

colocación de electrodos – electrode placement

Authored by
memjavad

January 15, 2026

RECOMMENDED CITATION

memjavad (2026). *colocación de electrodos – electrode placement*. Spanish Psychological Databases. Retrieved from <https://spanish.arabpsychology.com/?p=8339>

Colocación de Electroodos

Campos Disciplinarios Primarios: Neurofisiología Clínica, Cardiología, Ingeniería Biomédica, Diagnóstico por Imagen.

1. Definición Central

La colocación de electrodos se define como el procedimiento metódico y preciso mediante el cual se sitúan dispositivos conductores, conocidos como electrodos, sobre la superficie de la piel o, en aplicaciones invasivas, dentro de tejidos biológicos. El propósito fundamental de esta técnica es doble: registrar la actividad bioeléctrica intrínseca del organismo o aplicar estimulación eléctrica controlada con fines terapéuticos o de investigación. Este proceso no es un paso trivial, sino que constituye un elemento crítico y determinante en la adquisición de datos fisiológicos de alta calidad, ya que la fidelidad de la señal registrada (como un [electroencefalograma \(EEG\)](#), un [electrocardiograma \(ECG\)](#) o un electromiograma (EMG)) depende directamente de la correcta interfaz entre el electrodo, el medio conductor (gel o pasta electrolítica) y el tejido biológico subyacente. La variación en la impedancia de contacto, la presencia de ruido ambiental o una ubicación anatómica inexacta pueden introducir artefactos significativos, comprometiendo gravemente la validez y la interpretación diagnóstica de los estudios electrofisiológicos resultantes.

Este concepto técnico abarca una diversidad de protocolos que difieren sustancialmente según la modalidad de registro y el objetivo clínico. Por ejemplo, la colocación en el cuero cabelludo para un EEG debe seguir protocolos rígidos basados en referencias craneométricas estandarizadas, mientras que la colocación torácica y periférica para un ECG se rige por puntos anatómicos específicos que reflejan la proyección espacial de la actividad eléctrica del corazón. La **precisión espacial** es crucial no solo para capturar la señal eléctrica generada por la fuente biológica deseada, sino también para asegurar la **reproducibilidad** de los resultados entre diferentes centros de salud y a lo largo del tiempo en el mismo paciente. Una colocación estandarizada permite la comparación fiable de mapas topográficos de actividad cerebral o la monitorización precisa de cambios en la conducción cardíaca. Es fundamental entender que la calidad de la señal no solo reside en la tecnología del equipo de registro, sino intrínsecamente en la habilidad técnica del operador para preparar la piel y fijar los electrodos de manera estable y con baja impedancia.

En esencia, la colocación de electrodos actúa como el transductor que establece el puente entre los fenómenos eléctricos microscópicos que ocurren a nivel celular (como los potenciales de acción neuronales o las despolarizaciones miocárdicas) y los instrumentos de medición macroscópica. La elección del tipo de electrodo (superficial de copa, de aguja concéntrica, de placa, o implantable) y el método específico de colocación deben ser seleccionados meticulosamente para minimizar la atenuación de la señal, reducir la diafonía (*crosstalk*) y asegurar que el potencial eléctrico capturado refleje fielmente la fuente biológica de interés sin

interferencia de estructuras adyacentes. Una colocación deficiente invariablemente resulta en una señal débil, distorsionada o dominada por artefactos de movimiento o actividad muscular, haciendo inútil el esfuerzo diagnóstico posterior y potencialmente llevando a decisiones clínicas erróneas. Por lo tanto, la correcta colocación de electrodos es una disciplina que combina la ciencia rigurosa de la medición eléctrica con el arte técnico de la aplicación clínica.

2. Desarrollo Histórico y Evolución de las Técnicas

Los cimientos de la colocación de electrodos se establecieron con los primeros experimentos en electrofisiología. Aunque Luigi Galvani exploró la electricidad animal en el siglo XVIII, la estandarización metodológica práctica comenzó a tomar forma a principios del siglo XX. En cardiología, Willem Einthoven, al desarrollar el electrocardiógrafo de cuerda, fue pionero al definir las posiciones estándar para los electrodos de las extremidades que componen el "Triángulo de Einthoven" (brazo derecho, brazo izquierdo y pierna izquierda). Esta formalización de la colocación para medir las derivaciones bipolares I, II y III fue crucial, y posteriormente se complementó con las derivaciones unipolares de las extremidades (aVR, aVL, aVF) y, fundamentalmente, las seis derivaciones [precordiales \(V1-V6\)](#), cuya ubicación torácica precisa se convirtió en el estándar de 12 derivaciones que rige la práctica clínica actual.

