



## Neurocontrol: Diademas EEG y su Rol en la I4.0

**Alonso Alejandro Jiménez Garibay \***

*Tecnológico Nacional de México / IT de*

*Celaya,*

*Celaya, Guanajuato, México*

**Tania Jareth Pérez Martínez**

*Tecnológico Nacional de México / IT de*

*Celaya,*

*Celaya, Guanajuato, México*

**José Guadalupe Uriel Palacios Campos**

*Tecnológico Nacional de México / IT de*

*Celaya,*

*Celaya, Guanajuato, México*

\* Autor de correspondencia: [alonso.jimenez@itcelaya.edu.mx](mailto:alonso.jimenez@itcelaya.edu.mx)

---

**Resumen:** La Industria 4.0 está impulsando la integración de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés) y la robótica. En este contexto, el neurocontrol, facilitado por dispositivos de monitoreo comerciales, está emergiendo como una innovación clave. Estos dispositivos captan señales cerebrales a través de electrodos de electroencefalografía (EEG por sus siglas en inglés), abriendo nuevas aplicaciones en sectores como la salud y la productividad.

Antes limitadas a investigaciones científicas, las diademas EEG ahora están al alcance de los consumidores, permitiendo la interacción directa entre la mente y dispositivos electrónicos mediante interfaces cerebro-computadora. Los avances en miniaturización y algoritmos de procesamiento de señales han permitido monitorizar el estado mental del usuario, detectar fatiga y estrés, y mejorar el bienestar mediante neurofeedback. En la Industria 4.0, las diademas EEG propician avances en la automatización industrial, optimizando procesos robóticos y mejorando la productividad y seguridad laboral mediante el monitoreo cognitivo.

**Palabras clave:** *Diademas EEG, industria 4.0, neurocontrol.*

---

## **1. Introducción: lo que debemos saber de inicio**

La Industria 4.0 ha emergido como un símbolo de la transformación tecnológica que está redefiniendo los entornos productivos a nivel global. Esta cuarta revolución industrial no solo implica la digitalización de procesos, sino una reconfiguración completa del ecosistema industrial mediante la incorporación de tecnologías avanzadas como inteligencia artificial (IA), Internet de las Cosas (IoT), automatización inteligente, robótica colaborativa y análisis masivo de datos. A diferencia de sus predecesoras, esta revolución no se limita a aumentar la capacidad de producción, sino que establece una red interconectada de dispositivos, sistemas y humanos capaces de operar de forma inteligente, autónoma y adaptativa.

Uno de los elementos centrales de esta revolución es la comunicación en tiempo real entre máquinas, sensores, plataformas y usuarios, facilitada por tecnologías en la nube y algoritmos de análisis predictivo. Esta interconexión permite que los sistemas no solo respondan a estímulos del entorno, sino que también aprendan y se optimicen continuamente. En este marco, el concepto de neurocontrol se perfila como una innovación disruptiva con alto potencial, especialmente en la interacción entre operadores humanos y sistemas ciberfísicos.

El neurocontrol se basa en el uso de señales cerebrales, captadas mediante interfaces cerebro-computadora (BCI), para controlar dispositivos digitales sin necesidad de contacto físico. Una de las técnicas superficial más empleadas es la electroencefalografía (EEG), la cual permite registrar la actividad eléctrica del cerebro de manera no invasiva. Esta tecnología no solo ha dejado de ser exclusiva del ámbito médico o de investigación, sino que está comenzando a implementarse en entornos industriales, permitiendo una comunicación directa entre la mente del operador y los sistemas automatizados.

La integración de EEG en la automatización industrial ofrece múltiples beneficios. Por un lado, permite controlar dispositivos mediante comandos mentales, pero más allá de ello, posibilita monitorear en tiempo real el estado cognitivo de los trabajadores: su nivel de atención, estrés, carga mental o fatiga. Esta información puede utilizarse para ajustar dinámicamente las condiciones laborales, evitando errores por agotamiento y mejorando la seguridad operativa. Así, los sistemas pueden responder no solo a fallas técnicas, sino también a señales humanas, generando una verdadera simbiosis entre el operario y la máquina.

Sectores como la manufactura avanzada, el control de procesos críticos, la logística automatizada o la operación remota de maquinaria pesada son ya candidatos naturales para la aplicación de neurocontrol. Según el informe MarketsandMarkets (2023), se proyecta que el mercado de interfaces cerebro-computadora alcanzará los 3.85 mil millones de dólares en 2027, lo que indica una adopción creciente también fuera del sector clínico, destacando la industria como un nuevo campo de aplicación acelerada.

En Latinoamérica, donde muchas industrias atraviesan procesos de digitalización, el EEG puede convertirse en una herramienta estratégica. Su implementación no requiere infraestructuras prohibitivamente costosas y permite optimizar el recurso humano mediante el rediseño de interfaces hombre-máquina más intuitivas, la identificación de cuellos de botella cognitivos y la personalización de capacitaciones en seguridad.

