Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

CONTROL ELECTRONICO DEL CEREBRO

Por JOSE M. RODRIGUEZ DELGADO

EL HOMBRE MODERNO tiene a su disposición una gran cantidad de controles electrónicos con los que es posible iluminar la oscuridad, comunicarse a distancia, o lanzar en órbita vehículos espaciales. Los niños controlan sus trenes eléctricos y sus juguetes robotizados, mientras que los adultos pulsan las teclas de ordenadores y los mandos de máquinas gigantescas. La técnica actual ha multiplicado el poder de los sentidos, la fuerza muscular, la memoria y la inteligencia humana.

Progresivamente vamos extendiendo las fronteras de nuestra acción, consiguiendo dominar los elementos naturales, creando los espacios y climas artificiales de las viviendas y encadenando las fuerzas atómicas en reactores que producen la enorme energía que mueve turbinas y fábricas. Los controles por radio han puesto al alcance de nuestra mano los más remotos lugares de la tierra y ya ha comenzado el asombroso portento de manejar los instrumentos depositados en la superficie lunar o en espacios planetarios.

JOSE MANUEL RODRIGUEZ DELGADO, Doctor en Medicina, ha sido durante más de 20 años Profesor de Fisiología en la Universidad Norteamericano de Yale. Actualmente es Director del Departamento de Fisiología en la Universidad Autónoma de Madrid y dirige también la Investigación en el nuevo Centro Ramón y Cajal. Ha publicado más de 250 trabajos. Su libro «Control Físico de la Mente» ha sido traducido a siete idiomas.

* BAJO la rúbrica de «Ensayo» el Boletín Informativo de la Fundación Juan March publica cada mes una colaboración original y exclusiva de un especialista sobre un aspecto del tema general que se aborda a lo largo del año. Anteriormente fueron objeto de estos ensayos temas relativos a la Ciencia, el Lenguaje, el Arte, la Historia y la Prensa. El tema elegido para 1977 ha sido la Biología.

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

Al creciente control del mundo exterior empieza a sumarse el control electrónico del mundo interior de nuestra biología: los brazos paralizados pueden moverse por activación eléctrica de sus músculos, los esfínteres defectuosos pueden volver a funcionar y el propio corazón tiene su ritmo dirigido por marcapasos electrónicos salvando así miles de vidas humanas.

No es de extrañar por lo tanto que los hombres de ciencia estudien la creación y el perfeccionamiento de una serie de instrumentos para estudiar los mecanismos naturales y poder introducir controles artificiales en el sistema nervioso central. Esta tecnología puede tener una gran transcendencia, puesto que el cerebro dirige nuestro cuerpo y nuestra mente.

Ya empezamos a conocer el funcionamiento biológico de la memoria, la neuroquímica de las emociones y la neurofisiología de la personalidad. Por telemetría se ha registrado la actividad eléctrica de cada neurona mientras el sujeto experimental —mono u hombre— siente, piensa o habla. Estos datos nos permiten investigar los códigos secretos de comunicación interneuronal, las fórmulas simbólicas de recepción sensorial y las órdenes de acción. Los movimientos, la conducta y las relaciones sociales de ratas, gatos y monos empiezan a ser dirigidos por control remoto, mediante mensajes enviados por radio.

Estos resultados además de su indudable interés científico y médico abren incógnitas que hay que contestar. ¿Es posible que animales —y quizás seres humanos— actúen como robots, obedeciendo los botones de un radio estimulador cerebral? ¿Podemos someter los instintos, los deseos y los pensamientos al mando artificial de la electrónica? ¿Pueden controlarse las funciones mentales por manipulación eléctrica de las neuronas? ¿Cuáles son los límites técnicos de esta metodología? ¿Cuáles son los principios éticos que han de regir los estudios en animales y la aplicación médica de estos nuevos procedimientos?

METODOLOGIA PARA EXPLORAR EL CEREBRO

Para investigar y dirigir el funcionamiento de estructuras intracerebrales es necesario establecer comunicación electrónica a través del cráneo y de la piel. Estas técnicas se desarrollaron en animales, principalmente en gatos y monos, iniciándose en Suiza por el Profesor Rudolf Hess

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

en el decenio 1930-1940 y perfeccionándose durante el decenio 1950-1960 en los Estados Unidos, principalmente en nuestro Laboratorio de la Universidad de Yale. Hoy día los electrodos cerebrales implantados tienen amplia difusión en los centros de investigación neurológica del mundo entero.

