

**DOI:** 10.26820/reciamuc/8.(2).abril.2024.899-906

**URL:** <https://reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/1458>

**EDITORIAL:** Saberes del Conocimiento

**REVISTA:** RECIAMUC

**ISSN:** 2588-0748

**TIPO DE INVESTIGACIÓN:** Artículo de revisión

**CÓDIGO UNESCO:** 32 Ciencias Médicas

**PAGINAS:** 899-906






## Monitorización de la profundidad de la anestesia (MAD)

Depth of anesthesia monitoring (DAM)

Monitorização da profundidade da anestesia (DAM)

**Tatiana Lisbeth Rengel Pinzon<sup>1</sup>; Alex Bladimir Zaldua Gorozabel<sup>2</sup>; Luis Carlos Demera Demera<sup>3</sup>**

**RECIBIDO:** 30/04/2024 **ACEPTADO:** 11/05/2024 **PUBLICADO:** 06/11/2024

1. Médica; Posgradista de la Especialidad en Anestesiología, Reanimación y Terapia del Dolor en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Portoviejo; Portoviejo, Ecuador; [tlrengel@pucesm.edu.ec](mailto:tlrengel@pucesm.edu.ec);  <https://orcid.org/0009-0006-9005-7546>
2. Médico; Magíster en Seguridad y Salud Ocupacional; Magíster en Gerencia de Servicios de la Salud; Posgradista de la Especialidad en Anestesiología, Reanimación y Terapia del Dolor en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Portoviejo; Portoviejo, Ecuador; [abzaldua@pucesm.edu.ec](mailto:abzaldua@pucesm.edu.ec);  <https://orcid.org/0009-0000-1411-527X>
3. Médico Cirujano; Posgradista de la Especialidad en Anestesiología, Reanimación y Terapia del Dolor en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Portoviejo; Portoviejo, Ecuador; [lcdemera@pucesm.edu.ec](mailto:lcdemera@pucesm.edu.ec);  <https://orcid.org/0000-0002-7947-6989>

### CORRESPONDENCIA

Tatiana Lisbeth Rengel Pinzon

[tlrengel@pucesm.edu.ec](mailto:tlrengel@pucesm.edu.ec)

**Portoviejo, Ecuador**

## RESUMEN

La MAD se refiere a un conjunto de técnicas y dispositivos que permiten medir y cuantificar la profundidad y calidad de la anestesia en tiempo real. Estos sistemas se basan en el análisis de diversas señales fisiológicas, siendo la electroencefalografía (EEG) la más utilizada. Para llevar a cabo esta revisión bibliográfica, se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos científicas como PubMed, Scopus y Cochrane Library, utilizando términos MeSH y palabras clave relevantes como "monitorización de la profundidad anestésica", "anestesia general", "electroencefalografía", "índice bispectral" y "entropía". Se incluyeron estudios originales, revisiones sistemáticas y metaanálisis publicados en los últimos años en español. La selección de los artículos se realizó mediante una revisión rigurosa de los títulos, resúmenes y textos completos. Finalmente, se realizó un análisis narrativo de los datos extraídos, identificando las principales tendencias, fortalezas y limitaciones de la evidencia disponible sobre la MAD. La monitorización de la profundidad anestésica representa un avance significativo en el campo de la anestesiología, ofreciendo una herramienta valiosa para optimizar la atención al paciente durante el procedimiento quirúrgico. No obstante, es fundamental reconocer que la MAD no debe considerarse como un sustituto de la evaluación clínica del paciente, sino como un complemento que, utilizado de manera adecuada, puede mejorar la seguridad y la eficacia de la anestesia.

**Palabras clave:** Monitorización de la profundidad anestésica, Anestesia general, Electroencefalografía, Índice bispectral, Entropía.

## ABSTRACT

DAM refers to a collection of techniques and devices designed to measure and quantify the depth and quality of anesthesia in real-time. These systems rely on the analysis of various physiological signals, primarily electroencephalography (EEG). For this literature review, an extensive search was conducted in scientific databases such as PubMed, Scopus, and Cochrane Library, using MeSH terms and relevant keywords like "depth of anesthesia monitoring," "general anesthesia," "electroencephalography," "bispectral index," and "entropy." Original studies, systematic reviews, and meta-analyses published in recent years in Spanish were included. Article selection was carried out through a rigorous review of titles, abstracts, and full texts. Finally, a narrative analysis of the extracted data was conducted, identifying the main trends, strengths, and limitations of the available evidence on DAM. Depth of anesthesia monitoring represents a significant advancement in the field of anesthesiology, offering a valuable tool to optimize patient care during surgical procedures. However, it is crucial to recognize that DAM should not be considered a substitute for clinical patient assessment but rather a complement that, when used appropriately, can improve the safety and efficacy of anesthesia.