Además, en un mundo laboral cada vez más remoto, la posibilidad de integrar EEG con plataformas de realidad aumentada y control virtual abre la puerta a nuevas modalidades de tele-operación industrial. Esto resulta particularmente útil en contextos donde el acceso físico al sitio de trabajo implica riesgos, ya sean sanitarios, geográficos o de seguridad.

Finalmente, el neurocontrol posibilita avanzar hacia entornos laborales verdaderamente adaptativos, donde la tecnología se ajusta a la condición mental del usuario en tiempo real. No obstante, su implementación debe hacerse con responsabilidad ética. El uso de datos cerebrales conlleva riesgos de invasión a la privacidad y vigilancia indebida. Por ello, es vital desarrollar marcos regulatorios que protejan la autonomía y dignidad de los trabajadores.

## **2. Fundamentos Teóricos: *reglas y principios científicos importantes***

La EEG es una técnica de diagnóstico fundamental en la neurología y la neurociencia que registra la actividad eléctrica del cerebro mediante electrodos colocados sobre el cuero cabelludo. Estos electrodos detectan las oscilaciones de las señales eléctricas producidas por las neuronas durante la transmisión de impulsos eléctricos. La actividad eléctrica cerebral se genera cuando las neuronas se comunican entre sí a través de potenciales de acción. La EEG mide la diferencia de potencial entre diferentes áreas del cerebro, y las señales registradas se amplifican para su visualización en un gráfico. Las fluctuaciones de las señales captadas son presentadas en forma de ondas, las cuales se agrupan en diferentes tipos según su frecuencia, tales como las ondas delta, theta, alfa, beta y gamma.

Las ondas cerebrales se clasifican en cinco categorías principales: las ondas delta, que son de mayor amplitud y frecuencia más baja, están asociadas con el sueño profundo; las ondas theta se vinculan con la relajación profunda o el inicio del sueño; las ondas alfa predominan en estados de relajación mientras la persona permanece alerta; las ondas beta se observan cuando una persona está concentrada y alerta; y las ondas gamma se encuentran en actividades cognitivas complejas como la resolución de problemas. Cada tipo de onda tiene una relación con diferentes estados mentales y actividades cerebrales.

La EEG tiene diversas aplicaciones en el diagnóstico y tratamiento de trastornos neurológicos. Es especialmente útil en el diagnóstico de epilepsia, donde permite identificar los focos epilépticos y diferenciar entre los tipos de crisis. También se utiliza para diagnosticar trastornos del sueño, como el insomnio o la apnea del sueño, y para monitorear el estado de los pacientes en coma o con daño cerebral.

Otra aplicación importante de la EEG es el neurofeedback, una técnica terapéutica que permite a los pacientes modificar su actividad cerebral mediante retroalimentación, lo que es útil para tratar trastornos como el estrés, la ansiedad y el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH).

En el ámbito de la neurociencia cognitiva, la EEG es una herramienta valiosa para estudiar la cognición, la percepción y la atención. Su alta resolución temporal permite observar la actividad cerebral en milisegundos, lo que ayuda a comprender cómo el cerebro procesa la información en tareas cognitivas como la memoria y la toma de decisiones. A través de la EEG, los investigadores pueden obtener información crucial sobre los mecanismos cerebrales involucrados en estas funciones. Además, la tecnología EEG se está utilizando para el desarrollo de BCIs, que permiten a los usuarios interactuar con dispositivos electrónicos utilizando solo sus pensamientos. Esto abre nuevas posibilidades para personas con discapacidades severas, permitiéndoles controlar dispositivos como prótesis o sistemas de comunicación.

La EEG también tiene un gran potencial en el área de neurocontrol. En este campo, las señales eléctricas cerebrales se utilizan para controlar dispositivos tecnológicos, desde robots hasta prótesis, con el fin de asistir a personas con discapacidades motoras. Esta BCI se está utilizando para mejorar la calidad de vida de personas con parálisis o amputaciones, permitiéndoles controlar sus prótesis mediante su actividad cerebral. En la industria, el neurocontrol basado en la EEG podría utilizarse para mejorar la productividad y seguridad

laboral, monitorizando el estado cognitivo de los empleados y ajustando los procesos de trabajo para maximizar el rendimiento.

La EEG tiene muchas ventajas, como su no invasividad, lo que permite monitorear la actividad cerebral sin la necesidad de cirugía o procedimientos invasivos. También es una técnica de bajo costo y accesible, especialmente con los avances recientes en miniaturización de los dispositivos EEG. Sin embargo, existen ciertos desafíos, como la resolución espacial limitada, que dificulta la localización precisa de las fuentes de actividad cerebral en áreas profundas del cerebro. Además, los artefactos causados por el movimiento del cuerpo o los músculos faciales pueden interferir con la señal y dificultar la interpretación. A pesar de estos inconvenientes, los avances en la tecnología de procesamiento de señales y en la mejora de los dispositivos EEG están permitiendo superar estos obstáculos, haciendo que la técnica sea cada vez más precisa y accesible.

### **3. Desarrollo del Trabajo: *aplicando las reglas y principios científicos***

Al evaluar diademas EEG para aplicaciones en entornos de Industria 4.0, es esencial considerar aspectos como la cantidad de canales, tipo de electrodos, interfaz de datos, latencia, disponibilidad de APIs, aplicaciones sugeridas y precio. Estos factores determinan la precisión en la captura de señales cerebrales, la comodidad y facilidad de uso del dispositivo, la integración con sistemas industriales existentes, la capacidad de respuesta, el potencial de desarrollo personalizado y la viabilidad económica del proyecto. Una selección adecuada garantiza soluciones de neurocontrol eficientes y adaptadas a las necesidades específicas del entorno industrial.

Los canales EEG representan las rutas de adquisición de señales eléctricas cerebrales entre electrodos colocados en el cuero cabelludo, permitiendo captar la actividad neuronal en diferentes regiones del cerebro. En el contexto del neurocontrol, la cantidad de canales define la resolución espacial del registro, lo que se traduce en la capacidad para interpretar comandos mentales con mayor precisión. Dispositivos con pocos canales pueden detectar señales simples como niveles de atención o intención de movimiento, mientras que sistemas con múltiples canales permiten identificar patrones más complejos asociados a tareas específicas o estados cognitivos.

Tabla 1 Comparativa de Sistemas EEG por Número de Canales y Aplicaciones.

Número de Canales	Alcance	Ejemplo de Aplicaciones
1-2 canales	Básico	Neurofeedback, control ON/OFF, entrenamiento mental
4-8 canales	Medio	Control de cursores, monitoreo de estados mentales (atención, estrés)
14-32 canales	Avanzado	Interfaces cerebro-robot, mapeo cerebral funcional, IA cognitiva adaptativa

En aplicaciones de Industria 4.0, contar con mayor número de canales facilita el desarrollo de interfaces cerebro-máquina más robustas, adaptativas y seguras, al ofrecer un mapeo más detallado del estado neurofisiológico del usuario tal como se muestra en la Tabla 1. Sin embargo, debe considerarse de igual o mayor importancia la portabilidad y ergonomía, en donde el tipo de electrodo tiene un papel fundamental en caso de ser salinos semihúmedos, húmedos o secos.

La Figura 1 muestra diferentes tipos de diademas EEG comerciales utilizadas comúnmente en la literatura relacionada con neurocontrol, debido a su portabilidad, precio y ergonomía.



Figura 1. Diademas EEG Comerciales.

Obtenida de: [emotiv.com](http://emotiv.com), [mwm2.neurosky.com](http://mwm2.neurosky.com), [openbci.com](http://openbci.com) y [choosemuse.com](http://choosemuse.com).

#### 4. Conclusiones: lo que podemos aprender de este artículo

El neurocontrol con EEG se posiciona como una herramienta clave en la Industria 4.0, permitiendo integrar el estado cognitivo humano en entornos productivos inteligentes.

Aunque aún existen desafíos en la precisión, seguridad y ética del manejo de señales cerebrales, los avances tecnológicos y la reducción de costos impulsan su adopción. Esta convergencia promete transformar las fábricas en espacios más adaptativos, seguros y centrados en el bienestar del trabajador.

Tabla 2 Especificaciones y Capacidades de Diademas EEG Comerciales.

Marca / Modelo	Canales EEG	Tipo de Electrodo	Interfaz de Datos	Latencia Promedio	SDK / API disponible	Aplicaciones Sugeridas en I4.0	Precio Aproximado
<b>Emotiv EPOC X</b>	14 canales	Salinos (semi-secos)	USB, Bluetooth	~15 ms	Sí (EmotivPRO SDK)	Control de robots, interfaces cerebro-computadora	\$850 USD
<b>NeuroSky y MindWave</b>	1 canal	Seco	Bluetooth	~100 ms	Sí (ThinkGear SDK)	Entrenamiento mental, control básico de dispositivos	\$100 USD
<b>OpenBCI Ultracortex</b>	8, 16 o 32	Secos / húmedos	USB, WiFi	~10 ms (WiFi)	Sí (Open Source)	Robótica, IoT cognitivo, IA adaptativa en manufactura	\$500–\$1200 USD
<b>Muse S (Gen 2)</b>	4 canales	Secos (frontal/temporal)	Bluetooth	~250 ms	Limitado (Muse SDK)	Fatiga mental, ergonomía cognitiva, biofeedback	\$400 USD

Obtenido de: elaboración propia.

## 5. Referencias: *por si quieres seguir conociendo más*

Emotiv. (2024). *EMOTIV EEG headsets: Brain sensing technology for research, wellness, and performance*. Obtenido de <https://www.emotiv.com/>

InteraXon. (2024). *Muse: The brain sensing headband*. Obtenido de <https://choosemuse.com/>

NeuroSky. (2024). *NeuroSky: EEG biosensors and brain-computer interface technology*. Obtenido de <https://store.neurosky.com/>

OpenBCI. (2024). *Ultracortex: Open-source 3D-printed EEG headset*. Obtenido de <https://shop.openbci.com/products/ultracortex>