

GENERACIÓN DE PRODUCTOS PARA LA NEUROTECNOLOGÍA DESDE LAS EXPERIENCIAS DEL CENTRO DE NEUROCIENCIAS DE CUBA

GENERATION OF PRODUCTS FOR THE NEUROTECHNOLOGY BASED ON THE CUBAN CENTER FOR NEUROSCIENCE EXPERIENCES

Miguel Alejandro Fernández Alemán ^{a,*}(0000-0001-6475-175X)
Tania Yadira Aznielle Rodríguez ^a (0000-0002-3345-352X)

^a Centro de Neurociencias de Cuba

a,* mfernandeza11@gmail.com

Recibido: 11 de noviembre de 2025;

Aceptado: 12 de diciembre de 2025;

RESUMEN

La neurotecnología es un campo interdisciplinario en constante transformación. En Cuba, su desarrollo ha sido impulsado en gran medida por la labor del Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO). El objetivo es exponer los avances en la generación de los productos para la neurotecnología desde las experiencias del CNEURO. Se realizó una investigación cualitativa de revisión documental con enfoque exploratorio. Se empleó Google Académico para la búsqueda de publicaciones científicas en revistas indexadas en Scielo, Scopus y Web of Science. Se incluyeron también artículos de conferencias y publicaciones del periódico Granma en su versión digital, así como manuales de usuario de los productos. Se analizaron 49 resultados, de los cuales se seleccionaron 22. Además, se realizaron entrevistas a investigadores del CNEURO para enriquecer la investigación. La generación de productos enfocados en la neurotecnología se agrupó en: sistemas de software y equipos y dispositivos médicos. Se describe una variada cartera de productos del CNEURO, su historia y evolución. Todos ellos han beneficiado la salud y la educación de nuestro pueblo a lo largo de más de 30 años y han contribuido a elevar los ingresos por exportaciones a la economía cubana. CNEURO ha logrado destacados progresos gracias a su enfoque en la innovación, mediante colaboraciones estratégicas tanto nacionales como internacionales. La continuidad de la generación de productos para la neurotecnología en Cuba es esencial para el desarrollo sostenible del país.

Palabras clave: neurotecnología; neurociencia; diagnóstico neurofisiológico; equipos médicos; dispositivos médicos; Centro de Neurociencias de Cuba.

ABSTRACT

Neurotechnology, as a scientific field, is an interdisciplinary field in constant transformation. In Cuba, its development has been significantly driven by the work of the Cuban Center for Neuroscience (CNEURO). The objective is to present advancements in the generation of biotechnology products for the neurotechnology based on CNEURO's experiences. A qualitative research study with an exploratory approach was conducted through a document review. Google Scholar was utilized to search for scientific publications in indexed in Scielo, Scopus and Web of Science. Additionally, conference articles, publications from the Cuban newspaper Granma (digital version) and user manuals for the products were included. A total of 49 results were analyzed, out of which 22 were selected. Interviews with CNEURO researchers were also conducted to improve the study. The generation of products focused neurotechnology was categorized into software systems and medical equipment and medical devices. A diverse portfolio of CNEURO products, their history, and evolution is described. Over more than 30 years, these products have benefited public health and education in Cuba while contributing to increased export revenues for the national economy. CNEURO has achieved remarkable progress through its focus on innovation and strategic collaborations at both national and international levels. The progress of products for the neurotechnology in Cuba is essential for the country's sustainable development.

Keywords: neurotechnology; neuroscience; neurophysiological diagnosis; medical equipment; medical devices; Cuban Center for Neuroscience.



INTRODUCCIÓN

La neurociencia, como campo interdisciplinario, favorece el desarrollo y uso de nuevas tecnologías que transforman tanto la investigación como la práctica clínica. Esto ha dado lugar al desarrollo de la neurotecnología, una rama en constante transformación que combina neurociencia e ingeniería para comprender el sistema nervioso y aplicarse en diversas áreas médicas. (Ienca & Andorno, 2017; León Vásquez, 2022)

Durante la última década se han impulsado iniciativas gubernamentales en investigaciones que combinan neurociencia y neurotecnología (*Human Brain Project*, *US Brain Initiative*, *Human Conectome Project*, *Brain/MINDS* y *China Brain Project*). Esto ha conllevado a que empresas internacionales desarrollen nuevos equipos y dispositivos médicos, entre los que se destacan los dispositivos robóticos y las herramientas de rehabilitación para ayudar a los pacientes a recuperar habilidades motoras y cognitivas. (Barrios et al., 2017; Lebedev & Nicolelis, 2017)

Además, el desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA) abre nuevas posibilidades para el análisis y la interpretación de datos neuronales. La convergencia entre la neurotecnología y la IA ha conducido a la creación de interfaces cerebro-computadora con mayor acceso a la información del cerebro. (Bastidas Cid, 2022)

En Cuba, el desarrollo de la neurotecnología es una de las estrategias del Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO) desde su fundación. Este centro investiga, desarrolla, produce y comercializa productos para la neurotecnología, con el propósito de proteger el capital mental de la nación, apoyar la actividad educativa y aportar a la economía del país. CNEURO también desarrolla y comercializa productos de terceros que diversifican la oferta de la empresa.

Esta amplia actividad desplegada por CNEURO y los avances en el desarrollo de los productos para la neurotecnología no se ha reflejado adecuadamente en publicaciones, fundamentalmente relacionadas con los productos más recientes, aspecto que motivó la realización de esta investigación. El objetivo es exponer los avances en la generación de los productos para la neurotecnología desde las experiencias del CNEURO.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una investigación cualitativa de revisión documental con enfoque exploratorio. Se diseñó una estrategia de búsqueda con el uso de los operadores lógicos AND/OR combinados con las palabras clave de la presente investigación en ambos idiomas. Se empleó

el motor de búsqueda Google Académico. Se seleccionaron publicaciones científicas en revistas de acceso abierto y de políticas de revisión por pares indexadas en bases de datos como Scielo, Scopus y

Web of Science. Además, se incluyeron artículos de conferencias y publicaciones del periódico cubano Granma en su versión digital, así como los manuales de usuario de los productos. Como la cantidad de información ampliada y reciente no fue significativa, el período analizado se extendió a los últimos 15 años. Se encontraron 49 resultados, de los cuales se seleccionaron 22 que responden al objetivo de investigación.