Su fundamento es el siguiente: De modo parecido a como se puede navegar sin visibilidad, siguiendo un sistema de referencias geográficas y de faros electrónicos, es posible orientarse a ciegas dentro del cerebro, tomando como puntos de referencia estructuras identificables por rayos X, como son las comisuras anterior y posterior, el plano sagital interhemisférico y la porción ósea del oído. De acuerdo con estas coordenadas «estereotáxicas» se introducen haces de electrodos con contactos que terminan en estructuras nerviosas preseleccionadas. La operación quirúrgica es relativamente sencilla pues basta abrir un pequeño orificio en la piel y en el cráneo, a través del cual se introducen los electrodos, guiados por refinados micro manipuladores y visualizados radiológicamente. De esta manera se implantan desde media docena hasta más de cien contactos en el sujeto en estudio que puede ser un animal de experimentación o un enfermo en tratamiento. Los electrodos cerebrales terminan en un diminuto casquillo situado por fuera de la piel de la cabeza para conectar al sujeto con aparatos de registro o de estimulación.

La presencia de terminales electrónicos en la cabeza tiene una serie de inconvenientes, entre los que están el riesgo de infección, por lo que para estudios o para tratamientos de larga duración se han desarrollado estimuladores diminutos construidos con «chips» microscópicos que se colocan fijados al cráneo bajo el cuero cabelludo. Así se establece una comunicación transdérmica con el cerebro pudiéndose enviar y recibir mensajes electrónicos de manera indefinida por radio, a través de la piel intacta.

Hasta hace poco, las personas sólo podían recibir información a través de los sentidos y sólo podían relacionarse con el mundo exterior a través de la musculatura y de la voz. Las técnicas transdérmicas han abierto nuevas facultades extrasensoriales o parasensoriales añadiendo así funciones que no existían en la biología del pasado.

ESTIMULACION ELECTRICA DEL CEREBRO

Hoy día está bien demostrado que muchas funciones corporales pueden ser controladas por estímulo eléctrico

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

de estructuras cerebrales determinadas. Los resultados incluyen actividades vegetativas, como son la secreción gástrica, el ritmo cardiaco y la actividad respiratoria, respuestas motoras como son flexiones y extensiones de los miembros, diversas clases de conducta tanto individual como social y manifestaciones mentales desde alucinaciones hasta cambios de humor y de afecto. Los siguientes ejemplos son representativos de las respuestas evocadas por estimulación cerebral.

1. *Ritmo cardiaco:* En la base del cerebro, en la zona del 4° ventrículo, existen centros que juegan un importante papel regulador de las funciones cardiovasculares, recibiendo continuamente información de una serie de detectores de presión situados en puntos estratégicos del sistema arterial y enviando órdenes para el ajuste de los latidos del corazón y de la vasomotilidad del organismo. Núcleo caudado, hipotálamo, 4° ventrículo y otros centros, están en continuo equilibrio dinámico, por lo que el estímulo eléctrico de cualquiera de ellos puede modificar de manera previsible las funciones del corazón y la motilidad vascular.

En el gato y en el mono la estimulación del núcleo caudado puede producir una parada momentánea del corazón, seguida de una lentificación del ritmo cardiaco durante varios segundos.

Reducción en la fuerza de contracción cardiaca, disminución en la velocidad de conducción del corazón, diversos tipos de extrasístoles auriculares y ventriculares y otras modificaciones en la fisiología cardiaca, pueden inducirse por estímulo de zonas específicas cerebrales. Por el contrario se puede producir una taquicardia y un aumento de la presión arterial por excitación de zonas hipotalámicas.

Estos estudios prueban la realidad fisiológica de que es el cerebro el que controla el corazón y no a la inversa.

2. *Respuestas motoras:* Un experimento que suelen hacer los estudiantes de medicina es estimular la corteza motora de un perro anestesiado y ver como se producen contracciones musculares en las extremidades del lado opuesto del animal, demostrando así la localización de movimientos en el área 4 de la corteza cerebral.

