

# Tecnología médica para neurorrehabilitación

Josefina Gutiérrez Martínez

Doctora en Ingeniería.  
Instituto Nacional de Rehabilitación, Luis Guillermo Ibarra Ibarra  
División de Investigación en Ingeniería Médica

Ponencia presentada el 26 de agosto de 2016,  
Instituto de Investigaciones Sociales IIS-UNAM



**Josefina Gutiérrez Martínez**

El origen que produce la discapacidad puede ser variado, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010) lo clasifica principalmente en cuatro grupos:

- 1) adquirida por herencia, durante el embarazo o al nacimiento (16%)
- 2) por causa de alguna enfermedad (41.3%)
- 3) secuelas ocasionadas por lesiones causadas en algún accidente (15%)
- 4) producida por edad avanzada (33.1%)

La prevalencia de la discapacidad en México, según datos de la Encuesta Nacional del INEGI para el 2014 fue del 6% aproximadamente, es decir, hablamos de unos siete millones de personas que viven en el país con algún tipo de discapacidad. Las dificultades para caminar (64.1%) y para ver (58.4%) son las discapacidades con mayor incidencia. Aunque no menor son las personas que tienen problemas para mover o usar sus brazos o manos (33%), escuchar (33.4%) o ser independiente en sus actividades de la vida diaria (23.7%). Como ya se mencionó, dentro de todas las discapacidades, la de mayor incidencia se presenta sobre el problema del movimiento, tanto de las extremidades inferiores (64.1%) como del miembro superior (33%). Pero, ¿Cuáles son las principales enfermedades que más aportan a estas discapacidades? Están las enfermedades reumáticas (6%), sensoriales (10%), pero principalmente las enfermedades cardiovasculares (18%), metabólicas (20%) y las lesiones neurológicas (45%) son las que producen la mayor causa de discapacidad. Las enfermedades metabólicas, como la diabetes, están tomando mucha importancia debido a que son causantes de graves discapacidades como la ceguera por retinopatía diabética, insuficiencia del riñón, o amputaciones por pie diabético. Entre las lesiones cerebrales más comunes están: la enfermedad cerebrovascular (EVC), las atrofas musculares espinales, las distonías musculares, la espina bífida, la osteogénesis imperfecta, la parálisis cerebral infantil (PCI), la poliomielitis, y los traumatismos craneoencefálicos (TCE).

Las consecuencias de una lesión cerebral y su impacto en la disminución o pérdida de alguna función motora, sensorial o cognitiva dependen de la gravedad de la lesión, donde se localiza, la extensión de la misma, así como de la edad y la salud general del paciente previo a la lesión. Entre las principales discapacidades que se generan por enfermedad neurológica se encuentran; la dificultad motora que impide la realización de movimientos, el desplazamiento de las personas y su autosuficiencia, deficiencia con la cognición, (pensamiento, memoria y razonamiento), problemas con el procesamiento sensorial (visión, audición, tacto, gusto y olfato), comunicación (expresión y comprensión), y de la propia conducta psiquiátrica o salud mental (depresión, ansiedad, cambios de personalidad, agresión, o conducta impulsiva). Las lesiones cerebrales con mayor incidencia son la EVC (64%) por causa de enfermedad, el TCE (16%) originado principalmente por accidentes de auto, armas de fuego y caídas; y el PCI (8%) que es la causa más frecuente de discapacidad motriz en niños atribuida a problemas en el desarrollo cerebral del feto o durante la niñez. En forma muy general, el EVC se produce principalmente debido a dos causas, la primera cuando se interrumpe el suministro de sangre en alguna parte del cerebro por obstrucción de algún vaso sanguíneo, a este tipo se le denomina EVC isquémico. El segundo tipo o EVC hemorrágico es cuando se deja de recibir los nutrientes de la sangre cuando se rompe un vaso sanguíneo en el cerebro.

Cuando las células cerebrales dejan de recibir oxígeno o nutrientes de la sangre se produce isquemia. Esta isquemia conduce finalmente al infarto, es decir a la muerte de las células cerebrales, que son sustituidas por una cavidad llena de fluido.

No todas las células del territorio afectado mueren inmediatamente, sino que hay una parte que están en 'riesgo de morir', y con el tratamiento adecuado podrían salvarse. La evolución dependerá de la intensidad y localización de la isquemia y de la capacidad del cerebro para recuperarse.