En el ámbito de la neurofisiología, tras el registro inicial del EEG humano por Hans Berger en la década de 1920, la falta de protocolos de colocación uniformes se convirtió en un obstáculo significativo para la investigación y el diagnóstico. Inicialmente, la colocación de los electrodos en el cuero cabelludo era inconsistente y dependía en gran medida del criterio individual del técnico o investigador, impidiendo la comparación de los patrones de ondas cerebrales entre diferentes sujetos y laboratorios. Esta necesidad imperante de una nomenclatura universal y reproducible motivó la creación del [Sistema Internacional 10-20](#) en 1957, propuesto por Herbert Jasper. Este sistema fue revolucionario porque basaba la colocación en proporciones del cráneo (10% o 20% de las distancias totales entre puntos craneométricos fijos) en lugar de distancias absolutas, garantizando así la escalabilidad y la estandarización global, y convirtiéndose rápidamente en el estándar de oro para el mapeo cerebral.

La evolución tecnológica ha impulsado cambios drásticos en el diseño y la colocación de los electrodos. Se ha pasado de electrodos de placa húmeda voluminosos, que requerían una gran cantidad de gel y eran propensos a artefactos de movimiento, a diseños modernos miniaturizados, secos y, más recientemente, flexibles. Los avances en la ciencia de los materiales, incluyendo el uso de polímeros conductores y la nanotecnología, han permitido el desarrollo de electrodos de alta densidad (HD-EEG), que requieren técnicas de colocación especializadas para manejar cientos de puntos de contacto simultáneos. Además, la colocación se ha vuelto integrada con sistemas de navegación por imagen (como RM o TC) para aplicaciones invasivas (ECoG o DBS), donde la exactitud milimétrica es vital. Esta convergencia de la imagenología y la electrofisiología

ha llevado a la necesidad de protocolos de colocación que no solo sean eléctricamente óptimos, sino también anatómicamente verificables mediante coordenadas espaciales precisas.

3. Principios Fundamentales y Características Clave

El principio fundamental que subyace a la colocación efectiva de electrodos es la minimización de la [impedancia eléctrica de contacto](#). La impedancia es la oposición al flujo de corriente alterna a través de la interfaz piel-electrodo. Una impedancia elevada actúa como una resistencia que atenúa la señal bioeléctrica, que es inherentemente débil (microvoltios), y simultáneamente amplifica el ruido ambiental y los artefactos. Para lograr una impedancia baja, se requiere una **preparación meticulosa de la piel**, que típicamente implica la limpieza con alcohol y la abrasión suave del estrato córneo (la capa más externa y resistente de la piel) para eliminar células muertas, aceites y suciedad. Esta preparación es seguida por la aplicación de un medio conductor, como un gel o pasta electrolítica, que establece un acoplamiento iónico eficiente entre la piel y la superficie metálica del electrodo, facilitando la transferencia del potencial eléctrico hacia el amplificador.

Otra característica clave es la correcta definición de la configuración de registro, ya sea **monopolar, bipolar o referencial**. La elección del método de colocación determina la naturaleza del potencial medido. En el registro bipolar, los electrodos se colocan sobre dos puntos activos cercanos, y el sistema mide la diferencia de potencial entre ellos. Esta configuración es excelente para la localización espacial y la detección de gradientes de potencial, pero es sensible a la orientación de la fuente. Por otro lado, el registro referencial implica colocar un electrodo sobre un punto activo y el otro sobre un punto considerado eléctricamente "neutro" o de referencia (e.g., el lóbulo de la oreja o la apófisis mastoides). Aunque la referencia idealmente inactiva no existe en la práctica, el objetivo es registrar el potencial absoluto en el punto activo. La colocación precisa de la referencia y del electrodo de tierra (GND) es vital para maximizar la supresión del ruido de modo común, un factor crucial para la relación señal-ruido.

La **orientación espacial y la estabilidad mecánica** de los electrodos son igualmente vitales. En el EEG, la colocación debe alinearse estrictamente con los ejes craneométricos (nasion-inion y preauriculares) para asegurar que las mediciones de distancia sean proporcionales, permitiendo la aplicación universal del sistema 10-20. La estabilidad mecánica debe garantizarse mediante el uso de adhesivos hipoalérgicos, gorros elásticos o sistemas de vacío para prevenir el movimiento del electrodo. Los artefactos cinéticos, causados por la inestabilidad del contacto o el movimiento del paciente, pueden generar grandes fluctuaciones de potencial que fácilmente simulan patologías neurológicas o cardíacas. Por lo tanto, la fijación robusta y cómoda es un requisito técnico que impacta directamente en la calidad del dato y la comodidad del paciente, especialmente en estudios de larga duración como la monitorización Holter o el EEG de 24 horas.