Se realizaron también entrevistas a investigadores del CNEURO, lo que permitió la organización y comprensión de los hechos, datos históricos y fenómenos sociales que influyeron en el avance en el desarrollo de productos para la neurotecnología.

Los productos que se presentan en esta investigación se producen bajo el estándar de calidad ISO 13485, específico para los equipos y dispositivos médicos. Los protocolos utilizados en la validación clínica de los mismos fueron aprobados por el Consejo Científico y el Comité de Ética del CNEURO y de las instituciones que colaboraron, incluyendo también el consentimiento informado de participantes. Los productos introducidos en el Sistema Nacional de Salud cuentan con el registro sanitario otorgado por el Centro para el Control Estatal de Medicamentos, Equipos y Dispositivos Médicos (CECMED), y los que se encuentran en desarrollo aspiran a obtenerlo. Además, los sistemas software cuentan con el registro de derecho de autor otorgado por el Centro Nacional de Derecho de Autor (CENDA).

DESARROLLO

Surgimiento de la neurotecnología en Cuba desde el contexto del CNEURO

La neurotecnología en Cuba tiene una historia rica y progresiva. Su desarrollo se debe en gran parte a la creación del CNEURO. Este centro tiene sus orígenes en el Departamento de Neurofisiología en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC), creado en 1969 con la colaboración de científicos de otras naciones como Bjorn Holgrem, Ruth Urbá y Thalía Harmony. (Rodríguez García, 2013)

Desde sus inicios, el departamento se enfocó en la utilización de métodos computacionales para analizar la actividad eléctrica cerebral. Un resultado significativo de esta labor fue el desarrollo del primer equipo médico cubano, el MEDICID, lo que marcó un



hito en el avance de la neurotecnología en Cuba. Este resultado, unido a otros alcanzados durante la década del 80, sirvió de base para que el Consejo de Estado fundara el CNEURO en 1990 como una institución dedicada al estudio de las neurociencias. (Rodríguez García, 2013) Sin embargo, no es hasta el 2005 que se consolidada como centro completamente independiente.

Actualmente, CNEURO es un centro de alta tecnología con un esquema externo que se compone de tres empresas en el exterior: Tecnosuma Internacional S. A. - Sucursal Colombia, Neuronic Mexicana S. A. de C.V. e IC NEURONIC S.L (ICN) en España. Aunque todas tienen como objetivo la comercialización de los productos desarrollados por CNEURO, la empresa ICN se encarga además de la fabricación de los equipos y dispositivos médicos.

Para la explicación de los productos para la neurotecnología desarrollados por el CNEURO, se han agrupado en: sistemas de software y equipos y dispositivos médicos.

Sistemas de software

Los sistemas de software desarrollados no requieren de su ejecución acoplado a un equipo o dispositivo médico y son el resultado de investigaciones relacionadas con: neurodesarrollo infantil, envejecimiento y procesamiento de imágenes médicas.

Neurodesarrollo infantil

La génesis del desarrollo de esta línea de productos fue un sistema destinado a la pesquisa de desviaciones del neurodesarrollo pediátrico en niños entre 3 meses y 6 años de edad, el NPED (CENDA, 2007). Este sistema incluye varios instrumentos estandarizados para evaluar diversas áreas del neurodesarrollo: psicomotor, lenguaje/comunicación y sensorial. Asimismo, incorpora otras pruebas para la exploración auditiva (CENDA 2010, TestAUD) y visual (CENDA 2010, TestVIS).

La primera versión del NPED estuvo soportada sobre PDA (del inglés *Personal Digital Assistant*). Posteriormente se implementó en tabletas y computadoras, y se le incorporó la exportación de la información a una base de datos y el análisis estadístico (CENDA 2012, NPedDesk). Su sencillo diseño y fácil operatividad permite su uso por personal entrenado, no necesariamente especializado. (Santos-Febles et al., 2012) Posteriormente, se implementó NPED Estimulación Guía para Padres en Android (CENDA, 2020), una guía electrónica que permite conocer las

habilidades que el niño debe adquirir según la edad y las áreas de desarrollo, incluyendo recomendaciones de actividades para la adecuada estimulación. (Estévez Pérez et al., 2022)

Para la edad escolar comprendida entre los 6 y 12 años se implementó el sistema multiplataforma OptimA. Este sistema, que comenzó su aplicación en los Centros de Diagnóstico y Orientación del Ministerio de Educación, incluye las aplicaciones OptimA-Pesquisa, para el tamiz de trastornos neurocognitivos atípicos (CENDA 2010), y OptimA-Evaluación para su diagnóstico (CENDA 2014). (Estévez Pérez et al., 2022) Además, posee el módulo de OptimA-Estimulación, que incorpora paquetes de juegos en tecnología móvil para el entrenamiento intensivo de las habilidades básicas en niños.

Recientemente se ha desarrollado el Sistema de Atención Integral del Desarrollo Infantil (SAIDI), plataforma inteligente que integra los datos del niño recopilados, desde la etapa prenatal hasta la posnatal, en los diferentes programas y servicios atendidos por el Ministerio de Salud Pública y el Ministerio de Educación. Constituye un registro digital centralizado para el seguimiento de la atención integral a la salud infantil. Estos datos permiten la identificación de variables, factores de riesgo, factores protectores e indicadores negativos y positivos del desarrollo infantil en una base de datos central. Además, facilitan el desarrollo de algoritmos y métodos de análisis longitudinal para el procesamiento de datos y el cálculo de indicadores y clasificaciones relevantes.

Envejecimiento

CNEURO trabaja de conjunto con el Centro de Investigaciones sobre Longevidad, Envejecimiento y Salud y la Empresa de Tecnologías de la Información y Servicios Telemáticos Avanzados en el desarrollo del sistema NeuroGer, plataforma para la pesquisa, evaluación y rehabilitación de trastornos en el adulto mayor. Este sistema está concebido para utilizarse en tecnología móvil y se conforma de un paquete de cuatro aplicaciones:

1. NeuroGer Pesquisa (CENDA y CECMED 2023): explora esferas de la evaluación geriátrica y evalúa objetivamente el desempeño físico y el estado cognitivo y clínico en el adulto mayor.
2. NeuroGer Evaluación: se encuentra en fase de desarrollo y permite evaluar y diagnosticar los trastornos cognitivos del adulto mayor.
3. NeuroGer Estimulación: estimula dominios cognitivos como la memoria, la



atención y funciones ejecutivas afectadas, incorporando videojuegos con fines terapéuticos. Actualmente se realiza su validación clínica para el registro sanitario ante el CECMED.