El TCE representa un grave problema de salud y es la causa más común de muerte y discapacidad en la gente joven. Es una lesión directa a las estructuras craneales, encefálicas o meníngeas que se presentan como consecuencia de un agente mecánico externo y puede originar un deterioro o alteración de la función cerebral. En el traumatismo craneoencefálico dependiendo en donde haya sido el golpe es la gravedad de la lesión y la consecuencia que origina. Entre estas consecuencias se pueden mencionar; pérdida o disminución del nivel de conciencia y de la memoria de eventos inmediatamente anteriores —amnesia retrógrada— o inmediatamente posteriores del traumatismo — amnesia anterógrada. Alteración del estado mental al momento del traumatismo (confusión, desorientación, pensamiento ralentizado, etc.). Déficits neurológicos como problemas con el lenguaje y la comunicación (astenia, pérdida del equilibrio, trastornos visuales, dispraxia paresia/plejía, pérdida sensitiva, etc.). Algunos pacientes padecen de afasia, definida como dificultad para comprender y expresar el lenguaje oral y escrito; otros pueden tener dificultad con aspectos más sutiles de la comunicación, tales como la expresión corporal, emocional y las señales no verbales.

Metabólica 20%  
Cardiovascular 18%  
Sensorial 10% Reumática 6%  
EVC 64%  
TRAUMA 16%  
Parálisis Cerebral 8%  
Neurológica 45%  
Principales Enfermedades Discapacitantes  
Distrofia Muscular 12%

La parálisis cerebral infantil o PCI surge en el nacimiento. Se define como un trastorno neuromotor no progresivo debido a una lesión o una anomalía del desarrollo del cerebro inmaduro. La PCI no permite o dificulta los mensajes enviados por el cerebro hacia los músculos, dificultando el movimiento de éstos. Es un concepto enormemente ambiguo ya que aunque sea un trastorno motor también lleva asociados otros tipos de perturbaciones como el sensorial, perceptivo y psicológico. La PCI no es progresiva, lo que significa que no se agravará cuando el niño crezca, pero algunos problemas se pueden hacer más evidentes con la edad, por ejemplo, no es lo mismo esta enfermedad en un bebé a un niño de cinco o diez años ya que aunque la enfermedad per se es la misma, la dificultad de comunicarse va a ser mayor.

Dentro de las principales consecuencias o manifestaciones de las lesiones cerebrales está la espasticidad, que es el aumento exagerado del tono muscular, es decir movimientos pocos coordinados (hipertonía). La atetosis pasa de la hipertonía a una hipotonía en donde hay movimientos no coordinados, lentos y no controlables. Estos movimientos afectan a las manos, los pies, los brazos o las piernas y en algunos casos los músculos de la cara y la lengua. Pueden tener problemas para coordinar los movimientos musculares necesarios para el habla (disartria). La ataxia es parecida ya que hay un sentido defectuoso de la marcha y

descoordinación motora tanto fina como gruesa ya sea originada por una o más extremidades. Es una forma rara en la que las personas afectadas caminan inestablemente, poniendo los pies muy separados uno del otro. La cuestión es que por esto no se puede ser independiente. La parálisis ocasionada por lesión nerviosa en el cerebro o en la médula espinal puede afectar al control de los músculos, disminución de la fuerza y la coordinación motora. Paresia es la parálisis parcial de la contractilidad de la musculatura, llamada hemiparesia cuando afecta un brazo y una pierna del mismo lado del cuerpo. Monoparesia es cuando se refiere a un solo miembro, ya sea inferior o superior. La tetraplejía o cuadriplejia si se produce parálisis en los cuatro miembros. La paraplejia es paresia de la mitad inferior del cuerpo y cuando la rigidez muscular está predominantemente en las piernas se denomina diparesia.

A partir de la década de los 60's surge la rehabilitación neurológica como un método formal para el tratamiento de secuelas severas que afectan la capacidad motora y sensorial de los pacientes que sufren o han sufrido enfermedades como EVC, TCE o trauma raquimedular. La neurorrehabilitación ha sufrido cambios drásticos en las últimas dos décadas debido a la incorporación de tecnología electromédica, robótica o sistemas computarizados, cuyo fin principal es estimular los procesos de neuroplasticidad.

