

Cambios electroencefalográficos durante el envejecimiento saludable: revisión del estado del arte

Ana Luisa Lino-González ¹⁻², Bernarda Téllez-Alanís ², Paul Carrillo-Mora ¹, Alfredo Durand-Rivera ¹

Resumen

Introducción: El envejecimiento es un proceso fisiológico continuo y progresivo que conduce a cambios graduales en las capacidades físicas y mentales. El estudio electroencefalográfico registra la actividad eléctrica cerebral y permite conocer características individuales de amplitud, morfología y potencia de onda, las cuales suelen tener un comportamiento no lineal y modificarse con la edad. Objetivo: Presentar una descripción de las características de la actividad eléctrica cerebral en adultos mayores saludables reportadas por estudios empíricos. Método: Diferentes estudios realizados en adultos mayores considerados saludables han aportado información que sustenta la presencia de cambios en la actividad eléctrica cerebral registrada a través de estudios de electroencefalografía; estos cambios se han observado en la potencia y la amplitud de las ondas de las frecuencias cerebrales, en la coherencia interhemisférica y algunas otras que se han relacionado con el sexo de los participantes. Conclusión: Los adelantos en la tecnología, han permitido fortalecer y enriquecer el campo de la electroencefalografía, favoreciendo la obtención de evidencia que incrementa el conocimiento cada vez más detallado referente a la actividad eléctrica cerebral.

Palabras clave: Envejecimiento, electroencefalograma, coherencia interhemisférica, amplitud, potencia.

Abstract

Background: Aging is a continuous and progressive physiological process that leads to gradual changes in physical and mental abilities.

The electroencephalographic study records the electrical activity of the brain and allows to know individual characteristics of amplitude, morphology and wave power, which usually have a non-linear behavior and change with age.

Objective: To present a description of the characteristics of brain electrical activity in healthy older adults reported by empirical studies.

Method: Different studies carried out in older adults considered healthy have provided information that supports the presence of changes in brain electrical activity registered through electroencephalography studies; These changes have been observed in the power and amplitude of the brain frequency waves, in the interhemispheric coherence and some others that have been related to the sex of the participants. Conclusion: Advances in technology have made it possible to strengthen and enrich the field of electroencephalography, favo-

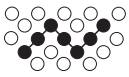
ISSUE N°1
JUNIO
2021

Recibido:
11/12/2020

Aceptado:
22/03/2021

(1) Subdirección de investigación clínica, División de Neurociencias, Área de Neurociencia Clínica, Instituto Nacional de Rehabilitación "Luis Guillermo Ibarra Ibarra". Calzada México Xochimilco No. 289. Colonia Arenal de Guadalupe, Alcaldía Tlalpan, Ciudad de México, México.

(2) Centro de Investigación Transdisciplinar en Psicología, Doctorado en Psicología. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Pico de Orizaba No. 1, Colonia Los volcanes, 62350, Cuernavaca, Morelos. México.



Cambios electroencefalográficos durante el envejecimiento saludable: Revisión del estado del arte

favoring the obtaining of evidence that increases the increasingly detailed knowledge regarding brain electrical activity.

Keywords: aging, electroencephalogram, interhemispheric coherence, amplitude, potency.

INTRODUCCIÓN

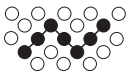
El envejecimiento es definido como un proceso fisiológico que es consecuencia de la acumulación de daños moleculares y celulares producidos a lo largo del tiempo (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017a). La población de adultos mayores se ha incrementado en los últimos años y se espera que esta tendencia continúe; la Organización Mundial de la Salud prevé que a nivel global, la población de personas mayores de 60 años en el periodo 2015-2050 se incremente de 12% a 22% (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017b), y que la población mayor de 80 años se triplique pasando de 125 millones a 434 millones (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2015; Organización Mundial de la Salud [OMS], 2016); en otras palabras, se espera que la población mayor de 60 años y más, incremente de 900 millones a 2000 millones (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2012; Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2014). La literatura refiere que el envejecimiento típico es un proceso progresivo, durante el cual, se observan cambios en las áreas cognitiva, psicológica, física y social; sin embargo, estos cambios pueden transformarse y presentar una tendencia patológica conduciendo a cambios acentuados de deterioro, que culminan en importantes trastornos neurodegenerativos, como son el deterioro cognitivo leve, la enfermedad de Alzheimer y la demencia (Craik, 2009; Cai, Chan, Yan y Peng, 2014).

El electroencefalograma es una de las técnicas neurofisiológicas más antiguas empleada para el estudio del funcionamiento cerebral (Palacios, 2002; Flores, Islas y Flores, 1997); con el paso del tiempo los avances tecnológicos han revolucionado esta técnica afianzándola como un importante elemento de escrutinio y diagnóstico en el campo de la neurología y las neurociencias (Binnie y Prior, 1994). Esta información ha enriquecido de forma importante el área de la medicina y la investigación clínica, durante procesos de diagnóstico clínico, diag-

nóstico diferencial y tratamiento de pacientes con diversas patologías en las diferentes etapas del ciclo vital (Binnie y Prior, 1994; Ramos-Argüelles, Morales, Egozcue, Pabón y Alonso, 2009). El objetivo del presente trabajo es describir las características de la actividad eléctrica cerebral en adultos mayores saludables reportada en investigaciones empíricas.