4. NeuroGer Asistente al Cuidador (CENDA 2023): orientada a la atención personalizada e identificación de las necesidades de los cuidadores de los adultos mayores. Contiene módulos que aportan soluciones prácticas para el autocuidado de los cuidadores.

Procesamiento de imágenes

Aunque existen antecedentes de aplicaciones en las cuales se realiza el procesamiento de imágenes relacionadas con el análisis del electroencefalograma, no es hasta el desarrollo del sistema NeumoDiagRx, en colaboración con la empresa Avangenio y otras instituciones médicas y científicas, que se obtiene el registro sanitario de una aplicación de este tipo (CENDA 2021, CECMED 2023). NeumoDiagRx es un software multiplataforma destinado a la estandarización, agilización y procesamiento de información derivada de imágenes de rayos X y tomografía computarizada del tórax, aportadas por varias instituciones de salud para conformar una base de datos de imágenes, en respuesta a la COVID-19. (Garea Llano et al., 2021) Durante la pandemia, dichas imágenes se usaban para diagnóstico, pronóstico y seguimiento de la enfermedad, pero la falta de criterios homogéneos en su evaluación y la escasez de expertos dificultaban su interpretación, lo que podía conducir a errores en el diagnóstico.

En ese sentido, NeumoDiagRx utiliza la IA para ofrecer un pronóstico de la identificación de posibles casos positivos de COVID-19, lo que simplifica el trabajo del radiólogo, generando un reporte radiológico automatizado y estandarizado. (Peláez, 2021)

Otro sistema en desarrollo es NeuroPlanUS, que comenzó como un proyecto de investigación del CNEURO en 2012. Inicialmente se creó un prototipo en Matlab con visualizador y planificador quirúrgico basado en el procesamiento de neuroimágenes. Entre 2022-2023 se implementó en Python, en colaboración con Avangenio, para ejecutarse sin la dependencia de Matlab. El resultado es un sistema que procesa y visualiza de manera tridimensional diversas neuroimágenes obtenidas por resonancia magnética, tomografía axial computarizada y otras técnicas de neuroimágenes, con el objetivo de optimizar la planificación y asistencia intraoperatoria en cirugías de tumores cerebrales. NeuroPlanUS se utiliza como apoyo a los neurocirujanos en el Centro de

Investigaciones Médico Quirúrgicas, para planificar o simular procedimientos quirúrgicos antes de la intervención real. Los resultados constituyen un referente para su posterior validación clínica ante el CECMED.

Equipos y dispositivos médicos

Otra rama importante en la generación de productos para la neurotecnología son los equipos y dispositivos médicos, los cuales funcionan con software interno o programas médicos para el análisis e interpretación de los resultados.

MEDICID

Este encefalógrafo digital desarrollado en 1981 por un colectivo de investigadores del CNIC, encabezado por los hermanos doctores Mitchell y Pedro Valdés Sosa, y el Instituto Central de Investigación Digital (ICID), constituye el primer equipo médico cubano cuya primera versión fue exportada a México con el apoyo de la investigadora Thalía Harmony. Este resultado hizo que el CNEURO se considere la empresa pionera en la industria médica cubana. Posteriormente, se han desarrollado otras versiones de mejoras del equipo como MEDICID 3M en 1988, fabricado en la industria nacional, MEDICID 3E (1993), producido con una empresa francesa y MEDICID 4 (1998), primero de su tipo fabricado en la empresa ICN. Para 2004, se diseña y produce MEDICID 5, electroencefalógrafo digital que aún hoy se comercializa.

MEDICID 5 utiliza los programas médicos:

- a) Neuronic EEG para registrar, almacenar y analizar el electroencefalograma (EEG) en entornos clínicos. Además, se utiliza en el campo de la investigación para el análisis cuantitativo del EEG, que permite eliminar la subjetividad en el análisis y visualizar detalles específicos de esta señal. (NEURONIC, 2010b)

- b) Neuronic EEGc-UCI para realizar registros del EEG de larga duración en Unidades de Cuidados Intensivos (UCI).

Estos softwares se combinan con una cámara de video para registrar el comportamiento del paciente y correlacionarlo con el EEG. En la figura 1 se observa la evolución del MEDICID.



Fig. 1. Evolución del MEDICID, a) MEDICID 3, b) MEDICID 3E y c) MEDICID 5



MEDICID Fénix

El MEDICID Fénix (figura 2) es una variante reducida del MEDICID, creado con la idea de un equipo más sencillo, portable y con menor número de canales (19) optimizado para el empleo del montaje 10/20. (Rios-Arismendy et al., 2021) Es utilizado para la rutina clínica de EEG tradicional y en terapias y servicios de urgencias, fundamentalmente. Se emplea con el software Neuronic EEG.



Fig. 2. Equipo MEDICID Fénix, optimizado para el montaje 10/20

MEDICID Panda

El MEDICID Panda (figura 3) es otra variante del MEDICID, conocido como polisomnógrafo digital. Está orientado a la evaluación de los trastornos del sueño mediante el registro y análisis de señales polisomnográficas. Utiliza el software Neuronic Sueño, diseñado para registrar el electroencefalograma unido a otras variables fisiológicas que facilitan la evaluación del sueño.



Fig. 3. Equipo MEDICID Panda con su Bloque de Control

MEDICID 5-64 / MEDICID 5-132

El MEDICID 5 de 64 o 132 canales de registro, conocido coloquialmente como “muchicanal”, fue diseñado en 2005 como una variante del MEDICID, destinado mayormente a las investigaciones en el campo de la Psicofisiología. Los estudios que se realizan en este campo requieren de alta resolución espacial cuando se

registra el EEG para la precisión del diagnóstico de lo que se investiga, de ahí el mayor número de canales de registro. Se utiliza con las aplicaciones médicas incluidas en el sistema software Neuronic Suite de Psicofisiología, así como para el registro y análisis de los Potenciales Evocados Relacionados a Eventos.