La plasticidad cerebral se define como el potencial dinámico que presenta el tejido nervioso para reorganizarse así mismo desde que estamos en el estado embrionario durante el neuro desarrollo, durante el aprendizaje o después de una lesión o daño. La plasticidad del tejido nervioso es un proceso continuo y dinámico que involucra cambios en el corto, mediano y largo plazo, y que incluye desde mecanismos moleculares hasta cambios macroscópicos. La plasticidad neuronal es un elemento clave de la recuperación funcional motora, sensitiva y cognitiva que hace posible reeducar a las células dañadas o a células nuevas que puedan tomar la función de las muertas. Entonces la idea central de la neurorrehabilitación es favorecer a la neuroplasticidad mediante la activación o entrenamiento del tejido neuronal que no está tan dañado o reactivando otras zonas y formar nuevas conexiones sinápticas.

Una característica muy importante de la neuroplasticidad es que puede ser guiada, favorecida o provocada mediante estimulación cognitiva o sensorial a través de terapia física u ocupacional, por ejemplo, con la repetición de ciertos patrones de movimiento con estimulación mecánica, eléctrica o magnética. Dicha estimulación se considera la base de las diversas técnicas de neurorrehabilitación.

Una rehabilitación neurológica eficaz requiere evaluar oportunamente las funciones preservadas y el nivel de daño del Sistema Nervioso. En base a los resultados del diagnóstico se desarrollan los protocolos terapéuticos más apropiados para restaurar las funciones perdidas, mediante retroalimentación constante y sistemática, entrenamiento dirigido a tareas que requieren la integración de las estructuras potencialmente funcionales, e incremento progresivo de tareas de entrenamiento.

Es en este contexto que el desarrollo e innovación de nuevas estrategias de neurorrehabilitación > Apoyadas en la Tecnología Electromédica computarizada y robótica < se ha convertido en un área muy promisoría y ha ganado gran aceptación y expansión. Por lo general esta tecnología se está enfocando a favorecer la neuroplasticidad para mejorar la movilidad. La idea está basada en que cuando

vuelven a existir estímulos, aunque éstos sean generados de manera externa o artificial, el cerebro vuelve a reconocer la señal aferente que transporta la información desde los receptores sensoriales hacia el SN que ya no estaba presente al no tener movimiento normal en alguna extremidad. Obviamente estas “señales aferentes generadas de manera artificial” no son exactamente como los impulsos nerviosos aferentes normales, sin embargo, el reto es que la tecnología algún día logre generar señales aferentes lo más parecidas a los impulsos naturales. Otro factor muy importante en la recuperación es realizar el diagnóstico y aplicación de los tratamientos de rehabilitación neurológica de manera oportuna y temprana utilizando tecnología de vanguardia. Entendemos que las personas con lesiones neurológicas también tienen problemas de depresión, por lo que es necesario que sus programas de rehabilitación incluyan aspectos de entrenamiento no solo físicos, sensoriales sino también emocionales.

Es importante remarcar que los dispositivos médicos forman parte de la tecnología de salud y al igual que un medicamento deben ser aplicados bajo prescripción médica, por personal calificado, porque de lo contrario, si se usan sin necesitarlo o de manera inadecuada pueden causar daños a la persona.

### **Tratamientos o Terapias Físicas**

Dentro de las técnicas terapéuticas mecánicas podemos mencionar a la terapia del movimiento inducido por restricción de movimiento del miembro sano CIMT (ConstraintInduced Movement Therapy). Terapia que sin usar alta tecnología ha mostrado resultados positivos para mejorar la función de una extremidad parética en pacientes con daño del SNC, como EVC, basado en el concepto de “desuso aprendido” siempre que el déficit motor y sensorial de la extremidad afectada no sean demasiado severos. La idea principal de la terapia CIMT es aplicar ejercicio terapéutico al miembro parético mientras que el movimiento de la extremidad sana se restringe por medio de una férula, yeso o cabestrillo, esto es, que el miembro sano se mantenga sin movimiento.

Otra de las técnicas físicas es la Terapia de Postura Erguida. El control postural para ponerse y mantenerse de pie es una actividad motora compleja y el requisito previo para la marcha. En los pacientes tetraplégicos como consecuencia de EVC o una lesión medular, la información propioceptiva procedente de las extremidades está disminuida y/o alterada, por lo tanto, la información vestibular y visual no está adecuadamente retroalimentada del movimiento o posición que mantienen las extremidades, por lo que el permanecer en postura vertical o erguida resulta un desafío. En pacientes neurológicos que no pueden mantenerse en pie, y que están confinados a largos períodos de inmovilización en cama suele conllevar una serie de dificultades por lo que es necesario lograr la posición vertical lo más pronto posible que requiere de un período de adaptación progresiva. Este encamamiento representa un grave problema ya que esta condición genera, entre otros, complicaciones cardíacas (alteraciones del ritmo cardíaco), hipoventilación pulmonar, atrofia muscular, desmineralización del tejido óseo, además de padecer hipotensión ortostática y trastornos metabólicos.

