos mecánicas crudas con control remoto se construyeron alrededor de 1947 en los Laboratorios Nacionales Argonne, en Illinois, para manipular productos químicos peligrosos. En 1954, el difunto Ray Goertz, científico de Argonne, desarrolló manos en las que los motores eléctricos "reflejaban" algunas de las fuerzas hacia atrás para que el operador pudiera sentir algo de lo que estaba sucediendo, al menos resistencia y presión, si no texturas. Paradójicamente, las primeras telepresencias podían transmitir el sentido del tacto mejor que los modelos eléctricos posteriores, porque usaban cables y poleas rígidamente vinculados. Los motores eléctricos posteriores eran más fuertes y podían funcionar a distancias mayores, pero perdieron ese sentido del tacto que se tenía con los cables. Los modelos más avanzados midieron las fuerzas en la salida y utilizaron motores adicionales para reflejar esas fuerzas de vuelta a las manos del usuario. Cuando la garra remota golpeaba algo, el control se hacía más difícil de empujar. Esto ayudó, pero la reflexión de la fuerza aún era inadecuada para realizar trabajos delicados.

Los pioneros como Goertz tenían la fantasía de construir mejores robots de varios tipos, y luego la gente se interesó en mi campo, la inteligencia artificial, es decir, hacer que los robots hicieran cosas inteligentes. Y conseguimos que hicieran cosas mecánicas simples, algunos trabajos de fábrica, como armar un motor. Pero siempre estaban discapacitados por esas terribles manos en garra.

Para crear telepresencias verdaderas, debemos suministrar canales sensoriales más naturales: tacto, presión, texturas y vibración. Debemos aprender qué defectos sensoriales son más tolerables. En 1958 Ralph Mosher, un ingeniero que trabajaba para General Electric, desarrolló una telepresencia, llamada Handiman, que tenía buena destreza y compensación. Tenía solo dos dedos, pero esos dedos tenían tres articulaciones para poder envolver cualquier objeto. Handiman podía levantar cientos de libras; te transformaba en un súper ser. Pero nunca se le dio un uso práctico. Posteriormente, Mosher hizo una versión más simple que le permitía sentarse en su silla y recoger refrigeradores.

Otro gran manipulador fue diseñado y construido a finales de los años cincuenta como parte de un proyecto para construir aviones nucleares. Pero el Congreso finalmente decidió que este avión, diseñado para permanecer en el aire durante un año sin aterrizar, no sería seguro.

Aunque se ha hecho poco trabajo desde los años cincuenta, ahora existen algunos manipuladores experimentales más versátiles. El Laboratorio Electrotécnico, en Tokio, ha creado una mano de tres dedos y 12 articulaciones que puede hacer rodar un bastón. Pero eso es todo lo que puede hacer. Un grupo de la Universidad de Stanford inventó un tentáculo largo con forma de serpiente que puede envolver objetos. Una vez construí un brazo de 14 articulaciones y múltiples codos que puede alcanzar fácilmente las cosas en su camino. Pero ningún proyecto tiene los recursos para llevar tales sistemas a la perfección práctica.

Creo que deberíamos hacer telepresencias que se comparen bien con la mano humana: un dispositivo de cinco dedos capaz de imitar movimientos naturales. Debería ser móvil. Luego, podríamos adaptar diseños y conceptos desde el brazo para hacer las piernas, produciendo un sistema capaz de trabajar donde la gente pueda, no solo en pisos cuidadosamente preparados.

Para controlar dicho instrumento, también queremos una funda ligera y bien articulada que incluya efectores para reflejar las sensaciones. Esto requerirá materiales avanzados y nuevos dispositivos de imitación muscular; para la retroalimentación visual, necesitaríamos sondas delgadas de fibra óptica articuladas para emular los movimientos de la cabeza y los ojos del operador. Probablemente querríamos tener algún tipo de ojo en los dedos.

Un ingeniero de Philco llamado Steve Moulton hizo un buen ojo de telepresencia. Montaba una cámara de televisión sobre un edificio y usaba un casco para que cuando moviera la cabeza, el ojo de la cámara en la parte superior del edificio se moviera, y también una pantalla de visualización conectada al casco. Con este casco, tienes la sensación de estar en la cima del edificio y mirar alrededor de Filadelfia. Si te inclinas, "es un poco espeluznante. Pero lo más sensacional que hizo Moulton fue poner una proporción de dos a uno en el cuello para que cuando giras la cabeza 30 grados, el ojo montado gira 60 grados; ¡sientes como si tuvieras un cuello de goma, como si pudieras girar completamente tu "cabeza"!

¿Por qué la telepresencia dejó de evolucionar hace 20 años? Una razón es que los fondos de investigación disminuyeron mientras que los costos aumentaron. Para 1960, ningún laboratorio podía darse el lujo de dar otro paso. Pero una razón más fundamental para este estancamiento es que los ingenieros son demasiado listos para resolver problemas inmediatos. Esto ha llevado a una repetición interminable del mismo escenario: una aplicación necesita un mejor manipulador, por ejemplo, para unir dos tuberías; una mano mecánica existente ayudaría, pero solo si tuviera otra articulación en uno de sus dedos. Se debe agregar otro canal de control, diseñar un nuevo sensor y dispositivo de retroalimentación de entrada, modificar un programa de microcomputadora, volver a capacitar a los operadores y rediseñar las herramientas más antiguas. Todo esto pone enormes tensiones en el presupuesto de una empresa. Finalmente, las conexiones de tubería son rediseñadas para que la mano vieja y torpe las pueda manejar.