NEURONICA

Este equipo se utiliza para el registro y análisis de los Potenciales Evocados (PE), y la electroneuromiografía, facilitando el estudio del sistema nervioso central (SNC) y el periférico. (NEURONIC, 2012) Emplea técnicas digitales para el procesamiento de las señales eléctricas registradas y la obtención de parámetros cuantitativos que ayudan al diagnóstico emitido por los especialistas.

La NEURONICA ha evolucionado con el tiempo en su diseño y prestaciones (figura 4). Su primera versión, NEURONICA 2, se desarrolló en 1985. La siguiente fue la NEURONICA 4 en 1998. En el 2004 se obtuvo la versión 5 y en el 2007 aparece la versión 5I con mejoras en la usabilidad y rendimiento del equipo.

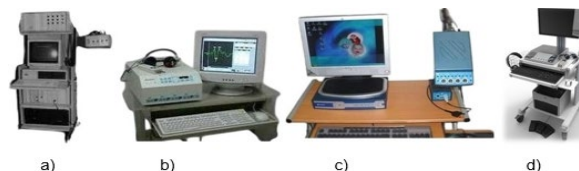


Fig. 4. Evolución de la NEURONICA, a) NEURONICA 2, b) NEURONICA 4, c) NEURONICA 5, d) NEURONICA 5I

Este equipo se utiliza en combinación con dos sistemas de aplicaciones:

- Neuronic PE para el registro y análisis de los PE Somatosensoriales (PESS), Visuales (PEV) y Auditivos (PEA).
- Neuronic EMG para estudios electroneuromiográficos mediante las aplicaciones Electromiografía, Estudios de Conducción Nerviosa, Onda F, Reflejo H, Reflejo de Parpadeo y Estimulación Nerviosa Repetitiva.

NEURONICA 5M

La NEURONICA 5M se utiliza para la monitorización intraoperatoria (MNIO) en actos quirúrgicos, donde se requiere de la participación de un equipo multidisciplinario. Aunque se realizaron intentos previos de contar con un sistema de MNIO en la NEURONICA 2 durante los años 90, no es hasta el 2010 que logra desarrollarse la NEURONICA 5M a partir de la NEURONICA 5, a la que se le incorporan

las facilidades requeridas en el contexto de la MNIO como un mayor número de canales y de sitios de estimulación. Este equipo utiliza el software Neuronic MNIO que, mediante el registro de PE multimodales, funciona como un sistema de alerta para advertir al neurocirujano si alguna estructura nerviosa está en riesgo de ser dañada, lo que implica continuar o no con el proceder quirúrgico, además incluir EMG, estimulación de pedículo nervioso, de tornillo y de fibras nerviosas.

AUDIX

El AUDIX fue desarrollado entre 1994-2002 a partir de la NEURONICA 4, como una particularización para los PEA (NEURONIC, 2010a). En ese período, CNEURO estableció una colaboración con un grupo de investigadores canadienses liderados por el profesor Terence W. Picton, que exploraban la técnica PEA de Estado Estable (PEAee) en aquel entonces. Esta alianza permitió integrar los hallazgos de sus investigaciones en un sistema de registro, que fue lanzado al mercado internacional y producido por la empresa ICN. De ese modo, el AUDIX se convirtió en el primer electroaudiómetro computarizado a nivel internacional en implementar la técnica de PEAee.

Desde su creación, el AUDIX 4 se introdujo en los hospitales cubanos y en el 2004, se sustituyó por la versión 5 (figura 5). El equipo es útil para el diagnóstico topográfico en la localización de lesiones en la vía auditiva y en la electroaudiometría con los PEAee (Montoya Pedrón, 2011), PEA transientes (PEAt) y audiometrías conductuales. Las técnicas PEAee y PEAt son pruebas objetivas muy utilizadas en pacientes que no cooperan por determinadas condiciones.

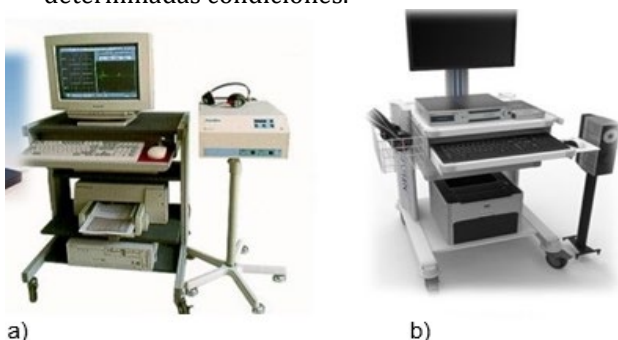


Fig. 5. Evolución del AUDIX, a) AUDIX 4 y b) AUDIX 5

La información precisa obtenida a través de las evaluaciones realizadas con este electroaudiómetro se ha utilizado en programas de rehabilitación auditiva y en la evaluación de candidatos a de implantes cocleares, moldes o prótesis auditivas. Estos

dispositivos mejoran la calidad de vida de los pacientes y su integración en entornos educativos y sociales.

Los programas médicos que se ejecutan con AUDIX son:

- a) Neuronic Audiología, para la evaluación auditiva a través de los PEAee, PEAt y la audiometría.
- b) Neuronic Pesquisaje Auditivo Baby Screen, para la evaluación auditiva en niños.

Agrupación en familia de los equipos médicos

Los equipos médicos para el diagnóstico neurofisiológico (MEDICID, NEURONICA y AUDIX) se agrupan en familias evolutivas que se caracterizan por presentar una línea visual similar en su diseño y fabricación. La familia 3 solo estuvo conformada por los equipos MEDICID (3, 3E y 3M) y la NEURONICA 2. Se produjeron en la industria nacional y no guardaron una unidad visual entre ellos.