4. Sistemas Estandarizados de Colocación

La estandarización ha cristalizado en sistemas rigurosos que definen la colocación para cada modalidad electrofisiológica. El **Sistema Internacional 10-20** es el protocolo de colocación más reconocido en la neurofisiología clínica. Este sistema utiliza puntos de referencia anatómicos fijos (el nasion, el inion y los puntos preauriculares) para trazar una cuadrícula. Los electrodos se colocan en puntos que representan el 10% o el 20% de las distancias medidas entre estos puntos de referencia. Las letras indican la región cortical subyacente (F, C, T, P, O), y los números impares representan el hemisferio izquierdo, mientras que los pares representan el derecho. Esta metodología geométrica garantiza que, independientemente del tamaño del cráneo del individuo, la colocación mantenga una relación proporcional con las estructuras cerebrales subyacentes, lo cual es esencial para la localización precisa de la actividad y la comparación intersujeto.

A partir del 10-20, se han desarrollado sistemas de mayor resolución, como el **Sistema 10-10** (o 10-5), que incrementan la densidad de los electrodos al reducir los intervalos de colocación. El 10-10 puede utilizar hasta 75 electrodos y es fundamental para la investigación cognitiva avanzada y el mapeo cerebral detallado, especialmente en la localización prequirúrgica de focos epileptógenos. Aunque estos sistemas de alta densidad ofrecen una riqueza de datos superior y mejoran la resolución espacial, también imponen desafíos técnicos significativos, como la dificultad de mantener una impedancia baja y uniforme en un gran número de sitios de registro simultáneos y la mayor susceptibilidad a la diafonía entre canales adyacentes. La elección del sistema de colocación debe ser calibrada según la necesidad diagnóstica o experimental: el 10-20 es suficiente para el diagnóstico clínico rutinario, mientras que las densidades más altas son requeridas para la fuente de localización (*source localization*).

En el campo de la cardiología, el estándar de oro es la **colocación de 12 derivaciones**. Este protocolo combina seis derivaciones de las extremidades (basadas en el Triángulo de Einthoven y las derivaciones aumentadas de Goldberger) y seis derivaciones precordiales (V1 a V6). Las derivaciones precordiales requieren una colocación anatómicamente rígida en relación con el tórax: V1 y V2 se sitúan en el cuarto espacio intercostal a los lados derecho e izquierdo del esternón, respectivamente; V4 se coloca en el quinto espacio intercostal en la línea medioclavicular, y V3 se sitúa entre V2 y V4. Esta rigidez es crítica porque cada derivación precordial actúa como una "ventana" que observa una sección específica del miocardio. Una colocación incorrecta, incluso de unos pocos centímetros, puede alterar la morfología del complejo QRS y simular o enmascarar patologías graves, como la hipertrofia ventricular o la isquemia miocárdica anterior, haciendo de la precisión de la colocación un factor determinante en el diagnóstico de la enfermedad arterial coronaria.

5. Aplicaciones Cruciales en la Biomedicina

La correcta colocación de electrodos es la piedra angular de innumerables procedimientos diagnósticos y terapéuticos en biomedicina. En neurología, la colocación precisa bajo el sistema 10-20 es esencial para el diagnóstico de la epilepsia, permitiendo la lateralización y la localización del foco de las descargas epileptiformes. En la monitorización intraoperatoria, los electrodos se colocan estratégicamente sobre la corteza expuesta (electrocorticografía) para mapear áreas corticales funcionales críticas, como el área motora primaria o las áreas del lenguaje, antes de la resección de lesiones cerebrales. Sin una colocación exacta y reproducible, la identificación de estas áreas funcionales sería imposible, aumentando significativamente el riesgo de déficits neurológicos postoperatorios permanentes.