Un buen ingeniero de producción puede resolver casi cualquier problema específico utilizando una plantilla especial, fabricando una pieza nueva, desarrollando una herramienta especial para la mano o reemplazando la mano con una herramienta especial. Ciertamente, cada problema se resuelve, pero la tecnología en general se vuelve anticuada y pasa desapercibida, hasta que ocurre un accidente como el de Three Mile Island o el derrame de petróleo mexicano y descubrimos que no hay forma de cambiar o reemplazar una válvula desde lejos.

Varias compañías importantes han estado involucradas en la investigación de telepresencia de vez en cuando, AMF Hughes, General Mills, IBM y otras, aunque ninguna de ellas ha alcanzado la "masa crítica". Muchas empresas más pequeñas poseen habilidades más valiosas: Unimation, Laboratorios centrales de investigación, Programadas y remotas, y otras. La Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa, trabajando con el ejército, una vez apoyó el trabajo en trajes blindados con motor, como los de los soldados de la nave espacial de Heinlein, pero el trabajo fue abandonado. Los trabajadores universitarios han tenido muchas buenas ideas, diseños y prototipos, pero nunca pudieron permitirse el lujo de diseñar sistemas completos. Hay proyectos importantes en Carnegie, MIT, Jet Propulsion Laboratory, en la Universidad de Stanford y en varios otros laboratorios universitarios.

Parte del problema ha sido que la telepresencia nunca ha sido el bebé de nadie; tal proyecto exige centralización. Requiere especialistas imaginativos en sensores efectores, teoría de control, inteligencia artificial, software, ingeniería, psicología e instalaciones de primera clase para ingeniería mecánica y eléctrica y ciencia de materiales. Necesitará recursos sólidos para la computación interactiva y para la simulación física en tiempo real.

Sería difícil reunir una organización así en la atmósfera actual de tiempos de paz. Lo que necesitamos es una liga moderna de centros de trabajo conectados por una red informática. Dicha red contendría un banco de datos central en algún lugar de los Estados Unidos, combinando recursos administrativos y de ingeniería que necesitan centralización. Tal vez podría haber centros de computación cerca de universidades o ubicaciones industriales, trabajando juntos a través de redes de comunicaciones como ARPANET (la red de conferencias de computadoras de la comunidad de inteligencia artificial).

No puedo imaginar a nadie dudando de que la telepresencia sea posible. Se trata de resolver muchos problemas que son difíciles, pero no imposibles. En el área mecánica, las mismas cosas se han hecho repetidamente; los ingenieros pasan su tiempo discutiendo sobre qué tipo de muñeca es mejor. Algunos piensan que la muñeca debería dar vueltas y vueltas, girando para siempre, especialmente en un robot que usa un destornillador. Eso está bien para los robots industriales, pero no tiene mucho sentido para una telepresencia, porque no puedes girar tu propia muñeca para controlarla.

Se han realizado algunas investigaciones en la psicología de la percepción espacial, en términos de controles de retroalimentación y la interrelación entre la electrónica y el

sistema nervioso humano. Hay un dispositivo, por ejemplo, que puede traducir la impresión en "tacto", desarrollado por J. C. Bliss y J. G. Linvill, en Stanford, que permite a los ciegos leer material impreso convencional. Es un dispositivo que se adapta cómodamente a la punta de tus dedos y tiene muchas fotocélulas en miniatura para detectar la luz y muchos pequeños vibradores que permiten que el dedo detecte de forma remota la fina forma de las letras. En mi propio laboratorio, el estudiante graduado Danny Hillis recientemente fabricó un material delgado, similar a la piel, que puede "sentir" y transmitir pequeñas características de superficie táctil.

Alguien podría desarrollar dispositivos similares para la telepresencia, por ejemplo, patrones vibratorios que transmitan las sensaciones de "calor" o "frío". Sin embargo, se sabe muy poco sobre las sensaciones táctiles. Me parece bastante irónico que ya tengamos un dispositivo que pueda traducir lo impreso en tacto, pero que no tengamos nada que pueda traducir la sensación en tacto.

Eventualmente, la telepresencia mejorará y salvará trabajos viejos y creará nuevos. Más adelante, a medida que aprendamos más sobre robótica, muchos operadores de telepresencia humana podrán entregar sus tareas a los robots y convertirse en "supervisores". A la larga, dado que cada paso hacia la telepresencia es un paso hacia los robots, los sensores de telepresencia y los dispositivos de salida pueden ser controlados por computadoras y no por personas, lo que se vuelve inevitable a medida que aprendemos más sobre la inteligencia artificial.