La familia 4 es la primera producida en la empresa ICN e integrada por todos los equipos. El tamaño de los equipos se redujo drásticamente por el uso de una electrónica más integrada. A continuación, la familia 5 continuó reduciendo el tamaño de la electrónica e introdujo mejoras en la usabilidad de los mismos al incorporar en el hardware electrónico una computadora de uso industrial. Esta familia ha tenido varias versiones y es la que se comercializa hoy en día.

Estos equipos médicos se fabrican en la empresa ICN cumpliendo los estándares de calidad establecidos en la Unión Europea (UE) y con el Sistema de Gestión de la Calidad basado en la norma ISO 13485 para los equipos y dispositivos médicos. (Ramos Ramos et al., 2021) Son, además, los únicos equipos médicos cubanos que cuentan con el marcado CE (Conformidad Europea), lo que facilita su comercialización en la UE y su registro en países de otras regiones del mundo. Además de contar con el registro sanitario en Cuba, están registrados también en Venezuela, México, Perú y Colombia.

Equipo de Pesquisa Universal (EPU)

La aplicación Baby Screen, que se ejecutaba con el equipo AUDIX, constituyó la primera versión de un sistema de pesquisa destinado a la detección de problemas auditivos en niños. Los resultados obtenidos con ella permitieron identificar, de manera temprana, a aquellos infantes que

presentaban dificultades auditivas en el momento de su introducción.

A partir de esta experiencia, se desarrolló un primer



Fig. 6. Dispositivo EPU y sus accesorios

dispositivo portable en PDA, que tuviera en cuenta las condiciones requeridas en la pesquisa auditiva: ergonomía, software automatizado con interfaz amigable y alimentado por una batería recargable. Surge entonces en el 2007 el EPU (figura 6), dispositivo para registrar, procesar y evaluar la respuesta de los PEAAe, con el objetivo de discriminar entre audición normal y anormal e identificar si el trastorno auditivo es de tipo conductivo o sensorineural. Esta invención fue registrada en una patente (WO 2010/009681 A1) y, aunque solo se produjo un lote y no se comercializó, sentó las bases para la creación del INFANTIX.

INFANTIX

Equipo diseñado para realizar pruebas de pesquisa o tamizaje auditivo y visual, principalmente en neonatos e infantes. (Carlos Santos-Ceballos et al., 2020) Este dispositivo, concebido como un sistema inteligente, incorpora métodos de procesamiento que automatizan las pruebas de tamizaje y proporcionan resultados en cuestión de segundos para indicar si el paciente ha pasado la prueba, necesita ser referido o debe repetirla. En caso de ser referido, el paciente se remite a un especialista para el diagnóstico con equipos como el AUDIX o la NEURONICA.

En la figura 7 se observa que el INFANTIX cuenta con Módulo de Control al que se acoplan diferentes módulos según la prueba que se desee realizar. (Arnáiz Márquez et al., 2021)



Fig. 7. Dispositivo INFANTIX con sus módulos.

El módulo de Registro de Potenciales Evocados permite realizar las pruebas PEATC y PEAAe (CECMED 2019) y los PEV (CECMED 2020) para evaluar la integridad de la vía visual. Con el módulo de registro de Emisiones Otoacústicas (EOA, CECMED 2022) se pueden realizar las EOA transientes y producto distorsión. La versatilidad del INFANTIX se debe a su diseño abierto, que permite incorporar módulos o nuevas funcionalidades según las necesidades, ya sea mediante periféricos externos o un nuevo *firmware* en el dispositivo. En ese sentido, se implementan mejoras en el tamizaje visual en la automatización de las pruebas, así como la incorporación del tamizaje cardiovascular. CNEURO aspira a convertir el INFANTIX en un dispositivo de pesquisa nacional. El objetivo es lograr detectar de manera temprana cualquier problema auditivo o visual antes de que el niño sea dado de alta de la maternidad, lo que asegura que pueda alcanzar un neurodesarrollo óptimo. Aunque ya se utiliza en algunos hospitales maternos, su expansión a otros centros hospitalarios del país sigue en curso.

ESTEP

Es un dispositivo médico de uso personal para la terapia complementaria de la Epilepsia Fármaco Resistente, mediante la estimulación eléctrica transcutánea de la rama izquierda del nervio vago. La epilepsia es una de las tres enfermedades neurológicas de mayor prevalencia a nivel mundial y Cuba no es una excepción. (Gonzalez-Fernandez et al., 2024; Kim et al., 2022) En los casos en que la enfermedad resulta farmacorresistente, el paciente puede tener criterio quirúrgico, aunque estos procedimientos suelen ser complejos y costosos, y solo un número limitado de pacientes puede acceder a ellos; por ello, se hace necesario recurrir a terapias complementarias. (Gonzalez-Fernandez et al., 2024) Entre estas, la estimulación eléctrica del nervio vago es la más difundida y exitosa.

El dispositivo ESTEP (CECMED 2023) es de fácil uso, requiriendo el paciente un adiestramiento mínimo

para su uso. El estímulo eléctrico y las sesiones terapéuticas, duración y frecuencia son programados por el especialista médico que atiende al paciente. El estímulo terapéutico se aplica mediante dos electrodos, empotrados en un soporte plástico que se ajusta automáticamente a la concha de la oreja izquierda, los que se conectan mediante un cable al dispositivo ESTEP (figura 8).



Fig. 8. Dispositivo ESTEP con su cable de estimulación.

En ensayos realizados en Cuba, se ha podido corroborar que la cantidad de crisis mensuales disminuye en más del 50 % tras seis meses de terapia en más del 80% de los pacientes. De este modo, se logra, en algunos casos, la eliminación total de las crisis. (Peláez, 2024b) Estos resultados se obtienen con una terapia que se aplica el propio paciente en su hogar, sin necesidad de hospitalización ni de tratamientos invasivos.

Ventiladores pulmonares

Los ventiladores pulmonares VentiPAP y PCUVENTE se desarrollaron en respuesta a la urgente necesidad de dispositivos de ventilación, en un contexto marcado por la insuficiencia de ventiladores de altas prestaciones durante la pandemia de COVID-19.