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

Recientemente estos estudios pueden realizarse en gatos, monos y otros animales preparados con electrodos implantados en el cerebro. De esta manera pueden ser estimulados en ausencia de anestesia, durante su vida normal, obteniéndose así una gama mucho mayor de respuestas motoras que tienen características semejantes a las actividades espontáneas de los animales. Por ejemplo, en el gato, la estimulación eléctrica de la corteza motora del lado derecho produce una flexión de la pata trasera izquierda con una amplitud de movimiento proporcional a la intensidad aplicada. El movimiento comienza despacio, se desarrolla suavemente y se completa en unos dos segundos durando hasta el final de la estimulación. Esta respuesta se repite tantas veces como se estimule el cerebro y se acompaña de un ajuste en la postura del cuerpo entero incluyendo el bajar la cabeza, levantar la pelvis y ligera desviación del cuerpo hacia la izquierda para mantener el equilibrio solamente en tres patas. Estas estimulaciones eléctricas no producen ninguna alteración emocional y los gatos suelen mostrar un afectuoso rum-rum frotando la cabeza contra la mano del experimentador en busca de caricias.

En el mono la estimulación eléctrica de zonas motoras cerebrales produce movimientos contralaterales análogos a los observados en el gato. Por ejemplo la estimulación de la fisura rinal en el lóbulo temporal, produce apertura de la boca y una lenta y progresiva elevación del brazo contralateral hasta alcanzar la altura de la cara. El efecto no va acompañado de miedo ni de hostilidad, y no interrumpe el comportamiento espontáneo, ni los actos de andar, trepar o comer. Los movimientos provocados a los espontáneos se coordinan influyéndose mutuamente y la respuesta final es un compromiso entre ambos.

Dependiendo de la zona, la estimulación cerebral puede inducir la mayoría de los movimientos simples observados durante el comportamiento espontáneo de los animales, tales como fruncir el entrecejo, abrir o cerrar los ojos, enseñar los dientes como en una sonrisa, abrir o cerrar la boca, sacar la lengua, masticar, mover las orejas, emitir vocalizaciones, girar, inclinar, flexionar o extender la cabeza o el cuerpo, flexionar, extender o rotar las extremidades. En resumen la mayoría, o quizás todos los movimientos simples pueden ser inducidos artificialmente mediante la estimulación eléctrica de estructuras cerebrales determinadas.

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

Respecto a los movimientos más complejos, hay que tener en cuenta que las actividades normales se componen de una sucesión de actos diferentes bien coordinados en el espacio y en el tiempo. Para andar, por ejemplo, hay que hacer progresar al cuerpo mediante flexión y extensión rítmica de las extremidades, lo que requiere un refinado control de las fuerza, amplitud y velocidad de contracción de diferentes grupos musculares, con una coordinación y organización dirigidas a la realización de un acto determinado. Además es necesario adoptar posturas adecuadas y realizar movimientos correctores con todo el cuerpo.

Dirigir el acto de andar mediante excitaciones eléctricas sería una tarea formidable, requiriendo el estímulo de más de cien músculos, con intensidades diferentes y cambiantes, con complicados circuitos de retroalimentación y de programación, y con la intervención de múltiples sensores, de reguladores de tiempo, de un gran número de estimuladores de ajuste instantáneo, de un ordenador de gran capacidad y rapidez, de un enjambre de cables, bajo la dirección de un equipo de técnicos, con la colaboración de un dócil animal además de una dosis de buena suerte para que no fallara ningún eslabón. El hecho sorprendente es que, por ejemplo, la estimulación eléctrica de los núcleos talámicos en el mono, hagan que el animal se levante despacio y comience a andar a cuatro patas alrededor de la jaula a una velocidad de un metro por segundo, sin tropezar contra la paredes ni contra los demás animales, de una manera completamente normal, sin expresar angustia, miedo o malestar y que al acabar la estimulación, el mono se siente pacíficamente continuado sus actividades interrumpidas.

Aplicando las estimulaciones durante cinco segundos, una vez por minuto, los paseos del animal se han repetido de manera parecida, indefinidamente, en algunos experimentos sesenta veces por hora.