En cardiología, el ECG de 12 derivaciones, dependiente de la colocación precisa de los electrodos torácicos, es la herramienta diagnóstica de primera línea para la detección de arritmias, trastornos de la conducción y, lo más importante, la isquemia miocárdica aguda. La detección de elevaciones o depresiones sutiles del segmento ST requiere que los electrodos V1-V6 estén exactamente en sus ubicaciones prescritas para asegurar que los vectores eléctricos se registren correctamente. Además, en los procedimientos de electrofisiología invasiva, como la ablación por radiofrecuencia para tratar taquicardias, la colocación de electrodos intracardíacos mediante catéteres es guiada por sistemas de mapeo 3D y fluoroscopia. La exactitud de la colocación del catéter de ablación, medida en el orden del milímetro, es crucial para identificar y eliminar las vías accesorias o los focos ectópicos responsables de la arritmia, teniendo consecuencias terapéuticas directas y a menudo curativas.

Otras aplicaciones fundamentales incluyen la **electromiografía (EMG)**, donde los electrodos de aguja se insertan directamente en músculos específicos para evaluar la integridad neuromuscular y diagnosticar neuropatías o miopatías. También es vital en los estudios de **potenciales evocados (PE)**, donde los electrodos superficiales se colocan sobre el cuero cabelludo y la columna vertebral para medir la respuesta del sistema nervioso a estímulos sensoriales (visuales, auditivos, somatosensoriales). En todos estos escenarios, cualquier desviación de los protocolos de colocación establecidos no solo conduce a resultados técnicamente pobres, sino que puede resultar en diagnósticos falsos positivos o falsos negativos, afectando negativamente la trayectoria de tratamiento y el pronóstico del paciente. Por esta razón, la capacitación rigurosa en anatomía topográfica y protocolos de colocación estandarizados es un requisito esencial para todo el personal técnico y clínico involucrado en la electrofisiología.

6. Desafíos Técnicos y Optimización de la Señal

A pesar de la estandarización, la colocación de electrodos enfrenta desafíos técnicos persistentes relacionados principalmente con la **interfaz piel-electrodo**. La variabilidad biológica, incluyendo el

grosor del cuero cabelludo, la densidad del cabello, la presencia de grasa o sudor, y la condición general de la piel, dificulta la obtención de una impedancia uniforme y baja en todos los sitios de registro. En el EEG, la preparación del sitio (abrasión y aplicación de gel) puede ser incómoda, pero es indispensable para asegurar que la señal neuronal, que es muy débil (5-100 μV), no sea opacada por el ruido de contacto. La optimización de la señal es a menudo un proceso interactivo y laborioso de verificación de la impedancia sitio por sitio, lo cual consume tiempo y puede generar frustración tanto en el paciente como en el operador.

Otro desafío crítico es la mitigación de artefactos. Los artefactos pueden ser extrínsecos (interferencia electromagnética de la red eléctrica o dispositivos cercanos) o intrínsecos (artefactos de movimiento, artefactos musculares - [EMG](#), artefactos oculares). La colocación estratégica del electrodo de tierra y de la referencia es crucial para maximizar el rechazo del ruido de modo común. Un electrodo de referencia inestable o mal ubicado puede contaminar todas las derivaciones por igual. Además, en la monitorización a largo plazo, como en el monitoreo de pacientes en la UCI o el EEG de video de varios días, mantener la estabilidad mecánica del contacto del electrodo es un reto logístico y técnico que requiere el uso de adhesivos robustos, pero que al mismo tiempo sean hipoalergénicos y cómodos para el paciente.

La investigación actual se enfoca en superar estos desafíos mediante el desarrollo de tecnologías innovadoras. Esto incluye los **electrodos secos** (que eliminan la necesidad de geles y preparación abrasiva) y los **electrodos activos** (que integran un preamplificador directamente en el sitio de registro para reducir la susceptibilidad al ruido). Si bien los electrodos secos ofrecen una gran conveniencia para entornos portátiles y de monitorización fuera del hospital, todavía luchan por igualar la baja impedancia de contacto lograda con los electrodos húmedos tradicionales, especialmente en la presencia de cabello. Sin embargo, la combinación de electrodos mejorados y algoritmos avanzados de procesamiento de señales y rechazo de artefactos está facilitando una colocación más rápida, menos invasiva y más cómoda, abriendo nuevas vías para la monitorización ambulatoria y las [interfaces cerebro-computadora \(BCI\)](#).

7. Importancia y Relevancia Metodológica

La relevancia metodológica de la colocación de electrodos es inmensa, ya que es el principal garante de la **validez interna y externa** de las mediciones electrofisiológicas. La adherencia a protocolos estandarizados asegura que la señal registrada sea una representación no sesgada de la actividad biológica. En el ámbito de la investigación, esta estandarización permite la replicación precisa de experimentos en diferentes laboratorios y la comparación directa de resultados entre diversas poblaciones de estudio. Si la colocación fuera inconsistente o arbitraria, los mapas topográficos cerebrales o los perfiles cardíacos generados carecerían de significado comparativo, lo que impediría la acumulación sistemática de conocimiento científico y la generalización de los hallazgos.