El VentiPAP es el un ventilador pulmonar que utiliza presión positiva continua en las vías respiratorias. Es no invasivo y consiste en evitar la intubación y permitir que los pacientes respiren espontáneamente con un nivel de presión superior a la atmosférica (figura 9a). (López González et al., 2022) Se desarrolló en colaboración con el Centro de Inmunoensayo, teniendo en cuenta una propuesta de código abierto de University College of London para su diseño neumático, pero la parte electrónica es propia de CNEURO. El ventilador está destinado a pacientes con distrés respiratorio menos severo.

El ventilador de emergencia PCUVENTE se diseñó para proporcionar ventilación mecánica invasiva a pacientes en estado crítico. Su funcionamiento se basa en un modelo volumétrico que utiliza la compresión

mecánica de una bolsa de resucitación manual (figura 9b). Su producción se basó en diseños de código abierto del Instituto Tecnológico de Massachusetts y con tecnología cubana. (del Sol González; Yaditza & Martínez Rodríguez, 2021) PCUVENTE se emplea en salas de emergencias y recuperación anestésica para pacientes adultos con enfermedades obstructivas pulmonares. También durante el traslado de pacientes dentro o fuera de los hospitales, en períodos cortos que no superan las 24 horas, así como en situaciones que requieren soporte respiratorio inmediato. (del Sol González; Yaditza & Martínez Rodríguez, 2021)

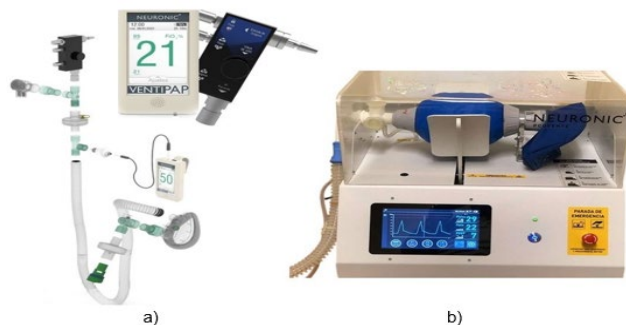


Fig. 9. Ventiladores pulmonares: a) VentiPAP y b) PCUVENTE.

Estos ventiladores se utilizaron con resultados positivos para los pacientes ventilados. (González et al., 2022) Hasta el momento, solo VentiPAP está registrado ante el CECMED y el PCUVENTE cuenta con el permiso de uso con propósitos especiales.

Tomógrafo Neuronic Vigilvent

Dispositivos de más reciente desarrollo (figura 10) que se basa en la tomografía de impedancia eléctrica (TIE), técnica de imágenes no invasiva y libre de radiación para monitorear en tiempo real y a pie de cama la dinámica ventilatoria y la distribución de la ventilación regional en el paciente grave. (López González et al., 2022) Se prevé su uso en Unidades de Cuidados Intensivos y en salas quirúrgicas donde se emplee la ventilación mecánica, con el objetivo de optimizar los parámetros utilizados en el ventilador mecánico.

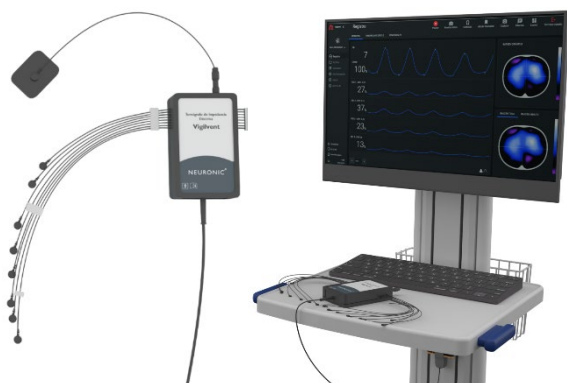


Fig. 10. Tomógrafo Neuronic Vigilvent

Neuronic Vigilvent puede utilizarse en el seguimiento de afecciones respiratorias para minimizar el riesgo de lesión pulmonar, ya que permite identificar directamente si las regiones pulmonares afectadas por atelectasia pueden abrirse mediante maniobras específicas y sin provocar sobredistensión. (Peláez, 2024a) Este dispositivo se distingue de otros en la competencia del mercado internacional, por el uso de algoritmos matemáticos para obtener las imágenes médicas y accesorios con diseños propios de tecnología cubana. (Peláez, 2024a) Se encuentra en etapa de ensayos clínicos para la obtención del registro sanitario en el CECMED.

Otros productos neurotecnológicos de terceros

CNEURO no solo desarrolla equipos en colaboración con otras instituciones cubanas e internacionales, sino que también produce y comercializa equipos de terceros a través de las empresas del CNEURO en el exterior. Este proceso se conoce como productos OEM (*Original Equipment Manufacturer*), que se refiere a empresas que fabrican productos que luego son comercializados por otras marcas bajo su propio nombre.

En ese sentido, CNEURO estableció una colaboración con la empresa italiana Horentek especializada en investigaciones en el campo de la audiolología. Horentek ha desarrollado una filosofía según la cual, en el contexto del problema de la sordera, sería más natural de concebir el lanzamiento de los productos enmarcándolo como una venta de un servicio en lugar de una venta bruta de productos, para garantizar el acceso al servicio a segmentos más amplios de la población.

AUDIOLAB y EMIXI

En ambos dispositivos, el registro de las pruebas es en tiempo breve y no invasivo. El AUDIOLAB permite realizar varios test audiométricos y específicos para determinar el nivel auditivo de un paciente en cada uno de sus oídos. Se utiliza para evaluar la audición en niños mayores y todo paciente que coopere al examen conductual (prueba subjetiva). En el caso del equipo de EMIXI es un aparato electromédico para la adquisición de señales acústicas y eléctricas de baja intensidad. La generación de estímulos acústicos se utiliza para realizar diagnósticos audiológicos: pruebas para la detección de las emisiones otoacústicas y los potenciales evocados (pruebas objetivas).

Es importante destacar que estos fueron los primeros dispositivos utilizados en el campo de la audiolología en Cuba y, en su momento, obtuvieron el registro por el CECMED. Sin embargo, con el tiempo están siendo reemplazados por productos nacionales con mayores prestaciones, que marcan un avance significativo en la soberanía tecnológica cubana. El AUDIX en su versión 6 sustituirá al AUDIOLAB, mientras que el EMIXI por el INFANTIX, lo que marca un avance en la soberanía tecnológica cubana.