La complejidad y la excelente organización de las respuestas motoras contrastan con la simplicidad del estímulo eléctrico. ¿Cómo explicar la coordinación y la perfecta realización de movimientos que son iguales a los que realiza el animal espontáneamente? ¿Cómo es que el mismo tipo de estímulo eléctrico dependiendo de la zona cerebral estimulada puede inducir al animal a andar, a correr, a abrir la boca o realizar alguna otra actividad? La explicación es que la electricidad actúa como agente inespecífico desencadenante de mecanismos preexistentes en el cerebro.

Cuando apretamos el botón del ascensor no tenemos

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

mérito personal en que la cabina empieze a funcionar con velocidad moderada y se detenga en un piso predeterminado. Cuando arrancamos el coche tampoco somos personalmente responsables —ni conocedores— del complicado mecanismo que estamos poniendo en marcha.

El estímulo eléctrico del cerecho parece poner en marcha los circuitos intracerebrales de acción. Es muy poco probable que por la excitación cerebral un hombre empiece a trepar las paredes de la habitación, o que un mono comience a hablar español. Tampoco es probable que podamos controlar a los animales —o seres humanos— como robots, y esta es la importante (y ¿afortunada?) limitación de la tecnología electrónica.

La estimulación cerebral activa los mecanismos neurológicos que están organizados para regir la actividad motora, pero no pueden reemplazarlos. No podemos dirigir eléctricamente a un animal —o a una persona— para llevar a cabo actividades deseadas por el investigador, por ejemplo, tomar un objeto con la mano derecha, abrir la puerta de la jaula o cometer un acto delictivo. Ciertamente que podemos inducir placer o castigo, y con esta motivación facilitar conductas determinadas, pero no seremos capaces de controlar la secuencia de los movimientos necesarios para la realización de actos concretos.

Como indicamos más adelante, es posible inducir estados emocionales, que aumenten o disminuyan la agresividad o el miedo y de esta manera provocar conducta hostil o de huida, pero no podemos sintetizar eléctricamente la compleja realización motora de ataque y defensa.

3. *Respuestas emocionales:* Numerosos investigadores han demostrado que la agresividad puede provocarse por estímulo eléctrico del hipotálamo, de la amígdala, del téctum, de la substancia gris central y de otras estructuras nerviosas.

Por ejemplo, en uno de nuestros experimentos se estimuló por radio el hipotálamo lateral de un gato mientras formaba parte de una colonia en compañía de otros animales. Como respuesta inmediata, el gato comenzó a rondar por la jaula con actitud hostil y buscando pelea. Se había creado un estado de agresividad dirigida de forma inteligente hacia enemigos más débiles, atacando en el momento oportuno, cambiando de táctica y adaptando los avances, retiradas y zarpazos de acuerdo con los movimientos del oponente.

La hostilidad había sido inducida eléctricamente, pero los detalles de su realización dependían de las característi-

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

cas individuales del gato estimulado y de la estructura social del grupo, incluyendo agilidad, fortaleza, habilidades aprendidas y experiencia previa de cada animal.

Resultados parecidos se han observado en colonias de monos. La radioestimulación de la substancia gris central en el jefe de grupo, provocaba una batalla campal en la que el jefe amenazaba, perseguía, daba manotazos, agarraba y mordía a otros animales, pero respetaba siempre a una monita que era su favorita y con la que había tenido con frecuencia relaciones de espulgue recíproco y de actividad sexual.

Como contraste, hay otras zonas en el cerebro cuyo estímulo produce inhibición de la agresividad contra el hombre, que es habitual en el *macacus rhesus*. La excitación del núcleo caudado cambia la ferocidad del mono y en vez de tratar de agarrar, arañar y morder los objetos a su alcance —un guante o incluso la mano del investigador— el animal se sentaba pacíficamente en la jaula y entonces era posible tocarle y acariciarle sin ningún peligro. El animal parecía percibir el medio ambiente de modo normal, pero había perdido su agresividad habitual. En estos experimentos se demostraba que es posible inhibir la violencia, sin producir sueño ni depresión.

En seres humanos con electrodos implantados con fines terapéuticos, también se ha visto que la estimulación eléctrica del cerebro puede aumentar o disminuir la hostilidad, así como producir angustia, miedo, cambios de afectividad y otras manifestaciones emocionales.