**Keywords:** Depth of anesthesia monitoring, General anesthesia, Electroencephalography, Bispectral index, Entropy.

## RESUMO

DAM refere-se a um conjunto de técnicas e dispositivos concebidos para medir e quantificar a profundidade e a qualidade da anestesia em tempo real. Esses sistemas se baseiam na análise de vários sinais fisiológicos, principalmente a eletroencefalografia (EEG). Para esta revisão da literatura, foi efectuada uma pesquisa exhaustiva em bases de dados científicas como PubMed, Scopus e Cochrane Library, utilizando termos MeSH e palavras-chave relevantes como "profundidade da monitorização da anestesia", "anestesia geral", "eletroencefalografia", "índice bispectral" e "entropia". Foram incluídos estudos originais, revisões sistemáticas e meta-análises publicados nos últimos anos em espanhol. A seleção dos artigos foi efectuada através de uma revisão rigorosa dos títulos, resumos e textos completos. Por fim, foi realizada uma análise narrativa dos dados extraídos, identificando as principais tendências, pontos fortes e limitações das evidências disponíveis sobre DAM. A monitorização da profundidade da anestesia representa um avanço significativo no campo da anestesiologia, oferecendo uma ferramenta valiosa para otimizar os cuidados com o paciente durante os procedimentos cirúrgicos. No entanto, é crucial reconhecer que a DAM não deve ser considerada um substituto para a avaliação clínica do paciente, mas sim um complemento que, quando usado adequadamente, pode melhorar a segurança e a eficácia da anestesia.

**Palavras-chave:** Monitorização da profundidade da anestesia, Anestesia geral, Eletroencefalografia, Índice bispectral, Entropia.

### Introducción

La anestesia general es una situación inducida y reversible para producir inconsciencia, analgesia, amnesia y, en los casos que se requiere, acinesia; sin que ello conlleve un deterioro de las funciones básicas y la homeostasis del paciente. Esto es posible gracias a la combinación de fármacos hipnóticos, analgésicos y relajantes musculares (1).

En las últimas décadas la evaluación del estado del paciente durante la anestesia general ha sufrido un cambio espectacular: desde la valoración de signos clínicos (pulso, coloración, pupilas, etc.), hasta la tecnología más avanzada que permite la monitorización continua del estado cardiovascular (ECG, presiones invasivas, gasto cardíaco, ecocardiografía transesofágica, etc.), respiratorio (pulsioximetría, espirometría, análisis de gases espirados) y neuromuscular (neuroestimulador). Sin embargo, a pesar de esta considerable mejora en la monitorización, la determinación directa del efecto de los agentes anestésicos sobre el SNC ha permanecido como un reto hasta fechas recientes. Clásicamente, para evaluar el nivel de hipnosis se han valorado signos somáticos (respuesta motora, cambios en el patrón respiratorio) o signos autonómicos (frecuencia cardíaca, tensión arterial, sudoración, piloerección, lagrimeo). Estos signos indirectos de profundidad anestésica han demostrado ser poco fiables e influenciados por fármacos de uso habitual en el entorno perioperatorio (relajantes neuromusculares, betabloqueantes, calcioantagonistas, etc.). Recientemente, han aparecido tecnologías que permiten la monitorización neurofisiológica del SNC y la cuantificación directa del efecto de los anestésicos que pueden proporcionar (junto con la monitorización tradicional y los signos clínicos) una valoración más adecuada de la profundidad anestésica (2).

La incidencia de despertar intraoperatorio es del 0,1-0,2%. Cifra no desdeñable, por cual los anestesiólogos debemos valorar el

riesgo de despertar intraoperatorio durante la anestesia general en cada enfermo en la consulta de preanestesia. Los enfermos con riesgo elevado de tener un despertar intraoperatorio deben ser informados de la posibilidad de tener esta complicación (Sociedad Madrid Centro de Anestesiología y Reanimación, 2006).

No hay un solo monitor que proporcione una respuesta completa a la profundidad del estado anestésico de un paciente. Actualmente se dispone de varios métodos de monitorización que pueden ser clasificados en dos grupos: aquellos dirigidos a detectar "despertar consciente" de una manera directa y aquellos dirigidos a detectar, de manera indirecta, los niveles de conciencia por bioensayo de la profundidad anestésica. Tecnologías probadas actualmente incluyen electroencefalograma (EEG) que mide la actividad cerebral, potenciales evocados, índice bispectral (BIS), monitor de estado cerebral (CSM), entre las principales, sin embargo, ninguna de éstas se han perfeccionado y se asegura que pueden llegar a dar lecturas falsas que de hecho pueden provocar niveles más altos de conciencia (4).

### Metodología

Para llevar a cabo esta revisión bibliográfica, se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos científicas como PubMed, Scopus y Cochrane Library, utilizando términos MeSH y palabras clave relevantes como "monitorización de la profundidad anestésica", "anestesia general", "electroencefalografía", "índice bispectral" y "entropía". Se incluyeron estudios originales, revisiones sistemáticas y metaanálisis publicados en los últimos años en español. La selección de los artículos se realizó mediante una revisión rigurosa de los títulos, resúmenes y textos completos. Finalmente, se realizó un análisis narrativo de los datos extraídos, identificando las principales tendencias, fortalezas y limitaciones de la evidencia disponible sobre la MAD.

## Resultados

### Anestesia general

Se entiende como la reducción reversible de las funciones del sistema nervioso central, inducida farmacológicamente, con abolición completa de la percepción de todos los sentidos con el fin de llevar a cabo intervenciones o procedimientos quirúrgicos, diagnósticos o intervencionistas (5).

### Componentes de la anestesia

El estado de anestesia se asocia a la pérdida de la conciencia (hipnosis) y a la ausencia de percepción de dolor (analgesia). Durante el periodo de hipnosis existe, por regla General, una pérdida completa de memoria (amnesia anterógrada). Mediante la abolición de la percepción del dolor desaparecen los movimientos voluntarios de involuntarios reactivos a este. Ello produce no solo una reducción o abolición de la actividad refleja, con la imposibilidad de realizar movimientos automáticos de defensa, sino además una reducción de la respuesta vegetativa (inhibición simpática). En los estadios de anestesia más profunda se produce además una hipotonía (relajación) de la musculatura estriada como consecuencia de la inhibición de la actividad motora a nivel medular (5).

### Fundamentos de la monitorización electroencefalográfica en anestesia

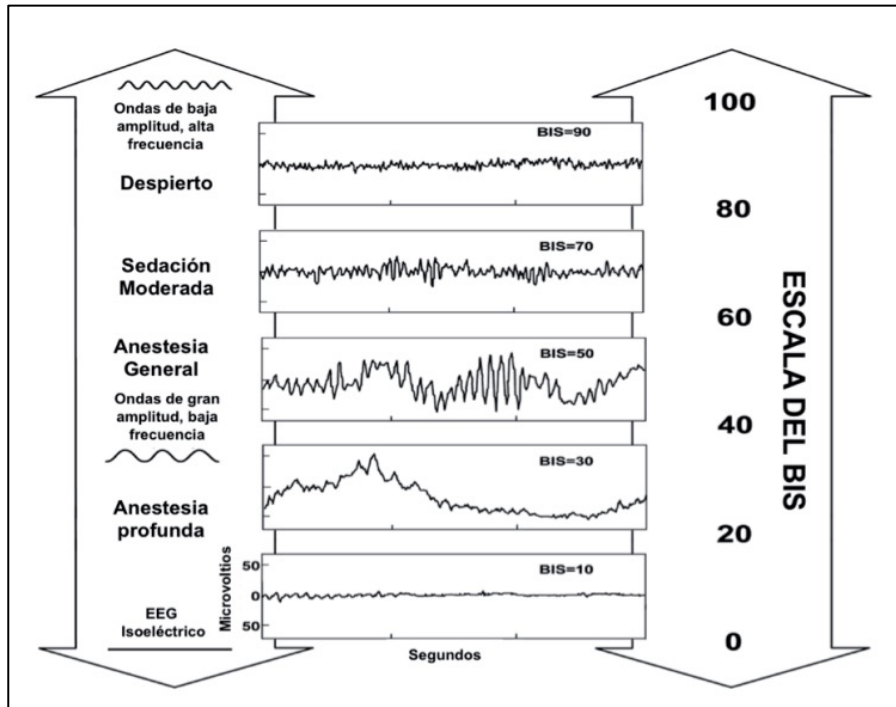
El electroencefalograma (EEG) es el registro de la actividad eléctrica de las neuronas piramidales del córtex<sup>2</sup>. Esta actividad eléctrica atraviesa los tejidos hasta la piel y es recogida por los electrodos. Tras un proceso de filtrado para eliminar los artefactos y de amplificación, la señal se representa de forma gráfica en forma de ondas. En el EEG clásico, los electrodos se colocan en un orden preestablecido, según un sistema internacional denominado 10/20 (6).

Otro patrón típico relacionado con la hipnosis y la profundidad anestésica son los complejos “salvasupresión” o “ráfaga-su-

presión” (burst-suppression), que aparecen por disminución del metabolismo cerebral (por ejemplo, secundario a isquemia o a concentraciones altas de anestésicos). Se muestran como ráfagas de ondas de gran amplitud, seguidas de periodos de silencio eléctrico. Si profundizamos aún más la anestesia, podremos encontrarnos un registro isoeléctrico (EEG plano), que coincide con el que aparece con la hipotermia profunda o la muerte cerebral (6).

### Monitores de profundidad anestésica

- **El sistema de monitorización basado en el índice biespectral (BIS)**



**Figura 1.** Escala del índice BIS. Representación gráfica del índice BIS (valor numérico de 0 a 100) y la señal subyacente del EEG. Los valores del BIS de 0 representan un EEG isoelectrico, mientras que los valores de 100 representan un sistema nervioso central “despierto”. El valor BIS se correlaciona con diferentes niveles de profundidad anestésica  
**Fuente:** Ruiz López (6).



**Figura 2.** Monitor BIS-XP

**Fuente:** Aldana et al (7).

Se fundamenta en un análisis del registro electroencefalográfico obtenido por medio de un sensor que consta de cuatro electrodos que se adhieren en la región frontotemporal del paciente. El algoritmo BIS calcula un índice sobre una escala lineal de 0 a 100

(0 EEG isoelectrico-100 ausencia de efecto hipnótico). Representa una medida directa del estado cerebral, reflejo de las variaciones en la actividad eléctrica que se producen por la administración de medicamentos o por cualquier otra situación (hipoxia, hi-



poglucemia...). Se han elaborado más de 30 escalas subjetivas para la gradación del nivel de conciencia, pero gracias al empleo de métodos objetivos de monitorización de la profundidad hipnótica basados en el electroencefalograma como el monitor BIS®, podemos medir la función cerebral de una manera cuantitativa, objetiva y fisiológica para asegurar los mejores cuidados evitando tanto la infrasedación como la sobrededación. La infrasedación produce estrés, ansiedad, agitación, desadaptación del paciente al acto médico-quirúrgico y supone un riesgo potencial (8).

- **Entropía (módulos [GE Healthcare])**

El módulo de entropía describe la irregularidad, complejidad o predecibilidad de la señal EEG. Cuanto mayores son el orden y la predecibilidad, menor es la entropía y mayor la profundidad hipnótica. El algoritmo para calcular la entropía de una señal electroencefalográfica ha sido publicado. Para facilitar la lectura de los valores obtenidos en las fórmulas originales de entropía, que varían entre 0 y 1, se han transformado en una escala de números enteros entre 0 y 100. El módulo de entropía calcula dos valores separados: entropía de estado (SE) y entropía de respuesta (RE). La SE puede variar entre 0 y 91 y corresponde a la señal con frecuencias comprendidas entre 0,8 y 32 Hz, relegando la actividad electroencefalográfica cortical. La RE varía entre 0 y 100 y evalúa frecuencias entre 0,8 y 47 Hz, incluyendo la actividad electromiográfica. La coincidencia de ambos valores indica que no existe contracción de la musculatura frontoorbitaria. Se consideran valores adecuados para anestesia general entre 40 y 60 (6).

- **Narcotrend (Narcotrend® Monitor [Schiller])**

Este monitor resulta de un sistema desarrollado para la clasificación visual de patrones electroencefalográficos asociados a diferentes fases del sueño. Tras la transformación de Fourier y la exclusión de artefactos, se clasifica la señal como A (despierto), B

(sedado), C (anestesia ligera), D (anestesia general), E (anestesia general con hipnosis profunda) y F (mayor profundidad, con presencia de patrones de ráfaga-supresión). Se incluyen subclasificaciones con un total de 14 estados posibles. Aparte de esta clasificación, también presenta un índice numérico (Narcotrend, versión 4.0), entre 0 y 100, para proporcionar una escala cuantitativa similar al BIS, con un nivel adecuado de anestesia D0-2 que se corresponde con los valores BIS entre 40-60 (6).

- **PSA (Patient State Analyzer [Hospira])**

El monitor PSA 4000 genera una escala adimensional de 0 a 100, llamada PSI (Patient Status Index), con 0 representando el EEG isoelectrico. El PSI es un índice empírico derivado del análisis de un EEG de cuatro canales. El algoritmo que calcula el PSI está basado en un análisis multivariante de variables electroencefalográficas derivadas de tres bases de datos. Se obtiene un índice con una escala entre 0 y 100 (el monitor PSA utiliza un índice similar al monitor BIS) en el que la anestesia adecuada se sitúa entre 25 y 50 (6).

### **Potenciales evocados auditivos corticales**

Un potencial evocado es una pequeña alteración eléctrica en la señal basal del EEG producto de un estímulo sensitivo. Un potencial evocado auditivo (PEA) consiste en una serie de ondas positivas y negativas representativas del proceso de transducción, transmisión y procesamiento de información auditiva de la cóclea al tallo cerebral, corteza auditiva primaria y frontal (9).

### **El monitor modelo CSM de Danmeter A/S**

Está destinado a la monitorización del estado hipnótico del cerebro mediante la adquisición de señales electroencefalográficas del paciente sedado o anestesiado, a través del análisis de las variaciones en el contenido frecuencial del EEG espontáneo. La energía se evalúa en bandas frecuenciales específicas denominadas alfa radio y beta

radio de forma independiente, así como su relación (Beta/alfa), que junto al cálculo del valor instantáneo de supresión del EEG (BS %) que cuantifica el número de periodos con EEG planos o silenciosos característicos de los niveles más profundos de hipnosis, permiten calcular el índice de estado cerebral (CSI) (9).

Por otro lado, en la última revisión sistemática de The Cochrane Library de 2019 se incluyen 52 estudios con más de 40.000 participantes. Este estudio muestra una evidencia baja en la reducción del riesgo de conciencia intraoperatoria, ya que, en la población en la que se guió la anestesia mediante BIS, la frecuencia de este episodio fue de 0'003%, mientras que en la población control fue del 0'009%. No obstante, la incidencia de conciencia intraoperatoria es tan baja, que estos datos podrían ser imprecisos. Al mismo tiempo, el despertar tras la cirugía podría reducirse con el uso del BIS, con un valor medio de 1'78 minutos, a diferencia del grupo control con un tiempo medio de 3'18 minutos. Por ende, sí que consideran que el uso del BIS es superior a los métodos subjetivos y a los signos y síntomas del paciente, pero no es mejor que la monitorización con otras técnicas como la monitorización de la concentración de los anestésicos al final de la espiración (10).

Lewis et al. hicieron un meta-análisis de ensayos clínicos y observaron que el uso del BIS disminuyó la incidencia de conciencia intraoperatoria en comparación con guiar la anestesia con los signos clínicos. Además, el BIS favorecía la recuperación (10).

### Conclusión

La revisión de la literatura sobre monitorización de la profundidad anestésica (MAD) evidencia un consenso creciente sobre la importancia de esta herramienta en la práctica clínica. Los sistemas de MAD, basados principalmente en el análisis de la señal electroencefalográfica, han demostrado ser útiles para ajustar de manera más precisa la dosificación de los fármacos anestésicos,

reduciendo así el riesgo de complicaciones relacionadas con la profundidad anestésica inadecuada. Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos y la creciente evidencia científica, aún existen desafíos y limitaciones en el uso rutinario de la MAD. La variabilidad interindividual en la respuesta a los anestésicos, la influencia de factores no farmacológicos y la falta de estándares claros para la interpretación de los valores obtenidos son algunos de los aspectos que requieren mayor investigación.

### Bibliografía

- Albasini LB. Monitorización de la profundidad anestésica y nocicepción [Internet]. Universidad de Zaragoza; 2020. Available from: <https://zaguan.unizar.es/record/111461/files/TAZ-TFG-2020-714.pdf>
- López NR, Garrido FB. Monitorización de la profundidad anestésica y despertar intraoperatorio: delimitando el problema. In: SOCLARTD, editor. Índice Biespectral (BIS) para monitorización de la conciencia en anestesia y cuidados críticos: guía de práctica clínica. Valladolid: Imprenta Manolete; 2008.
- Sociedad madrid centro de anestesiología y reanimación. despertar intraoperatorio. Madrid: ER-GON; 2006.
- Gárate G, Pacheco JP. Profundidad hipnótica y estado de conciencia, bajo anestesia general balanceada, evaluados en el Cerebral State Monitor un sucedáneo del Índice Biespectral (BIS). Rev Médica HJCA. 2011;3(1).
- Ayala Alfaro MÁ, Madrid de Vázquez KL, Vázquez Navarro RE. Evaluación de la profundidad hipnótica del propofol y sevorane en la inducción y mantenimiento anestésico a través de la monitorización del índice biespectral (BIS) basado en ondas del electroencefalograma (EEG) en pacientes Asa I y II bajo anestesia general [Internet]. Universidad de El Salvador; 2015. Available from: [https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/15733/1/Evaluación de la profundidad hipnótica del propofol y sevorane en la inducción y mantenimiento anestésico a través de la monitorización del índice biespectral %2528BIS%2529 basado en ondas del electroencefalograma %252](https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/15733/1/Evaluación%20de%20la%20profundidad%20hipnótica%20del%20propofol%20y%20sevorane%20en%20la%20inducción%20y%20mantenimiento%20anestésico%20a%20través%20de%20la%20monitorización%20del%20índice%20biespectral%20basado%20en%20ondas%20del%20electroencefalograma)
- Ruiz López N. Sistemas de monitorización de la hipnosis. In: Sociedad Castellano-Leonesa de Anestesiología R y T del D, (SOCLARTD), editors. Monitorización de la conciencia durante la anestesia y la sedación uso del Índice Biespectral (BIS). Valladolid: Imprenta Manolete; 2008.

Aldana EM, Pérez de Arriba N, Valverde JL, Aldecoa C, Fábregas N, Fernández-Candil JL. Encuesta nacional sobre disfunción cognitiva perioperatoria. *Rev Esp Anestesiología y Reanimación* [Internet]. 2024 Apr; Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034935624000690>

Puente Barbas JA, Navarro Suay R, Gutiérrez Ortega C, Gilsanz Rodríguez F. Empleo del índice bispectral para monitorización de la hipnosis en sedación durante anestesia regional: experiencia en tres pacientes militares. *Sanid Mil*. 2016;72(3):190–3.

González Victoria A, Cruz Boza R, Cabrera Prats A, Cordero Escobar I, Morales Jiménez EL. Relación entre monitorización del índice de estado cerebral y predictores clínicos de profundidad anestésica. *Rev Cuba Anestesiología y Reanimación* [Internet]. 2010 [cited 2024 Oct 28];9(3):186–99. Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-67182010000300006&lng=es&nrm=iso&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-67182010000300006&lng=es&nrm=iso&tlng=pt)

Serrablo AJM. Neuromonitorización de la profundidad anestésica y nocicepción [Internet]. Universidad de Zaragoza; 2021. Available from: <https://zaguan.unizar.es/record/111228/files/TAZ-TFG-2021-793.pdf?version=1>



CREATIVE COMMONS RECONOCIMIENTO-NOCOMERCIAL-COMPARTIRIGUAL 4.0.

### CITAR ESTE ARTICULO:

Rengel Pinzon , T. L. ., Zaldúa Gorozabel, A. B. ., & Demera Demera, L. C. . (2024). Monitorización de la profundidad de la anestesia (MAD). *RECIAMUC*, 8(2), 899-906. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/8.\(2\).abril.2024.899-906](https://doi.org/10.26820/reciamuc/8.(2).abril.2024.899-906)