Prótesis Auditivas

La fabricación de prótesis auditivas digitales se inició en 2011 mediante el uso de tecnologías de escaneo e impresión tridimensional. En la actualidad, se fabrican dos tipos que responden a la norma ISO 13485:

- Moldes para dispositivos retroauriculares (registro CECMED 2018), se aplican detrás del pabellón de la oreja, destinados a pacientes con pérdida auditiva moderada, severa o profunda. El sonido se transmite en el canal de un accesorio dentro del oído (molde auditivo) y son esencialmente constituidas por dos semi-carcasas que encierran los componentes electrónicos.
- Carcasas para dispositivos intraauriculares (registro CECMED 2018), sistema compuesto por un componente electrónico y por una carcasa hecha a la medida del oído de cada paciente para aquellos con pérdida auditiva leve a moderada. En este caso la prótesis auditiva está formada por un solo elemento que se inserta dentro del oído. CNEURO es la única empresa que, hasta el momento, suministra estos dispositivos a toda Cuba.

El flujo de trabajo para la fabricación de prótesis auditivas se lleva a cabo en varias etapas. El proceso comienza cuando el paciente visita un centro auditivo para determinar la gravedad y el tipo de pérdida auditiva. El especialista evalúa si el paciente necesita un dispositivo retroauricular o intraauricular. A continuación, se toma una impresión del oído del paciente y se envía a CNEURO por correo postal para realizar un escaneado e impresión tridimensional. Al finalizar, se lleva a cabo un proceso de pulido y acabado de la prótesis.

Se instalan los escáneres 3D en los centros auditivos de diferentes provincias del país, para crear laboratorios digitales de prótesis auditivas y eliminar retrasos asociados con el envío físico de las impresiones por correo postal. Como resultado, se agilizará la fabricación y optimización del tiempo de entrega del producto al paciente.

El escáner e impresión tridimensional garantizan mayor precisión y personalización en el diseño de moldes o carcasas en comparación con las prótesis fabricadas manualmente. También este proceso permite una fabricación más rápida, lo que contribuye a reducir costos sin comprometer la calidad. Es fundamental señalar que las prótesis auditivas representan solo el inicio de las innovaciones en el ámbito de la tecnología tridimensional en CNEURO. Se exploran nuevos proyectos que abarcan el desarrollo de prótesis dentales y maxilofaciales.

CONCLUSIONES

En Cuba, el desarrollo de la neurotecnología es una de las estrategias del CNEURO desde hace varios años. Este centro mantiene con éxito un ciclo cerrado de investigación, desarrollo, producción y comercialización de productos neurotecnológicos, orientado a proteger el capital mental de la nación, apoyar la actividad educativa y aportar a la economía. Como resultado de esta labor, CNEURO ha alcanzado un elevado reconocimiento nacional e internacional, tanto por sus contribuciones en el ámbito de la investigación básica como por su intensa actividad de cooperación y relaciones con instituciones del país y del extranjero. En correspondencia con este contexto institucional y científico, la presente investigación se concibe como un material de consulta y estudio para la formación de nuevas generaciones en ramas afines a la neurotecnología. En ella se documentan la variada cartera de productos desarrollados por el CNEURO a lo largo de los años, agrupados en las categorías de sistemas de software y equipos y dispositivos médicos. Asimismo, se evidencia el compromiso del centro con el desarrollo de productos novedosos, lo cual contribuye a posicionar la ciencia y la tecnología cubana a un nivel destacado. A ello se agrega el modelo de referencia que sienta CNEURO para otras instituciones en países del tercer mundo que buscan impulsar el desarrollo de la neurotecnología, a través de la innovación y colaboraciones estratégicas.