La función de muchos órganos mejora si los pacientes adoptan una posición vertical para permitir la llegada de sangre a las extremidades inferiores por efecto de la gravedad y a su vez una terapia de movilización repetitiva para reducir la espasticidad, intensificar la estimulación sensorial, fortalecer el sistema cardiovascular, re-educar los mecanismos de equilibrio y proporcionar autonomía



al paciente.

Entre los beneficios de la Bipedestación temprana en la neurorrehabilitación utilizando dispositivos como las tablas o planos de inclinación podemos mencionar:

Proporcionar una correcta alineación anatómica del tronco y las extremidades inferiores.

Mantener el contenido de calcio en los huesos, previniendo la osteoporosis y por lo tanto posibles fracturas.

Prevenir retracciones musculotendinosas.

Activar la circulación sanguínea tanto en su componente cardíaco como periférico.

Facilitar la respiración. Aumentar el consumo de oxígeno, favoreciendo la expansión pulmonar.

Aumenta el peristaltismo intestinal, previene el estreñimiento.

Permite la descarga temporal de la zona isquiática, previniendo así la aparición de úlceras por presión en dicha zona.

Proporciona un beneficio psicológico al paciente por darle la oportunidad de estar de pie.

Después de pararse, el siguiente paso es moverse. Es indispensable que los pacientes con daño cerebral con discapacidad motora, para su recuperación, reciban entrenamiento de la marcha asistida. Hoy en día existen dispositivos electromecánicos o robóticos que en combinación con fisioterapia apoyan la rehabilitación de los pacientes.

## **Dispositivos de Entrenamiento Robotizados**

Con el fin de automatizar el proceso de entrenamiento de marcha y reducir la dependencia de los terapeutas en la asistencia del ejercicio, se han diseñado dispositivos electromecánicos automatizados en combinación con una caminadora. Un ejemplo es el Lokomat, muy utilizado hoy en día en instituciones en México como el Instituto Nacional de Rehabilitación y los Centros de Rehabilitación e Inclusión Infantil Teletón (CRIT). Este dispositivo consiste en una órtesis exoesquelética de miembros inferiores controlada por computadora que apoyada por sensores y un sistema de peso corporal soportado por arneses simula y reproduce la marcha fisiológica del individuo en dos dimensiones en el plano sagital. El Lokomat es un dispositivo de entrenamiento de la marcha robotizada para que la posición de las piernas sea la correcta.

En la mayoría de los casos, posterior a la lesión de sistema nervioso PREDOMINA la recuperación de la fuerza y la funcionalidad de la pierna sobre la del brazo. En cierta medida, nuestro cerebro prioriza la ganancia funcional de aquello que considera “más útil” como es la capacidad de volver a caminar, dado que ello favorece la vida independiente. Como consecuencia de este fenómeno, muchos de los pacientes que consiguen deambular, continúan teniendo dificultades con el miembro superior. De hecho, se estima que alrededor de 7% de pacientes que ha sufrido una hemiparesia debida a un EVC tendrá limitaciones para incorporar el brazo a las actividades de la vida cotidiana. Por lo anterior, es muy importante la terapia de rehabilitación del miembro superior.

Existen dispositivos dirigidos a estimular la sensibilidad y mejorar los

movimientos de la mano, como el Amadeo®. Los dedos de la mano del paciente se sujetan a pequeñas palancas del dispositivo a través de unos imanes. A partir de ese momento, el robot Amadeo® ofrece diferentes resistencias de flexión y extensión para cada dedo a la vez que mide los rangos de movimiento, fuerzas recibidas y potencia de movilidad. Además, a través de una interfaz gráfica, al paciente se le muestran los valores de fuerza y arcos de movilidad.

Otro sistema de entrenamiento robótico para las extremidades superiores es el equipo Armeo® que permite realizar ejercicios terapéuticos para hombro-brazo en un rango tridimensional. El Armeo® incorpora sensores de fuerza y ángulo que evalúan el estado del paciente, la precisión de sus movimientos y su evolución a lo largo de las terapias. Por su mecanismo de soporte de peso de brazo total, es utilizado en pacientes con nulo movimiento de la extremidad. Incluye juegos de video y ejercicios orientados a tareas de la vida cotidiana en realidad aumentada con retroalimentación audiovisual, que mantiene motivado al paciente durante toda la terapia.

Por lo general la terapia robotizada inicia con movimientos pasivos, esto quiere decir, que son totalmente dirigidos y manejados por el equipo. Cuando la persona empieza a tener movimientos activos (la persona es capaz de realizarlos por sí misma), su fuerza y arco de movilidad mejoran. El cambio de movimiento pasivo a activo es posible detectarlo a través de los sensores con los que cuenta el dispositivo. Equipos robotizados modernos cuentan con sistemas de control adaptable, que permiten modificar los parámetros de las terapias de acuerdo a las mediciones registradas. A esto se le denomina biorretroalimentación, hacer consiente a la persona de sus limitaciones y del progreso de su rehabilitación a través de signos auditivos, visuales o realidad virtual o realidad aumentada.

La realidad virtual (RV) es una tecnología que se está usando mucho y sirve para permitir la interacción e integración humano - computadora en tercera dimensión (3D). A través de la RV se crea un entorno virtual para evaluar y rehabilitar las capacidades cognitivas y funcionales ofreciendo escenarios interactivos diseñados para atender las necesidades del usuario a través de la exposición a la simulación del mundo real mientras se mantiene un control experimental sobre la medición y presentación de estímulos. A través de ver y situarnos en entornos virtuales, aunque el paciente no pueda caminar en realidad, el cerebro lo capta como si realmente estuviera caminando, estimulando así, los procesos de neuroplasticidad.

Por otro lado, la Realidad Aumentada (RA), es el término que se usa para definir una visión directa o indirecta aumentada, de un entorno físico del mundo real, cuyos elementos se combinan con elementos virtuales para la creación de una realidad mixta en tiempo real. La RA consiste en sobreponer objetos o animaciones de un ambiente virtual (generadas por computadora) sobre una imagen de la realidad. A diferencia de la realidad virtual, la RA es una tecnología que complementa la percepción e interacción del mundo real y permite al usuario estar en un entorno aumentado con información generada por una computadora.

La electroterapia o estimulación eléctrica (EE) del sistema periférico sensoriomotor es ampliamente utilizada en fisioterapia para el tratamiento de lesiones y enfermedades neuromotoras, por medio de aplicar al cuerpo corriente eléctrica para provocar cambios fisiológicos con propósitos terapéuticos.

La EE contribuye a preservar las estructuras neuromusculares con el fin de desarrollar nuevas estrategias para la recuperación de la función motora, así como para fortalecer los músculos atrofiados, facilitar el movimiento voluntario, incrementar el rango de movimiento y reducir la espasticidad de los pacientes con EVC, TCE o TRM.

La Asociación Americana de Terapia física reconoce como las principales aplicaciones de la corriente eléctrica el manejo del dolor (analgésico), tratamiento de la disfunción neuromuscular para el fortalecimiento, control y retraso de la atrofia muscular. Mejorar los rangos de movimiento, la reeducación de la función motora. Facilita el transporte de medicamentos. Disminución de edema (acelera la velocidad de absorción, incrementa la movilidad de proteínas, células sanguíneas y flujo linfático), regeneración tisular (anti-inflamación, estimulación de la microcirculación), activación de la reparación de heridas (úlceras), inducción del flujo sanguíneo periférico (arterial, venoso y linfático), disminución de la incontinencia urinaria y fecal.

### **Modalidades de Estimulación Eléctrica**

Una de las aplicaciones más utilizadas de la EE se llama TENS (Transcutaneous electrical nerve stimulation), técnica auxiliar para controlar el dolor músculo-esquelético crónico, agudo y post-operatorio. Siendo las lesiones de los nervios periféricos, de compresión nerviosa y distrofia simpática refleja, el dolor del muñón y/o dolor de miembro fantasma de los amputados, neuralgia post herpética y del trigémino así como el dolor obstétrico y de los enfermos terminales los padecimientos donde más se ha aplicado.

Las corrientes interferenciales son otro tipo de electroestimulaciones muy utilizadas. Son útiles en la modulación del dolor, la reducción del edema, las denervaciones periféricas, desbridamientos tisulares, relajación y potenciación muscular. No son aptas para la reeducación muscular y su eficacia está basada en evidencia más empírica que experimental.

La estimulación eléctrica transcraneal tDCS (Transcranial direct current stimulation), aunque aún no es muy usada, hay muchos estudios que están enfocados a investigar su utilidad en neurorrehabilitación. La tDCS aplica corriente directa sobre el cráneo (1-2mA) con el fin de modular la excitabilidad cortical para mejorar las funciones cerebrales cognitivas, sensoriales y motoras que estén correlacionadas con el origen magnético o eléctrico de las tareas ejecutadas.

La estimulación eléctrica funcional o FES (Functional Electrical Stimulation) es una técnica diseñada para mejorar la función de las personas con parálisis imitando el flujo natural de las señales de excitación generadas por el Sistema Nervioso (SN) con la finalidad de lograr una tarea funcional. Entre las principales aplicaciones del FES están la activación de las neuromotoras o rutas reflejas estimulando las fibras nerviosas sensoriales y la neuromodulación para aumentar o disminuir la excitabilidad neuronal. La operación FES puede modelarse con un circuito eléctrico relativamente simple: generador, electrodos y tejido; esta técnica implica el uso de un sistema de estimulación eléctrica multicanal.



## Las Neuroprótesis

La "irreversibilidad" de gran parte de las lesiones cerebrales y medulares sigue siendo el principal interés de la neurorrehabilitación. Los avances tecnológicos, fundamentalmente en instrumentación médica, sensores, transductores, procesamiento de señales y la sinergia con diferentes disciplinas de la medicina como la neurocirugía y la rehabilitación ha animado a clínicos e investigadores en ingeniería biomédica a diseñar sistemas que actúen como sustitutos artificiales de las funciones fisiológicas alteradas. El desarrollo de la neuroprotesis -dispositivo implantado- es el resultado de la aplicación de estos desarrollos y sinergias.

Las Neuroprótesis (NP) son dispositivos activos que tienen el propósito de restaurar o reemplazar una función perdida (por enfermedad o trauma). NP es un sistema que interconecta las funciones corporales preservadas, controla la activación de la vía neural induciendo corrientes en los tejidos para interactuar con los sistemas motores y sensoriales, proporcionando así el impulso necesario a las estructuras paralizadas.

Las NP aplican corriente eléctrica funcional, ya sea al sistema neuromuscular, auditivo, visual etc, a través de un FES y registra señales electrofisiológicas (EMG, EEG) con el fin de controlar el funcionamiento del dispositivo para generar la función deseada. Existen dos clases comunes de sistemas de control, sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado. En los sistemas o neuroprótesis de control de lazo abierto el proceso actúa solo sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida generada independiente a la entrada pero basada en ella, es decir, no se puede ajustar el proceso. Mientras que en los sistemas de lazo cerrado la salida depende de las consideraciones y correcciones realizadas por la retroalimentación en base a las respuestas motoras, auditivas, visuales, etc. Un sistema de lazo cerrado es considerado una neuroprótesis controlada por biorretroalimentación.

### Implante Coclear

Una de las NP más comunes es el implante coclear (IC). Es un dispositivo de alta tecnología y precisión insertado quirúrgicamente, que consiste en un transductor/procesador que transforma las señales acústicas captadas del medio ambiente, en señales eléctricas que estimulan directamente el nervio auditivo, las células ganglionares encargadas de transmitir la información codificada al cerebro. Si hay destrucción de las células ciliadas de la cóclea: NO se restablece la audición. El IC acelera la reeducación oral de las personas sordas prelocutivas mediante rehabilitación logopédica. Se ha demostrado que la mayoría de los niños que han recibido IC en edades tempranas (antes de tres años) desarrollan una capacidad auditiva y una comprensión plena sin ayuda de la lengua de signos, adquiriendo habilidades de comunicación prácticamente comparables a las de un normoyente.

Es importante remarcar que a diferencia del IC, que es una neuroprótesis que sustituye o reactiva la función de escuchar, un auxiliar auditivo es una tecnología de asistencia que amplifica el sonido tomando en consideración que frecuencias requieren más amplificación, es decir maximizando cualquier audición residual, no reemplaza ninguna función de audición perdida.