Electroencefalografía

La electroencefalografía es una técnica no invasiva, que permite medir las oscilaciones de voltaje de la corriente iónica que acompaña a la actividad de millones de neuronas a nivel cortical, es decir, permite obtener el registro de las señales electrofisiológicas que resultan de la actividad cerebral en tiempo real mediante la colocación de electrodos en diferentes regiones del cuero cabelludo (Binnie y Prior, 1994; Ramos-Argüelles et al., 2009; Al Zoubi, 2018; Mohamed, El Halaby, Said, Shawky y Badawi, 2018; Barros y Guardiola, 2006). Se considera que la electroencefalografía registra potenciales sinápticos sincrónicos de células piramidales ubicadas perpendicularmente a la superficie cortical, formando corriente de dipolos (Provencher, Hennebelle, Cunnane, Bérubé-Lauzière y Whittingstall, 2016), así mismo, se sugiere que la conectividad funcional está influenciada por axones cortico-corticales de la sustancia blanca (Nunez, Srinivasan y Fields, 2015). Al tratarse de un estudio en tiempo real, no invasivo y sensible de la función cerebral, ha posibilitado su empleo en estado de reposo y durante la realización de diferentes tareas (Binnie y Prior, 1994; Ramos-Argüelles et al., 2009; Kamarajan y Porjesz, 2015). El análisis de los registros permite obtener información con alta resolución temporal en milisegundos (Provencher et al., 2016; Nunez, Srinivasan y Fields, 2015; Al-Qazzaz et al., 2014), sobre el funcionamiento cerebral durante diferentes estados conductuales y cognitivos (Hou et al., 2018; Di Flumeri et al., 2019), y ha permitido demostrar que las oscilaciones neuronales a frecuencias específicas están relacionadas con procesos cognitivos específicos (Hou et al., 2018), por ejemplo, en el campo médico se ha utilizado para estudiar y diagnosticar varias enfermedades como la epilepsia, los trastornos del sueño (Hashemi, et al., 2016), coma y muerte cerebral, migrañas, accidentes cerebrovasculares, traumatismos craneoencefálicos,



Lino-González, Téllez-Alanís, Carrillo-Mora, Durand-Rivera

infecciones y tumores (Ramos-Argüelles et al., 2009), así como en el diagnóstico diferencial de demencia, deterioro cognitivo (Al-Qazzaz et al., 2014) y enfermedad de Alzheimer (Talamillo, 2011). La actividad cortical registrada por el electroencefalograma se conforma por un grupo de ritmos que pueden aparecer de forma aislada o en grupo, las cuales se clasifican según la frecuencia o número de veces que se repiten en un segundo en cuatro bandas denominadas Alfa (α), Beta (β), Delta (δ) y Theta (Θ) (Kane et al., 2017; Kanokwan et al., 2019). En el cuadro 1 se describen las características de los 4 ritmos cerebrales.

Características electroencefalográficas en adultos mayores

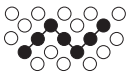
En el cuadro 2 se describen 22 estudios que muestran hallazgos de las características de la actividad eléctrica cerebral en adultos mayores considerados saludables, realizados entre los años 1950 y 2018. Con respecto a los países en los que se llevaron a cabo, ocho (36.3%) se realizaron en USA, tres (13.6%) en Italia, mientras que en Checoslovaquia, Japón, Canadá y Suiza se reportan 2 en cada país, y en Finlandia, Suecia y Rusia se realizó 1 respectivamente. En la mayoría de los estudios se evaluaron hombres y mujeres (95.4%) y sólo en un estudio no se reportó el género de los participantes. Se encontró que fueron 13 condiciones las que se emplearon durante el registro electroencefalográfico; de mayor a menor frecuencia se encuentran reposo con ojos cerrados, reposo con ojos abiertos, estimulación auditiva, hiperventilación, estimulación fónica, vigilia, reposo (sin especificar), alerta, somnolencia, estimulación fónica con ojos abiertos y con ojos cerrados, estimulación visual y audiovisual.

A continuación, se describen los hallazgos realizados con respecto a la actividad eléctrica cerebral en personas mayores consideradas saludables, agrupando las publicaciones por décadas. En los años cincuenta sólo se detectó un estudio realizado en 1954 por Obrist, quien observó que los registros EEG de las personas mayores suelen ser de menor voltaje, más irregulares y con ritmo desorganizado, la principal característica fue la desaceleración del ritmo α y un ligero aumento de la incidencia de la actividad de la onda δ observada en el 13%, siendo mayor su presencia en los participantes mayores de 80 años (17%), en comparación con los adultos mayores menores a esta edad (9%); también reportó la presencia de ondas β en el 50% de los participantes (dominante en el 12%) característica que lo hace simi-

similar a los registros de sujetos adultos de mediana edad (Obrist, 1954).

Entre los años 1960 y 1969 se encontraron 3 estudios. En 1966 Otomo reportó que la media de las frecuencias de las ondas α dominantes tienden a disminuir significativamente con el aumento de la edad y refirió que esto suele ser mayor a partir de la séptima década (Otomo, 1966). En 1967 Matoušek et al. encontraron que la actividad δ , Θ y α disminuyen significativamente con la edad; así mismo, refirieron una disminución de la amplitud general del EEG, finalmente, mencionan que β mostró un incremento no significativo (Matoušek, Volavka, Roubíček y Roth, 1967). Y en 1969 Wang y Busse reportaron una correlación negativa entre la edad y la frecuencia de α , además; realizaron dos mediciones y en la inicial encontraron que el ritmo α en las mujeres presentó mayor frecuencia y amplitud. En la segunda medición (3 o 4 años después), las mujeres de bajo nivel socioeconómico mostraron mayor disminución en la frecuencia de α , mientras que, las mujeres de nivel socioeconómico alto presentaban un incremento en esta frecuencia; describieron también que los participantes con bajo nivel socioeconómico presentaron mayor actividad β , en comparación con los de nivel socioeconómico alto (Wang y Busse, 1969).

En la siguiente década, los años setenta, también se detectaron tres estudios. Müller et al. observaron un aumento de la proporción del EEG con desaceleración generalizada y un incremento de la actividad β (Müller, Grad y Engelsmann, 1975), con base en esos resultados los autores indican el estudio del EEG como herramienta para el pronóstico de supervivencia y el diagnóstico en las evaluaciones geropsiquiátricas. En 1976, Hubbard et al. señalaron que la disminución de la frecuencia α con la edad no es lineal, ya que, después de las décadas de los 80 y 90 años la caída disminuye; por otra parte mencionan que los centenarios presentan un ritmo α a 8.62 Hz en promedio y la presencia de ondas lentas en el rango de δ , destacando que la actividad lenta es más importante en la región temporal izquierda y que la presencia de asimetrías de amplitud aumentan con la edad y son frecuentes en ancianos saludables (Hubbard, Sunde y Goldensohn, 1976). En 1977, Roubicek refirió que la media de la frecuencia dominante alrededor de los 60 años es de 9 Hz y de 7 Hz entre los 80 y 90 años, así mismo reportó un in-



Cambios electroencefalográficos durante el envejecimiento saludable: Revisión del estado del arte

incremento de las ondas lentas δ y Θ y una disminución de la potencia eléctrica de α y β (Roubicek, 1977).

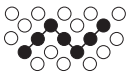
Entre los años 1980 a 1989 se encontraron cuatro estudios. Katz y Horowitz encontraron, en población septuagenaria, que la frecuencia media de α en estado de vigilia fue de 9.8 ± 0.11 Hz, aunado a esto, refirieron no haber observado desaceleración significativa de tipo focal o difusa (Katz y Horowitz, 1982). En 1983 Torres et al. encontraron en una muestra de voluntarios saludables registros anormales en el 52% (media de edad de 69 años) al compararlos con los criterios empleados para adultos jóvenes, así como, una frecuencia media de α de 9.7 ± 1 Hz. Fue notoria la presencia de la frecuencia β en el 20% y de focal en el 63.2% de los que presentaron anomalías focales, mientras que, ubicada en el área temporal media izquierda se evidenció actividad focal en el 19.3%, así como, focos bilaterales de ondas lentas (δ o Θ) en 39.2% (Torres, Faoro, Loewenson y Johnson, 1983). En 1985, Dustman et al. encontraron en los adultos mayores una variabilidad reducida de los valores de potencia del EEG tanto en las bandas de frecuencia individuales como en las combinadas, además, de un acoplamiento cortical referente a la congruencia de actividad electrocortical en las áreas cerebrales (uniformidad de la actividad electroencefalográfica), los autores sugieren que ambos hallazgos indican una mayor similitud de la actividad EEG entre áreas corticales en las personas mayores saludables; finalmente, observaron una desaceleración de α y no encontraron diferencias relacionadas con el sexo de los participantes (Dustman, LaMarche, Cohn, Shearer y Talone, 1985). En 1986, Giaquinto y Nolfi encontraron que la frecuencia α presenta una desaceleración de aproximadamente 0.5 Hz, el promedio se presentó en 9.46 Hz, así como, la persistencia de la distribución regional de esta frecuencia que es más alta en la región occipital que en las derivaciones frontales, además de que, trazados α dominantes se presentaron en el 68 % de la muestra. Observaron que la distribución habitual del EEG se mantuvo y que los valores obtenidos en los hemisferios se mantuvieron simétricos; también reportaron que las mujeres presentaron menor actividad δ y mayor actividad β , mientras que diferencias significativas opuestas fueron observadas en los hombres (Giaquinto y Nolfi, 1986). En el periodo entre 1990 a 1999 se detectaron cinco estudios. Pollock et al. encontraron que las amplitudes del EEG en los rangos de frecuencia δ , α , β_1 y β_2 no presentaron una distribución normal, excepto para Θ en condición ojos cerrados y ojos abiertos y para α en condición ojos

abiertos (Pollock, Schneider y Lyness, 1990). En 1992 Hartikainen et al. reportaron una disminución de la amplitud absoluta para δ y Θ y de la potencia absoluta de δ a partir de los 60 años, así mismo, encontraron que la actividad lenta en el EEG cuantitativo no aumenta con la edad en adultos mayores con buen estado de salud, refieren, además, una tendencia a la reducción de los valores de β y α con la edad, finalmente, encontraron en las mujeres mayor actividad en β (Hartikainen, Soininen, Partanen, Helkala y Riekkinen, 1992).

En 1995, Shigeta et al. reportaron una desaceleración intermitente cuya prevalencia incrementó con la edad, esta desaceleración fue observada pocas veces durante unos cuantos segundos (sutil incluso en la octava y novena década de la vida); concluyen que es inespecífica y clínicamente silenciosa (Shigeta et al., 1995). Duffy et al. encontraron que la coherencia interhemisférica disminuye en gran medida con la edad y puede explicar gran parte de la desincronización espectral relacionada con el envejecimiento; por otro lado, observaron que la coherencia interhemisférica tiende a ser mayor en las mujeres que en los hombres con lateralidad manual diestra; caso contrario de lo observado en la lateralidad zurda en cuyo caso los hombres muestran una mayor coherencia (Duffy, Mcanulty y Albert, 1996). En 1997, Knott y Harr indicaron que la coherencia interhemisférica se observó reducida y generalizada en los adultos mayores, es decir en todos los pares de sitio de registro con respecto a α_1 y se observó con mayor frecuencia en los pares ubicados en regiones anteriores (FP1-FP2, F3-F4, F7-F8); por otro lado, ser fumador afectó significativamente la coherencia interhemisférica dentro de la banda de α en todos los pares de sitios y también alteró la coherencia intrahemisférica en los pares de sitios (F3-O1 y F4-O2) (Knott y Harr, 1997).

En la primera década de este siglo se encontraron dos publicaciones.

En el año 2000 Kikuchi et al. reportaron menor coherencia interhemisférica para δ , Θ , α_3 , β_1 y β_2 en estado de reposo, por otra parte, durante la estimulación fónica a 15 Hz los participantes de mayor edad presentaron significativamente mayor coherencia interhemisférica, lo que sugiere una baja conectividad funcional interhemisférica en las personas de edad avanzada en condiciones sin estímulo y alta conectividad durante la estimulación fónica (Kikuchi, Wada, Koshino, Nanbu y Hashimoto, 2000). Y en 2006, Babiloni et al. señalaron que sus



Lino-González, Téllez-Alanís, Carrillo-Mora, Durand-Rivera

resultados sugieren que δ occipital y los ritmos α corticales en la región posterior disminuyen en magnitud durante el envejecimiento fisiológico con tendencias tanto lineales como no lineales (Babiloni et al., 2006).

Entre el 2010 al año 2018 se detectaron cuatro estudios. En 2012 Vysata et al. reportaron mayor significancia estadística en la disminución de la densidad de potencia espectral determinada por la edad para el rango de α , así como, dependencia significativa entre la energía global y las potencias espectrales de todos los ritmos (Vysata, Kukal, Prochazka, Pazdera y Valis, 2012). En 2015, Zappasodi et al. encontraron una disminución de la dimensión fractal después de la quinta década de vida, refieren que la curva que mejor se ajusta a los cambios en los valores de dimensión fractal a través de la edad es una parábola con el vértice ubicado alrededor de los 50 años, observaron una asimetría de la dimensión fractal interhemisférica en las regiones frontal y central (Zappasodi, Marzetti, Olejarczyk, Tecchio y Pizzella, 2015). Portnova y Atanov, en 2016, reportaron que los participantes de edad avanzada mostraban oscilaciones en el EEG dos a tres veces más pequeñas en la amplitud en comparación con los adultos más jóvenes; así mismo, mediante análisis espectral y análisis de frecuencia del pico de α se observaron cambios electroencefalográficos en los participantes de mayor edad (Portnova y Atanov, 2016). Y finalmente, en 2018 Knyazeva et al. observaron una transformación del ritmo α multicomponente a un ritmo α de un solo componente, también una tendencia descendente del ritmo α de mayor y menor frecuencia sugiriendo una pérdida de actividad occipitotemporal, consideran que el componente de α de menor frecuencia se desplaza con la edad en dirección anterior y que la frecuencia pico del componente del ritmo α de mayor frecuencia es un índice neurobiológico importante del envejecimiento cognitivo (Knyazeva, Barzegaran, Vildavski y Demonet, 2018).

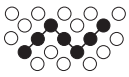
En lo que respecta a Hispanoamérica, no se localizaron trabajos que describieran, exclusivamente, las características del EEG en estado de reposo en adultos mayores saludables. Sin embargo, sí se detectaron dos estudios en adultos mayores mexicanos que exploran la relación entre variables electroencefalográficas y cognitivas. Roca-Stappung et al. estudiaron la relación entre los resultados de una prueba de inteligencia (WAIS-III) y el EEG, encon-

trando que, en términos de potencia absoluta y relativa, valores menores de Θ y δ y valores mayores de α se correlacionaron con mejores puntajes en los subíndices de la prueba (Roca-Stappung et al., 2012). Mientras que Sánchez-López et al. evaluaron la asociación entre la actividad física incidental, funciones cognitivas y actividad electroencefalográfica, encontrando menor desempeño cognitivo y enlentecimiento del EEG (en regiones frontales, centrales y temporales) en el grupo físicamente pasivo (Sanchez-Lopez et al., 2018).

Discusión

Al realizar la presente revisión, nos enfrentamos a la dificultad para encontrar artículos originales específicos de EEG en adultos mayores saludables en estado de reposo; notamos una gran variedad de trabajos sobre potenciales relacionados a eventos y sobre el empleo de esta técnica neurofisiológica en diversas patologías o condiciones clínicas. Con respecto a los hallazgos reportados para el ritmo α se destaca que con el envejecimiento se presenta una desaceleración (Obrist, 1954; Matoušek et al., 1967; Dustman et al., 1985; Giaquinto y Nolfé, 1986), así como una disminución de la frecuencia (Otomo, 1966; Wang y Busse, 1969) y la potencia (Roubicek, 1977; Kane et al., 2017; Vysata et al., 2012), sugiriendo que esta disminución sigue un patrón no lineal (Hubbard et al., 1976); también, se menciona que alrededor de los 70 años el valor promedio de α es de 9.6 ± 1 Hz, a los 80 años 9.5 ± 1 Hz, a los 90 años 9.1 ± 1.5 Hz (Otomo, 1966) y a los 100 años 8.6 Hz (Hubbard et al., 1976), cuando según lo reportado en la literatura, el promedio en adultos sanos (20 a 60 años) es 10.2 ± 0.9 Hz (Martínez, 2014), finalmente, se sugiere la transformación de un ritmo α multicomponente a un ritmo α de un solo componente (Knyazeva et al., 2018).

En lo que respecta al ritmo β se observó su presencia en 50% de las personas mayores estudiadas, lo cual no difiere de los registros obtenidos de sujetos de mediana edad (Obrist, 1954), así como, un incremento de la actividad (no significativo) (Matoušek et al., 1967; Müller et al., 1975), disminución de la potencia eléctrica (Roubicek, 1977) y reducción de los valores (Hartikainen et al., 1992). En cuanto a actividad Θ se refiere una disminución en la frecuencia (Matoušek et



Cambios electroencefalográficos durante el envejecimiento saludable: Revisión del estado del arte

al., 1967) y amplitud absolutas (Hartikainen et al., 1992); así como la presencia de frecuencia focal en el 63.2% de los participantes que presentaron anomalías focales y focos bilaterales de ritmo (Torres et al., 1983); en lo que respecta a se reportó mayor frecuencia en personas mayores de 80 años (Obrist, 1954), así como, disminución de la actividad (Matoušek et al., 1967), de la amplitud y de la potencia (absolutas) a partir de los 60 años (Hartikainen et al., 1992). Otro aspecto reportado tiene que ver con la coherencia interhemisférica, se sugiere que esta, disminuye con el aumento de la edad (Hubbard et al., 1976; Knott y Harr 1997) y en estado de reposo (Kikuchi et al., 2000); por otra parte, durante estimulación fónica los participantes de mayor edad presentaron más coherencia (Kikuchi et al., 2000).

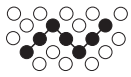
Con respecto al sexo de los participantes, se encontró que el ritmo α en las mujeres presentó mayor frecuencia y amplitud (Wang y Busse, 1969), en lo que respecta a δ presentaron menor actividad (Giaquinto y Nolfé, 1986) y en β mayor actividad (Giaquinto y Nolfé, 1986; Hartikainen et al., 1992) en comparación con los hombres estudiados, finalmente, se observó que la coherencia interhemisférica tiende a ser mayor en las mujeres diestras y en los hombres zurdos (Duffy et al., 1996). Analizando los resultados reportados, cabe mencionar que muchas de las muestras estudiadas no fueron completamente saludables, ya que, difícilmente se pudo conseguir la participación de personas que cumplieran con el criterio de edad y que además no presentaran alguna enfermedad relacionada con el envejecimiento. Pollock et al. sugieren considerar criterios de selección más estrictos y reducir el rango de edad de los participantes (Pollock et al., 1990), mientras que, Hartikainen et al. hacen hincapié en un adecuado tamaño de la muestra (Hartikainen et al., 1992).

Los autores atribuyen que los cambios observados, relacionados con los registros electroencefalográficos y los hallazgos en cada una de las bandas de frecuencia, obedece a que en el envejecimiento se presentan diferentes modificaciones, todas relacionadas con el envejecimiento saludable. Se ha considerado que la aterosclerosis, la disminución del flujo sanguíneo (Obrist, 1954; Hubbard et al., 1976; Müller et al. 1975), cambios anatómicos (Müller et al. 1975; Katz y Horowitz, 1982; Dustman et al., 1985; Zappasodi et al. 2015) (ganglios basales, materia gris y blanca, hipotálamo, hipocampo, amígdala, disminu-

disminución de número de neuronas), bioquímicos (Müller et al. 1975; Dustman et al., 1985; Hartikainen et al., 1982; Kikuchi et al., 2000; Zappasodi et al., 2015) y metabólicos (Obrist, 1954), así como, alteración del equilibrio entre la actividad cerebral inhibitoria y excitatoria (Roubicek, 1977; Dustman et al., 1985; Babiloni et al., 2006), conectividad reducida entre redes neuronales (Zappasodi et al., 2015), enfermedades metabólicas (Hartikainen et al., 1992) y el nivel socioeconómico (asociado con el sexo de los participantes) son factores que inciden sobre la actividad eléctrica cerebral (Wang y Busse, 1969).

Con respecto a la desincronización del EEG se infiere que está relacionada con una disminución de la conectividad interhemisférica, que a su vez se refleja en la coherencia. Una hipótesis se relaciona con el cuerpo calloso (Duffy et al., 1996; Kikuchi et al., 2000) ya que se ha reportado una disminución de su tamaño durante el proceso de envejecimiento, sin embargo, se ha sugerido también que la reducción del volumen de la sustancia blanca puede ocasionar una disminución de la conectividad en todo el sistema nervioso central, provocando desincronización; por otra parte, se ha demostrado que una pérdida neuronal significativa en estructuras subcorticales (prosencéfalo basal, sustancia negra y rafe) influyen en los niveles de neurotransmisores.

Ahora bien, en lo relativo a la mayor coherencia interhemisférica observada en las mujeres, se sugiere que debido a la evidencia de un mayor volumen de la porción posterior del cuerpo calloso en el sexo femenino y los hallazgos reportados con respecto a que ciertas regiones del cuerpo calloso en las mujeres alcanzan su tamaño máximo entre la cuarta década y principios de la quinta, en comparación con los hombres que alcanza su punto máximo en la segunda década para después disminuir su tamaño pudiera explicar la interacción edad y sexo. En lo que respecta a mayor coherencia encontrada en las mujeres diestras y en los hombres zurdos, Duffy et al. sugieren que puede explicarse mediante el estudio de Cowell et al. quienes informaron con base en estudios de resonancia magnética que el cuerpo calloso anterior es más voluminoso en las mujeres diestras y en los hombres zurdos (Duffy et al., 1996). Por otra parte, Zappasodi et al. refieren que dentro del proceso de desequilibrio interhemisférico observado en adultos mayores saludables, la disminución de la complejidad relacionada con la edad en el hemisferio derecho podría ser un signo de fenómeno compensa-



Lino-González, Téllez-Alanís, Carrillo-Mora, Durand-Rivera

torio natural del cerebro envejecido; refieren que se ha propuesto la existencia de una red neuronal que abarca las áreas parietal y frontal del hemisferio derecho, con la finalidad de contribuir a la reserva cognitiva, protegiendo así al cerebro de la disfunción ocasionada por cambios o enfermedades relacionadas con la edad (Zappasodi et al., 2015).

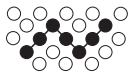
En resumen, podemos señalar que la actividad eléctrica cerebral se modifica en los adultos mayores aun cuando su estado de salud se considere adecuado; estos cambios funcionales pueden estar relacionados con modificaciones cognitivas que se han reportado en la literatura y que se consideran parte del envejecimiento normal. Al parecer el ritmo que presenta mayores indicadores de cambio es α , además entre otras cosas, se han evidenciado cambios en la coherencia interhemisférica dependiendo de la condición a la que el participante esté expuesto durante el registro electroencefalográfico y el sexo del participante.

Conclusión

Esta revisión pone de manifiesto, la importancia y necesidad de realizar investigación que continúe con el estudio de la actividad eléctrica cerebral de los adultos mayores saludables, con la finalidad de aportar información que facilite entender aún más el proceso de envejecimiento, que, a su vez, permita aportar conocimiento a las diferentes áreas de la salud que se interesan en la población geriátrica. Esta necesidad es vital considerando el incremento de esta población en próximos años.

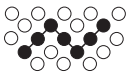
REFERENCIAS

1. Al-Qazzaz, N. K., Ali, S. H. B., Ahmad, S. A., Chellappan, K., Islam, M., & Escudero, J. (2014). Role of EEG as biomarker in the early detection and classification of dementia. *The Scientific World Journal*, 2014:906038. doi: 10.1155/2014/906038
2. Al Zoubi, O., Ki Wong, C., Kuplicki, R. T., Yeh, H. W., Mayeli, A., Refai, H., ... & Bodurka, J. (2018). Predicting age from brain eeg signals —a machine learning approach. *Frontiers in aging neuroscience*, 10, 184. Doi:10.3389/fnagi.2018.00184
3. Babiloni, C., Binetti, G., Cassarino, A., Dal Forno, G., Del Percio, C., Ferreri, F., ... & Lanuzza, B. (2006). Sources of cortical rhythms in adults during physiological aging: a multicentric EEG study. *Human brain mapping*, 27(2), 162-172. doi: 10.1002/hbm.20175
4. Barros, M. I. M., & Guardiola, G. T. (2006). Conceptos básicos de electroencefalografía. *Duazary*, 31, 18-23
5. Binnie, C. D., & Prior, P. F. (1994). Electroencephalography. *Journal of Neurosurgery and Psychiatry*, 57, 308-1319. doi: 10.1136/jnnp.57.11.1308
6. Cai, L., Chan, J. S., Yan, J. H., & Peng, K. (2014). Brain plasticity and motor practice in cognitive aging. *Frontier in Aging Neuroscience*, 10(6), 31. doi: 10.3389/fnagi.2014.00031
7. Craik, F. I. (2009). Ageing memory: ageing memories. En *Inside Psychology: A Science Over 50 Years*, 73-90. doi: 10.1093/acprof:oso/978019228768.003.0007
8. Di Flumeri, G., Aricò, P., Borghini, G., Sciaraffa, N., Di Florio, A., & Babiloni, F. (2019). The dry revolution: evaluation of three different EEG dry electrode types in terms of signal spectral features, mental states classification and usability. *Sensors*, 19(6), 1365. doi: 10.3390/s19061365
9. Duffy, F. H., Mcanulty, G. B., & Albert, M. S. (1996). Effects of age upon interhemispheric EEG coherence in normal adults. *Neurobiology of aging*, 17(4), 587-599. doi: 10.1016/0197-4580(96)00007-3
10. Dustman, R. E., LaMarche, J. A., Cohn, N. B., Shearer, D. E., & Talone, J. M. (1985). Power spectral analysis and cortical coupling of EEG for young and old normal adults. *Neurobiology of aging*, 6(3), 193-198. doi: 10.1016/0197-4580(85)90049-1
11. Flores, T., Islas, J., & Flores, B. (1997). Antecedentes históricos de la neurofisiología y su desarrollo en México. En *Registros electrofisiológicos para el diagnóstico de la Patología de la Comunicación Humana*. Distrito Federal, México: Secretaría de Salud
12. Giaquinto, S., & Nolfé, G. (1986). The EEG in the normal elderly: a contribution to the interpretation of aging and dementia. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 63(6), 540-546. doi: 10.1016/0013-4694(86)90141-0
13. Hartikainen, P., Soininen, H., Partanen, J., Helkala, E. L., & Riekkinen, P. (1992). Aging and spectral analysis of EEG in normal subjects: a link to memory and CSF AChE. *Acta Neurologica Scandinavica*, 86(2), 148-155. doi: 10.1111/j.1600-0404.1992.tb05057.x