En el contexto clínico, la colocación precisa es un requisito de calidad asistencial y un estándar ético y legal. Las guías de práctica clínica de la Sociedad Internacional de Neurofisiología Clínica (IFCN) y la Sociedad Americana del Corazón (AHA) prescriben rigurosamente los métodos de colocación para asegurar que los patrones patológicos observados (como complejos punta-onda en EEG o cambios en el eje eléctrico en ECG) se interpreten en el contexto espacial correcto. Un error en la colocación puede conducir a un diagnóstico erróneo de la localización de una lesión cerebral o a una falsa interpretación de isquemia miocárdica, lo cual tiene graves implicaciones para la toma de decisiones terapéuticas y la seguridad del paciente. Por lo tanto, el control de calidad riguroso en la colocación es un componente ineludible de cualquier servicio electrofisiológico.

Además, la colocación de electrodos es fundamental en las tecnologías de estimulación y neuromodulación. En aplicaciones como la estimulación eléctrica transcraneal de corriente directa (tDCS) o alterna (tACS), la posición y el tamaño de los electrodos de estimulación y retorno definen con precisión la trayectoria del campo eléctrico dentro del cerebro, determinando qué áreas corticales serán moduladas. La modelización computacional de la distribución de la corriente es esencial para estas técnicas, y esta modelización depende de coordenadas de colocación exactas y verificables. Cualquier imprecisión en la colocación reduce la especificidad de la estimulación, puede anular el efecto terapéutico deseado o incluso afectar áreas no deseadas. La precisión de la colocación, por lo tanto, trasciende la mera función de registro y se extiende a la modulación activa y controlada de la función biológica.

8. Debates Actuales y Direcciones Futuras

Uno de los debates metodológicos centrales en neurofisiología es la cuestión de la **referencia del EEG**. El sistema 10-20 utiliza tradicionalmente referencias como A1/A2 (lóbulo de la oreja) o Cz (vértice). Sin embargo, se reconoce que estas referencias no son eléctricamente inertes y pueden registrar actividad cerebral, contaminando la señal en otros electrodos. Esto ha impulsado la discusión sobre la superioridad de la Referencia Media Promedio (Average Reference), que requiere un número significativamente mayor de electrodos para calcular un potencial de referencia que se acerque más a un valor "cero" global. La elección de la referencia tiene un impacto directo en la interpretación de la topografía de la señal y en los algoritmos de localización de fuentes, manteniendo un diálogo constante entre clínicos e investigadores sobre el protocolo de registro más robusto.

Una dirección futura prometedora es la **automatización de la colocación** y la verificación de la impedancia. Se están desarrollando sistemas robóticos y cascos personalizados basados en imágenes de resonancia magnética individuales (o escáneres 3D del cráneo) para asegurar la colocación más precisa posible, eliminando la subjetividad y el error humano inherente a la medición manual. Estos enfoques son especialmente valiosos en estudios longitudinales y en la

investigación de la conectividad cerebral. La adopción de tecnologías de realidad aumentada (RA) también se investiga para proporcionar a los técnicos una guía visual en tiempo real, superponiendo la ubicación ideal de los electrodos sobre la anatomía del paciente, mejorando la velocidad y la fiabilidad del proceso de preparación.

Finalmente, la expansión de la monitorización electrofisiológica a entornos ambulatorios y cotidianos está impulsando el desarrollo de tecnologías portátiles (*wearables*) que dependen de electrodos secos, flexibles y basados en textiles. Si bien estos dispositivos prometen monitorización continua y cómoda fuera del entorno hospitalario, plantean desafíos significativos en cuanto a la **calidad de la señal y la adherencia a los estándares clínicos**, ya que son más susceptibles al ruido de movimiento y a la variabilidad de la impedancia. El debate actual se centra en la validación clínica de estos nuevos métodos de colocación, asegurando que el equilibrio entre la comodidad del usuario y la fidelidad diagnóstica se mantenga, lo cual es crucial para la adopción masiva de la monitorización electrofisiológica personal y la próxima generación de interfaces BCI.

Lecturas Adicionales

[Electroencefalografía \(Wikipedia\)](#)

[Electrocardiografía \(Wikipedia\)](#)

[Sistema Internacional 10-20 \(Wikipedia\)](#)

[Impedancia Eléctrica \(Wikipedia\)](#)