Agradecimientos

Los autores agradecemos la información aportada durante las entrevistas a los investigadores: Dr. José Antonio Gaya Vázquez, Dra. C. María del Carmen Machado Lubián, Dra. Ana Fernández Nin, Dr. C. Evelio González Dalmau, Dr. C. Eduardo Martínez Montes, M. Sc. Ernesto Velarde Reyes, Ing. Yosvani Pantoja Gómez, Dr. C. Rene Iván González Fernández, Ing. Javier Villate Acosta, Dr. Fernando Villate Gómez, Tec. Odalys Puentes Corrales, Tec. Sibia Gutiérrez Milian, Dra. C. Bárbara Aymeé Hernández Hernández, Dr. Cs. José Luis Hernández Cáceres, Dr. C. Mitchell Valdés Sosa.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnáiz Márquez, I., Fortuny Torres, A., Velarde Reyes, E., & Martínez Montes, E. (2021). Implementación de una nueva estrategia para la detección automática de la respuesta evocada auditiva de estado estable. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 42(2), 1–16. <https://rielac.cujae.edu.cu/index.php/riec/article/view/852>
- Barrios, L. J., Minguillón, J., Perales, F. J., Ron-Angevin, R., Solé-Casals, J., & Mañanas, M. A. (2017). Estado del Arte en Neurotecnologías para la Asistencia y la Rehabilitación en España: Tecnologías Auxiliares, Tránsito Tecnológica y Aplicación Clínica. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 14(4), 355–361. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2017.06.004>
- Bastidas Cid, Y. V. (2022). Neurotecnología: Interfaz cerebro-computador y protección de datos cerebrales o neurodatos en el contexto del tratamiento de datos personales en la Unión Europea. *Informática y Derecho*, 11. <https://revistas.fcu.edu.uy/index.php/informaticayderecho/article/view/3049>
- Carlos Santos-Ceballos, J., Germán Pérez-Blanco, J., Martín-González, F., & Velarde-Reyes, E. (2020). Implementación del Módulo de Control del sistema Infantix. *RIELAC*, 41(2), 1815–5928. <https://rielac.cujae.edu.cu/index.php/riec/article/view/764>
- del Sol González; Yaditza, & Martínez Rodríguez, M. (2021). Ventiladores pulmonares de emergencia hechos en Cuba ya están autorizados para su uso en salas de posoperatorio. *Granma*. <https://www.granma.cu/cuba-covid-19/2021-06-14/ventiladores-pulmonares-de-emergencia-hechos-en-cuba-ya-est-an-autorizados-para-su-uso-en-salas-de-posoperatorio-14-06-2021-21-06-35>
- Estévez Pérez, N., Torres Díaz, M. del R., Reigosa Crespo, V., Santos Febles, E., Gaya Vázquez, J. A., Mosquera Suárez, R., Amor Díaz, V., Romero Quintana, Y., Castro Cañizares, D., Orraca Castillo, M., Sanabria Díaz, G., Álvarez Rivero, A., Machado Lubián, M. del C., & Valdés Sosa, M. (2022). Resultados fundamentales del Programa de Protección del Neurodesarrollo Infantil del Centro de Neurociencias de Cuba. *Anales de La Academia de Ciencias de Cuba*, 12(3). <https://revistaccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/view/1239/1544>
- Garea Llano, E., Castellanos Loaces, H. A., Martínez Montes, E., & González Dalmau, E. (2021). Estimación del Grado de Afectación Pulmonar por COVID-19 Mediante la Clasificación Supervisada de la Imagen de Rayos X. *Revista Cubana de Transformación Digital*, 3(2), 4–18. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5545908>
- Gonzalez-Fernandez, R. I., Rio-Vazquez, V., Perez-Blanco, J. G., Velarde-Reyes, E., Portela-Hernandez, L., Santos-Santos, A., Gutierrez-Gil, J., & Hernandez-Caceres, J. L. (2024). First outcomes of a therapeutic platform for drug resistant epilepsy based on transcutaneous electrical vagus nerve stimulation. *Exploration of Neuroscience*, 3(2), 144–155. <https://doi.org/10.37349/en.2024.00041>
- González, M., Azcano, N., Martínez, A., Velarde, E., González, O., De Armas, M., Martínez, J., Rivero, J., Calzadilla, M., Pérez, M., & Cabrera, L. (2022). Manejo anestésico en modelo porcino para prueba del ventilador mecánico PCUVENTE durante la pandemia por covid-19. *Jornada Científica XL Aniversario. Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas. CIMEQ*. https://www.researchgate.net/publication/365715055_Manejo_anestesico_en_modelo_por_cino_para_prueba_del_ventilador_mecanico_PCUVENTE_durante_la_pandemia_por_covid-19
- Ienca, M., & Andorno, R. (2017). Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology. *Life Sciences, Society and Policy*, 13(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s40504-017-0050-1>
- Kim, A. Y., Marduy, A., de Melo, P. S., Gianlorenco, A. C., Kim, C. K., Choi, H., Song, J.-J., & Fregni, F. (2022). Safety of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation (taVNS): a systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*, 12(1), 22055. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25864-1>
- Lebedev, M. A., & Nicolelis, M. A. L. (2017). Brain-Machine Interfaces: From Basic Science to Neuroprostheses and Neurorehabilitation. *Physiological Reviews*, 97(2), 767–837. <https://doi.org/10.1152/physrev.00027.2016>
- León Vázquez, J. L. (2022). ¿Redimensionamiento de la libertad de pensamiento o nuevos (neuro)derechos humanos? Desafíos y perspectivas desde la neurotecnología. *Cuestiones Constitucionales*, 46, 121–147.



- <https://doi.org/10.22201/ij.24484881e.2024.2.46.17050>
- López González, E. J., Cabrera Macías, Y., Pérez de Armas, M., Escoriza Martínez, T. de las M., & López Cabrera, E. (2022). Biomédicos y desarrollos tecnológicos: binomio indispensable para las unidades de salud en tiempos de COVID-19. *MediSur*, 20(2), 327-340.
<http://medisur.sld.cu/index.php/medisur/article/view/5306>
- Montoya Pedrón, A. (2011). Potenciales evocados auditivos de estado estable a múltiples frecuencias: valoración de los estudios sobre localización de sus generadores cerebrales. *MEDISAN*, 15(9), 1-12.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_artext&pid=S1029-30192011000900011&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- NEURONIC. (2010a). *AUDIX 5. Manual del Usuario* (p. 30).
- NEURONIC. (2010b). *MEDICID 5. Manual del Usuario* (p. 31).
- NEURONIC. (2012). *NEURONICA 5. Manual del Usuario* (p. 35).
- Peláez, O. (2021). Inteligencia artificial y radiología contra la COVID-19. *Granma*.
<https://www.granma.cu/cuba/2021-11-10/inteligencia-artificial-y-radiologia-contra-la-covid-19-10-11-2021-23-11-21>
- Peláez, O. (2024a). El tomógrafo Vigilvent está más cerca de iniciar su validación clínica. *Granma*.
<https://www.granma.cu/ciencia/2024-09-20/el-tomografo-vigilvent-esta-mas-cerca-de-iniciar-su-validacion-clinica-20-09-2024-19-09-12>
- Peláez, O. (2024b). Una alternativa innovadora para el epiléptico farmacorresistente. *Granma*.
<https://www.granma.cu/cuba/2024-09-03/una-alternativa-innovadora-para-el-epileptico-farmacorresistente-03-09-2024-01-09-30>
- Ramos Ramos, J., Cañaveral Rodríguez, A. F., & Camacho Camacho, H. (2021). Gestión de la calidad de los dispositivos médicos. Guía de implementación ISO 13485. *SIGNOS - Investigación En Sistemas de Gestión*, 13(2), 48-78.
<https://doi.org/10.15332/24631140.6663>
- Rios-Arismendy, S., Ochoa-Gómez, J. F., & Serna-Rojas, C. (2021). Revisión de electroencefalografía portable y su aplicabilidad en neurociencias. *Revista Politécnica*, 17(34), 131-152.
<https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a9>
- Rodríguez García, P. L. (2013). Historia de la Neurología en Cuba. *Revista Cubana de Neurología y Neurocirugía*, 3(1).
<https://revneuro.sld.cu/index.php/neu/article/view/105>
- Santos-Febles, E., Gaya-Vázquez, J. A., Pérez-Abalo, M. C., Flores-Contreras, A. P., & Pérez-Guerra, M. A. (2012). NPedDesk: Aplicación de Escritorio para Control Informático de un Programa de Tamiz para Trastornos del Neurodesarrollo Infantil. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomedica*, 33(2), 137-145.
<https://www.rmib.mx/index.php/rmib/article/view/162>

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses