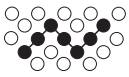
Cambios electroencefalográficos durante el envejecimiento saludable: Revisión del estado del arte

14. Hashemi, A., Pino, L. J., Moffat, G., Mathewson, K. J., Aimone, C., Bennett, P. J., ... & Sekuler, A. B. (2016). Characterizing population EEG dynamics throughout adulthood. *eNeuro*, 3(6). doi:10.1523/ENEURO.0275-16.2016
15. Hou, F., Liu, C., Yu, Z., Xu, X., Zhang, J., Peng, C. K., ... & Yang, A. (2018). Age-related alterations in electroencephalography connectivity and network topology during n-back working memory task. *Frontiers in human neuroscience*, 12, 484. doi: 10.3389/fnhum.2018.00484
16. Hubbard, O., Sunde, D., & Goldensohn, E. S. (1976). The EEG in centenarians. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 40, 407-417. doi: 10.1016/0013-4694(76)90192-9
17. Kamarajan, C., & Porjesz, B. (2015). Advances in electrophysiological research. *Alcohol research: current reviews*, 37(1), 53-87
18. Kane, N., Acharya, J., Beniczky, S., Caboclo, L., Finnigan, S., Kaplan, P. W., ... & van Putten, M. J. (2017). A revised glossary of terms most commonly used by clinical electroencephalographers and updated proposal for the report format of the EEG findings. Revision 2017. *Clinical neurophysiology practice*, 2, 170-185. doi: 10.1016/j.cnp.2017.07.002
19. Kanokwan, S., Pramkamol, W., Wipatcharee, K., Warissara, W., Siwarit, R., Sompiya, S., ... & Mitra, S. (2019). Age-related differences in brain activity during physical and imagined sit-to-stand in healthy young and older adults. *Journal of physical therapy science*, 31(5), 440-448. doi:10.1589/jpts.31.440
20. Katz, R. I., & Horowitz, G. R. (1982). Electroencephalogram in the septuagenarian: studies in a normal geriatric population. *Journal of the American Geriatrics Society*, 30(4), 273-275. doi: 10.1111/j.1532-5415.1982.tb07101.x
21. Kikuchi, M., Wada, Y., Koshino, Y., Nanbu, Y., & Hashimoto, T. (2000). Effect of normal aging upon interhemispheric EEG coherence: analysis during rest and photic stimulation. *Clinical Electroencephalography*, 31(4), 170-174. doi: 10.1177/155005940003100404
22. Knott, V. J., & Harr, A. (1997). Aging, smoking and EEG coherence: a preliminary study. *Clinical Electroencephalography*, 28(4), 236-244. doi: 10.1177/155005949702800409
23. Knyazeva, M. G., Barzegaran, E., Vildavski, V. Y., & Demonet, J. F. (2018). Aging of human alpha rhythm. *Neurobiology of aging*, 69, 261-273. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2018.05.018
24. Martínez, E. I. R. (2014). Indicadores de maduración cerebral y su relación con la memoria de trabajo (Doctoral dissertation, Universidad de Sevilla). Recuperado de idus.us.es/bitstream/handle/11441/69331/2014rodriindic.pdf?sequence=1&isAllowed=y
25. Matoušek, M., Volavka, J., Roubíček, J., & Roth, Z. (1967). EEG frequency analysis related to age in normal adults. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 23(2), 162-167. doi: 10.1016/0013-4694(67)90106-X
26. Mohamed, Z., El Halaby, M., Said, T., Shawky, D., & Badawi, A. (2018). Characterizing focused attention and working memory using EEG. *Sensors*, 18(11), 3743. doi: 10.3390/s18113743
27. Müller, H. F., Grad, B., & Engelsmann, F. (1975). Biological and psychological predictors of survival in a psychogeriatric population. *Journal of gerontology*, 30(1), 47-52. doi: 10.1093/geronj/30.1.47
28. Nunez, P. L., Srinivasan, R., & Fields, R. D. (2015). EEG functional connectivity, axon delays and white matter disease. *Clinical neurophysiology*, 126(1), 110-120. doi: 10.1016/j.clinph.2014.04.003
29. Obrist, W. D. (1954). The electroencephalogram of normal aged adults. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 6, 235-244. doi: 10.1016/0013-4694(54)90025-5
30. Organización de las Naciones Unidas, ONU. (2014). "Envejecer bien" una prioridad mundial. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/lancet-ageing-series/es/>
31. Organización Mundial de la Salud, OMS. (2012). Innovaciones para un envejecimiento sano: comunicación y cuidados. *Boletín de la Organización Mundial de la salud*. 90(3),157-244
32. Organización Mundial de la Salud, OMS. (2015). ¿Qué repercusiones tiene el envejecimiento mundial en la salud pública? Recuperado de <http://www.who.int/features/qa/42/es/>
33. Organización Mundial de la Salud, OMS. (2016). Maltrato de las personas mayores. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs357/es/>
34. Organización Mundial de la Salud, OMS. (2017a). Envejecimiento y salud. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs404/es/>
35. Organización Mundial de la Salud, OMS. (2017b). 10 datos sobre el envejecimiento y la salud. Recuperado de <http://www.who.int/features/factfiles/ageing/es/>
36. Otomo, E. (1966). Electroencephalography in old age: dominant alpha pattern. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 21(5), 489-491. doi: 10.1016/0013-4694(66)90197-0
37. Palacios, L. (2002). Breve historia de la electroencefalografía. *Acta Neurológica Colombiana*, 18, 104-107