Las computadoras equipadas con manos y ojos artificiales realmente han agarrado y movido objetos de acuerdo con comandos verbales. Se montó un rodamiento de precisión complicado en el MIT, se ensambló una bomba completa en Stanford; se construyó un automóvil de juguete en Edimburgo, Escocia. Se ha realizado un trabajo similar en SRI International. Estos programas de laboratorio son demasiado poco confiables para su uso práctico porque, aunque podemos hacer muchas cosas con las computadoras, no podemos hacer que hagan muchas cosas que cualquier niño puede hacer. Algún día nuestras máquinas podrían hacer todo nuestro trabajo por nosotros, pero eso está muy lejos, y necesitaría otro artículo completo para comenzar a explicar los problemas.

Si la tecnología de teleoperadores promete riqueza y libertad más allá de los sueños, ¿hay un lado oscuro? Las personas que emiten manifiestos deberían pensar en tales asuntos. La solución puede ser otorgarles a quienes deseen vivir en las "viejas formas" su oportunidad, mientras que quienes deseen nuevos avances también deberían tener la suya. Creo que los avances prometen vidas mejores, más ricas y más largas. Sin embargo, ¿podría la telepresencia tener una tendencia especial a hacer que los trabajadores se sientan alienados? Quizás, sí, incluso con una tecnología excelente. Muchos trabajos se volverán intensamente más interesantes y más creativos; muchos mundos se expandirán.

Si cada paso hacia la telepresencia fuera también un paso hacia el dolor económico y el dolor psíquico del desempleo, uno podría considerar trabajar en su contra. Sin embargo,

una generación de reformas ya está eliminando muchos de los trabajos inseguros que la telepresencia podría preservar. La telepresencia ofrece un mercado más libre para las habilidades humanas, lo que hace que cada trabajador sea menos vulnerable a los estados de ánimo y la fortuna de un empleador

Finalmente, en un sentido extraño, la cuestión del "desempleo tecnológico" puede volverse discutible. Hoy en día, muchos jóvenes consideran degradante estar vinculado a un solo empleador, ocupación o incluso cultura. Quizás muchos de nosotros sentimos, al menos en cierto nivel, que poco de lo que hacemos realmente necesita hacerse. Nuestras actitudes sobre el trabajo, sobre cambiar la calidad del mismo, dependen tanto de nuestras propias disposiciones y nuestras alternativas como de los trabajos mismos. En efecto, la mayoría de nosotros ya nos sentimos tecnológicamente desempleados.

§§§§§

Postdata: del Servicio Exterior de Telégrafos de Londres

"PARÍS: el gobierno francés autorizó a Electricite de France, la central eléctrica francesa de generación de electricidad, para que continúe cargando dos nuevas centrales nucleares con combustible de uranio enriquecido. La aprobación se produjo a pesar de la detección [en 1978] de grietas de varios milímetros de ancho en las placas terminales de los generadores de vapor y en los tubos que los conectan a los reactores.

La existencia de las grietas primero fue revelada por ingenieros nucleares que señalaron que una vez que los reactores entren en funcionamiento, las reparaciones serían imposibles por falta de equipo robótico apropiado. Francois Kosciusko-Morizet, director gubernamental de calidad y seguridad industrial, respondió que los defectos fueron examinados cuidadosamente y se descubrió que eran superficiales. En la peor de las hipótesis, las grietas no darían problemas durante cinco a seis años, momento en el que las reparaciones serían fáciles, dijo, ya que desde 1981 en adelante, Francia tendría robots capaces de reparar tales defectos automáticamente.

Dado que Francia está caminando por la cuerda floja de la posible escasez de energía y Electricite de France ha advertido que pueden ser necesarios posibles cortes de energía, el gobierno ha decidido que el riesgo económico de retrasar el cronograma de generación de electricidad al reparar las grietas del reactor ahora es mayor que el peligro de accidentes graves más tarde".

§§§§§

Mi trabajo en inteligencia artificial se desarrolla en un mundo tan ficticio como científico. Este ensayo utilizó sugerencias específicas de Isaac Asimov, Robert A. Heinlein, Carl Sagan, Brian O'Leary, Edward Purcell y muchos otros.

Para obtener más detalles técnicos, recomiendo *Sistemas remotamente tripulados*, editado por Ewald Heer (Caltech, 1973), y *Aplicaciones de factores humanos en el diseño y operaciones de teleoperadores*, por E. G. Johnsen y W. R. Corliss (Wiley, 1971). Para una discusión sobre máquinas inteligentes, véase M. Minsky, "Computer Science and the Representation of Knowledge", en *The Computer Age: A Twentieth Century View*, editado por M. Dertouzos y J. Moses (MIT 1979).

El artículo publicado incluía una fotografía de Dan McCoy de Marvin Minsky y su brazo mecánico de 14 articulaciones, tres codos, controlado por computadora, con músculos hidráulicos.

[In memoriam, 2001: este ensayo fue publicado en Omni porque Kathy Keeton Guccione, su fundadora, captó instantáneamente estas ideas y sugirió que Omni podría llegar a más lectores que cualquier revista técnica. Fue una fuente inagotable de apoyo para la investigación espacial y otras ciencias lejanas, y una amiga que una legión de escritores echará de menos.]