## **El Ojo Biónico**

El ojo biónico o neuroprótesis de retina es un dispositivo el cual todavía está en faceta experimental, su intención es restaurar la visión funcional en los que sufren ceguera total o parcial. A través de cámaras que se ponen en lentes que porta el individuo se captan las imágenes del medio ambiente, posteriormente a través de un procesamiento, se analizan esas imágenes. La información procesada se convierte en pequeños impulsos eléctricos, los cuales se transmiten inalámbricamente a un receptor compuesto por una matriz de “cientos de microelectrodos” que son los que van a estimular a la retina y ésta a su vez enviará la información visual al cerebro a través del nervio óptico. Por supuesto, el requisito indispensable para el funcionamiento de la NP de retina es que el nervio óptico se encuentre preservado.

## **Las Neuroprótesis Neuromusculares**

Estudios básicos y clínicos sobre la potenciación de la neuroplasticidad en la corteza motora central sustentan el rol del entrenamiento del miembro parético con movimientos activos, repetitivos, orientados a objetivos funcionales con el fin de mejorar el reaprendizaje motor para recuperar las habilidades motoras previamente aprendidas que se han perdido por una lesión del Sistema Nervioso. Es aquí donde las neuroprótesis motoras pueden jugar un papel importante. Las NPs motoras son capaces de provocar contracciones musculares funcionales que generan movimientos repetitivos y en la que se implica un esfuerzo cognitivo en la ejecución de éstos, y facilita el reaprendizaje motor. Esta técnica consiste en activar eléctricamente los diferentes músculos requeridos para lograr la secuencia de la coordinación motora.

Por ejemplo, un exoesqueleto robótico funcional, está enfocado no solo a servir de soporte de asistencia para la marcha sino que a través de aplicar FES se aplique una serie de estímulos eléctricos en una secuencia, potencia y duración determinada para activar los músculos agonistas y antagonistas encargados de lograr la función deseada.

## **Otras Neuroprótesis para Funciones Vitales**

Uno de los principales retos de las tecnologías utilizadas en los procedimientos terapéuticos de neurorrehabilitación es que las personas alcancen, de nuevo, el control voluntario de funciones perdidas tras una lesión del sistema nervioso (central y periférico). Entre las consecuencias orgánicas más comunes está la pérdida de control de esfínteres, impotencia sexual, epilepsias, insuficiencias respiratorias.

## **Neuroprótesis para el “Control de Esfínter”**

Incontinencia urinaria o vejiga neurógena es la falta de control consciente, total o parcial, de las funciones de la defecación y de la micción. Esto se debe a que los esfínteres, anillos de cierre, del recto (ano), de la vejiga y de la uretra no reciben las órdenes cerebrales oportunas para abrirlos o cerrarlos a voluntad porque la médula espinal lesionada, no puede transmitirlos.

Alteraciones Sexuales. En el hombre existen dos tipos de estímulos que

provocan la erección: los Psíquicos o Centrales. Son estímulos visuales, auditivos, olfativos, recuerdos etc. que viajan desde el cerebro (sistema límbico) a través de la médula espinal hasta llegar al centro simpático localizado en la médula dorso-lumbar (D11-L2), de aquí parten los nervios hipogástricos serán los responsables de las erecciones psicógenas. Y los Reflejos o Periféricos. Son estímulos táctiles de roce o toque de los genitales, los cuales viajan hasta la médula al centro parasimpático sacro (S2-S3-S4) y a través de los nervios erectores se desencadena una erección refleja. Una vez alcanzada la erección, el incremento de los estímulos anteriormente mencionados conducirá a la eyaculación. En la mujer la erección se expresa como una congestión vascular del tercio externo de la vagina, labios menores y clítoris. Mientras que la eyaculación tiene su correlación con la contracción rítmica y simultánea del útero, tercio externo de la vagina y esfínter rectal.

Tanto los problemas de defecación como los urinarios y las alteraciones sexuales en los lesionados medulares pueden tener gran repercusión negativa sobre sus actividades sociales, de pareja y una influencia directa sobre su calidad de vida.

Uno de los tratamientos actuales para el control de esfínteres indicado tanto en pacientes parapléjicos como en tetrapléjicos, que tengan el arco reflejo indemne es una NP que a través de electroestimulación de las raíces sacras anteriores controle la micción, la evacuación intestinal y la erección en los lesionados medulares.

### **Neuroprótesis para “Insuficiencia Respiratoria”**

Los pacientes con lesiones medulares cervicales altas o con algunas enfermedades neuromusculares, como la Esclerosis Lateral Amiotrófica, pueden padecer insuficiencia respiratoria debido a la parálisis de los músculos respiratorios y necesitar ventilación mecánica con presión positiva permanente para sobrevivir. Hoy en día es posible facilitar la ventilación mediante la estimulación eléctrica del diafragma.