Por ejemplo, en una enferma con intensos ataques espontáneos de angustia que la llevaron a varios intentos de suicidio y a un estado crónico de depresión, la estimulación del núcleo dorsolateral del tálamo provocó el mismo tipo de ataque con una sintomatología proporcional a la intensidad de corriente aplicada. En otra enferma, la estimulación de la misma zona talámica producía una expresión medrosa, volviéndose hacia los lados para ver lo que había detrás de ella. Al preguntarle lo que le pasaba, contestó diciendo que tenía una sensación de amenaza como si fuera a ocurrir algo horrible. El miedo se percibía como algo real, con la premonición de desastre inminente de causa desconocida. El efecto se repetía en días distintos, cuantas veces se estimulaba el punto específico cerebral. En otros enfermos se ha descrito la aparición de conducta iracunda, con manifestaciones agresivas verbales y físicas, inducidas por estimulación de núcleos amigdalinos.

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

Podemos concluir por lo tanto, que los estados emocionales pueden ser inducidos o modificados por estímulo eléctrico de determinadas zonas cerebrales, tanto en los animales como en el hombre.

Conviene aclarar que el cerebro tiene mecanismos neuronales que interpretan la información recibida del medio y que determinan el comportamiento subsiguiente. Para comprender la razón de una conducta agresiva, y para proponer soluciones, se requieren conocimientos no sólo de sociología y de economía, sino también de fisiología cerebral. La hostilidad espontánea y la provocada artificialmente tienen muchos elementos comunes, lo que prueba que en ambos casos se han activado zonas y mecanismos neurológicos análogos.

Los actos de violencia individual o colectiva, parecen muy lejanos y diferentes de las descargas eléctricas de las neuronas, pero debemos recordar que la personalidad y sus reacciones pacíficas o agresivas, no están en el medio ambiente sino en el tejido nervioso. Claro está que no vamos a encontrar remedios contra la violencia implantando electrodos y estimulando el cerebro. Estas son sólo metodologías para investigar el problema en animales —y quizás para tratar algunos enfermos bien seleccionados—, adquiriendo así información sobre los mecanismos responsables. Podemos preguntarnos si el tratamiento de los enfermos cardiacos habría avanzado sin conocer la anatomía y la fisiología del corazón, si el hombre habría podido volar sin conocimientos físicos y matemáticos, y si la violencia puede ser comprendida, tratada y prevenida si olvidamos sus mecanismos fisiológicos intracerebrales.

CONSIDERACIONES FINALES

El hecho de que el cerebro humano empiece a comprender sus propias funciones y pueda influir sobre su propia estructura y mecanismos, no debe interpretarse como el resultado de un orgullo diabólico de modificar el «designio cósmico» ni de cambiar «la voluntad de Dios», sino simplemente como la aparición de la nueva facultad de pensar inteligentemente siguiendo la evolución normal de las especies.

Nuestro creciente dominio de las fuerzas y materiales ecológicos no debe interpretarse como una victoria en contra del destino natural, sino más bien como una consecuencia de éste. Las aves no vuelan en desafío, sino de

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

acuerdo con las leyes de la física, según vectores gravitatorios y aerodinámicos. Los peces no se ahogan en el agua, sino que extraen el oxígeno disuelto mediante órganos especiales de respiración. El mérito de crear un cerebro pensante no lo tiene el hombre, sino la naturaleza que ha creado las propiedades de inteligencia, lenguaje, originalidad, previsión y conocimiento.

Hablar de control eléctrico del cerebro, con sus consecuencias de influir sobre el comportamiento, produce habitualmente una reacción de rechazo emocional, en parte porque amenaza la inviolabilidad del Yo y en parte por asociaciones mentales con dictaduras, lavados cerebrales, películas como «La naranja mecánica» y libros como «Un mundo feliz» de Huxley y «1984» de Orwell.

Es cierto que empezamos a tener en nuestras manos fuerzas y tecnologías de enorme poder, y que hay peligros que deben ser reconocidos para encontrar soluciones. Pero también es cierto que el desarrollo científico no puede detenerse. A pesar de los problemas creados y de la preocupación universal, las investigaciones atómicas continuan y nuevas fuentes de energía han sido puestas a disposición de la humanidad. Podemos estar ciertos de que el conocimiento y el control del cerebro aumentarán rápidamente y de que se desarrollarán nuevas metodologías y aplicaciones. Lo que hay que hacer es dirigir de forma ética tanto la investigación como la aplicación médica y el uso de los conocimientos adquiridos.

El reconocer la necesidad de comprender y de educar mejor las funciones mentales humanas no es muy original. Estas ideas fueron ya expresadas antes de los tiempos de Platón y de Aristóteles. Lo sorprendente es el poco resultado de las soluciones propuestas. ¿Por qué al cabo de miles de años continúan los seres humanos torturándose unos a otros? ¿Por qué los países civilizados disfrutan un grado considerable de desarrollo industrial y de comodidades físicas, sin alcanzar un grado paralelo de felicidad individual?

La busca de soluciones es complicada por los muchos factores conflictivos en juego, pero en parte la dificultad se debe a que hasta hace poco se ignoraba la mitad del problema que está en la organización interna del cerebro y que es el órgano responsable de valorar y responder frente a los factores económicos, sociales, políticos y filosóficos.

En la actualidad, poseemos tecnología adecuada para estudiar experimentalmente la profundidad del cerebro vi-

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

vo y pensante; y en mi opinión las investigaciones sobre funciones mentales, deben tener tanta prioridad como la lucha contra el cáncer o las exploraciones planetarias, ya que sus consecuencias afectan al presente y al futuro de toda la humanidad. El proyecto de conquistar la mente humana puede ser un tema central para la cooperación y la comprensión internacionales, puesto que sus fines son el conocimiento de los mecanismos cerebrales que regulan la inteligencia y la creatividad, el goce y el sufrimiento, el amor y el odio.

Aunque haya divergencias en las ideas políticas, en los valores culturales y en las formas de comportamiento, las necesidades básicas corporales, intelectuales y emotivas del hombre son parecidas en todas las razas y todos los países. Sus mecanismos neurofisiológicos deben ser idénticos, pudiendo ser investigados experimentalmente y mejorados mediante educación apropiada. El odio y la destrucción, no son propiedades funcionales del cerebro, sino elementos introducidos en la actividad neuronal a través de estímulos sensoriales. No tienen origen en la persona, sino en el medio ambiente. Es posible que de modo parecido a como se enseña al niño a hablar, a andar y a sentir, sea necesario enseñarle a interpretar sus mensajes para proporcionarle mejor adaptación social y mayor felicidad personal.

NOTAS BIBLIOGRAFICAS

Campell. H. J., «The Pleasure Areas». New York: Delacorte Press, 1973, 317 págs.

Delgado J. M. R., «Physical Control of the Mind: Toward a Psychocivilized Society. «New York: Harper & Row, 1969, 280 págs.

Delgado. J. M. R., «The neurological basis of violence» Unesco París, May 19-23, 1970. Rev. int. Sci. Soc., 23:27-35, 1971.

Delgado, J. M. R., «The intracerebral mechanisms of freedom» in «1971-1972 Jennings Scholar Lectures», págs. 153-164.
Cleveland: Educ. Res. Council., 1973.

Delgado, J. M. R., «Communication with the conscious brain by means of electrical and chemical probes» in: «Biological Diagnosis of Brain Disorders. Proc. V Int. Conf. on the Future of Brain Sciences» New York: Spectrum-Wiley, 1973, págs. 25-40.

Delgado, J. M. R., «Planificación Cerebral del Hombre Futuro». Encuentro. Fundación Juan March. Madrid: Marsiega, 1973, pág. 139 y ss.

Delgado, J. M. R., «New orientation in brain stimulation in man» in: «Brain-Stimulation Reward», Proc. Ist. int. Conf., E. T. Roll (Ed.), Armstermam: Elsevier Excerpts Medica, 1975, págs. 481-499.

Ferguson, M., «The Brain Revolution». New York: Taplinger Publ. Co., 1975, 380 págs.

Rosenfeld, A., «The Second Genesis: The Coming Control of Life». New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1969, 327 págs.

Rose, S., «The Conscious Brain». New York: Alfred A. Knopf, 1973, 343 págs.

Taylor, J. G., «The Shape of Minds to Come». New York: Weybright & Talley, 1971, 278 págs.