Esta NP se trata de un dispositivo que, implantado quirúrgicamente en el diafragma, provoca una contracción muscular del mismo y ofrece a los pacientes, la posibilidad de respirar sin soporte mecánico (después de un adecuado entrenamiento); lo que representa una mejora significativa de su calidad de vida, la reducción de infecciones respiratorias y en definitiva, el incremento de la propia supervivencia.

### **El Estimulador del Nervio Vago**

Este dispositivo se utiliza como un tratamiento paliativo en aquellas epilepsias refractarias, denominadas resistentes a los fármacos que no pueden ser tratadas mediante técnicas quirúrgicas. Esta técnica consiste en la estimulación eléctrica intermitente del nervio vago izquierdo logrando así la reducción y control de las crisis epilépticas.

Nuestro Grupo de Trabajo en el Instituto Nacional de Rehabilitación Luis Guillermo Ibarra Ibarra (INRLGII), nos hemos dedicado desde hace más de diez años, a investigar y desarrollar tecnología para neurorrehabilitación. Uno de nuestros trabajos pioneros son los dispositivos de biorretroalimentación, la cual es una técnica que a través de registrar parámetros fisiológicos como frecuencia

cardiaca, temperatura, presión arterial, fuerza muscular, el paciente está consciente del funcionamiento de su organismo. Como por ejemplo, el registro de la actividad eléctrica muscular (EMG) en la extremidad afectada de pacientes con hemiparesia secundaria a EVC es un complemento al tratamiento convencional, estimula al paciente en sus terapias, ya que a través del EMG el paciente está consiente si se produce mejoría en el control motor y la funcionalidad.

Otro de los proyectos en los que estamos trabajando es el diseño de una interfaz cerebro computadora BCI (Brain Computer Interface) para personas con EVC. Las BCIs son sistemas que tienen como objetivo principal proporcionar un medio de comunicación alterna entre el cerebro y la vía neuromotora normal para que las personas que sufren de alguna discapacidad motora puedan interaccionar con su medio ambiente. Una de las estrategias que estamos estudiando en el INRLGII es la viabilidad de mover la mano parética auxiliada con una órtesis robótica controlada con el deseo o intención de movimiento del paciente. El propósito de este dispositivo es con fines de rehabilitación.

Otro de nuestros intereses de estudio son las neuroprótesis para el control de la vejiga. Cuando se tiene una lesión de la médula espinal (niveles S2–S4) afecta casi siempre la función de la vejiga y de los intestinos. El circuito normal para controlar la vejiga se vuelve ineficaz; ya no se pueden intercambiar mensajes entre los músculos de la vejiga y el cerebro. Hay una amplia gama de técnicas y herramientas disponibles para controlar esta disfunción. Entre ellos se puede aplicar la FES a través de una neuroprótesis que mediante un sensor detecte el volumen de orina y desencadene la estimulación necesaria para la micción.

Por último, mencionaré el sistema de telerrehabilitación (TR). Uno de los puntos clave para el éxito de los programas de rehabilitación (PR) es el apego a los mismos. Por lo general, son tratamientos a largo plazo que, deben incluir soporte especializado y entrenamiento continuo, así como, apoyo social. La mayoría de las veces que “fracasan” los PR es porque el paciente no le da continuidad en su casa. Surgen varios problemas tanto para el paciente como para su cuidador, entre ellos están la movilidad a los centros especializados de atención médica y los costos asociados al traslado. Para vencer, superar o disminuir estos obstáculos hoy en día se está, aplicando las tecnologías de la información y comunicaciones para desarrollar sistemas de telerrehabilitación. Al día de hoy, en el INRLGII se tiene implementado el primer módulo del TR para apoyar y dar seguimiento a las terapias de la lesión parcial del manguito rotor.

## **Conclusión**

En los procesos de Neuroplasticidad y Neurorrehabilitación, se obtienen resultados prometedores cuando la tecnología o equipo médico se aplica de manera oportuna, bajo prescripción médica y con la capacitación o entrenamiento adecuado. No toda la tecnología se debe usar para todos los pacientes, la evaluación clínica es indispensable, los dispositivos médicos se deben prescribir bajo criterios clínicos, así como se hace para la prescripción de medicamentos.

## Referencias

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. México: autor. Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx?tema=P>