Lino-González, Téllez-Alanís, Carrillo-Mora, Durand-Rivera

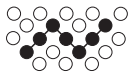
38. Pollock, V. E., Schneider, L. S., & Lyness, S. A. (1990). EEG amplitudes in healthy, late-middle-aged and elderly adults: normality of the distributions and correlations with age. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 75(4), 276-288
39. Portnova, G. V., & Atanov, M. S. (2016). Age-Dependent Changes of the EEG Data: Comparative Study of Correlation Dimension D2 Spectral Analysis Peak Alpha Frequency and Stability of Rhythms. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*, 4(2), 56-61
40. Provencher, D., Hennebelle, M., Cunnane, S. C., Bérubé-Lauzière, Y., & Whittingstall, K. (2016). Cortical thinning in healthy aging correlates with larger motor-Evoked EEG desynchronization. *Frontiers in aging neuroscience*, 8, 63. doi: 10.3389/fnagi.2016.00063
41. Ramos-Argüelles, F., Morales, G., Egozcue, S., Pabón, R. M., & Alonso, M. T. (2009). Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 32, 69-82
42. Roca-Stappung, M., Fernández, T., Becerra, J., Mendoza-Montoya, O., Espino, M., & Harmony, T. (2012). Healthy aging: relationship between quantitative electroencephalogram and cognition. *Neuroscience letters*, 510(2), 115-120. doi: 10.1016/j.neulet.2012.01.015
43. Roubicek, J. (1977). The electroencephalogram in the middle-aged and the elderly. *Journal of the American Geriatrics Society*, 25(4), 145-152. doi: 10.1111/j.1532-5415.1977.tb00282.x
44. Sanchez-Lopez, J., Silva-Pereyra, J., Fernández, T., Alatorre-Cruz, G. C., Castro-Chavira, S. A., González-López, M., & Sánchez-Moguel, S. M. (2018). High levels of incidental physical activity are positively associated with cognition and EEG activity in aging. *PLoS one*, 13(1). doi: 10.1371/journal.pone.0191561
45. Shigeta, M., Julin, P., Almkvist, O., Basun, H., Rudberg, U., & Wahlund, L. O. (1995). EEG in successful aging; a 5 year follow-up study from the eighth to ninth decade of life. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 95(2), 77-83. doi: 10.1016/0013-4694(95)00034-V
46. Talamillo, T. (2011). Manual básico para enfermeros en electroencefalografía. *Enfermería docente*, 94, 29-33
47. Torres, F., Faoro, A., Loewenson, R., & Johnson, E. (1983). The electroencephalogram of elderly subjects revisited. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 56(5), 391-398. doi: 10.1016/0013-4694(83)90220-1
48. Vysata, O., Kukal, J., Prochazka, A., Pazdera, L., & Valis, M. (2012). Age-related changes in the energy and spectral composition of EEG. *Neurophysiology*, 44(1), 63-67. doi: 10.1007/s11062-012-9268-y
49. Wang, H. S., & Busse, E. W. (1969). EEG of healthy old persons—a longitudinal study. I. Dominant background activity and occipital rhythm. *Journal of gerontology*, 24(4), 419-426. doi: 10.1093/geronj/24.4.419
50. Zappasodi, F., Marzetti, L., Olejarczyk, E., Tecchio, F., & Pizzella, V. (2015). Age-related changes in electroencephalographic signal complexity. *PLoS one*, 10(11), e0141995. doi: 10.1371/journal.pone.0141995



Cambios electroencefalográficos durante el envejecimiento saludable: Revisión del estado del arte

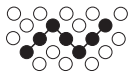
Tabla 1. Características de los ritmos cerebrales

Ritmo	Región de origen	Frecuencia (Hz)	Amplitud (μ V)	Duración (ms)	Condición
Delta (δ)	Frontal	1 - 4	20 – 200	250 - 2000	Sueño profundo, enfermedades cerebrales orgánicas graves
Theta (θ)	Temporal y parietal	4 - 7	5 – 10	125 – 250	Sueño, excitación y estrés emocional
Alfa (α)	Occipital	8 - 12	20 – 200	77 - 125	Vigilia, relajación, ojos cerrados
Beta (β)	Frontocentral y parietal	14 - 30	5 – 10	33 - 72	Vigilia, alerta



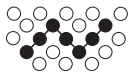
Lino-González, Téllez-Alanís, Carrillo-Mora, Durand-Rivera

Hubbard et al.	USA 1976	Hombres y mujeres n=10 (100 a 105 años) 7 saludables	Asociar el EEG con el envejecimiento extremo en diez centenarios	- Alerta - Somnolencia - Estimulación fótica - Hiperventilación - Reposo	Promedio de ritmo $\alpha = 8.6$ Hz
Roubicek	Suiza 1977	Hombres y mujeres saludables n= 159 (46 a 92 años)	Analizar las características electroencefalográficas de personas de mediana edad y ancianos	- Vigilia	La actividad de α mostró una disminución significativa
Katz y Horowitz	USA 1982	Hombres y mujeres saludables n=52 (Media de edad 75 años)	Correlacionar entre las diferencias y las variables del EEG con la función mental y física, así como los cambios patológicos subyacentes	- Vigilia	Media de la frecuencia de $\alpha = 9.8 \pm 0.1$
Torres et al.	USA 1983	Hombres y mujeres n=182 (48 a 88 años) Saludables vs evento vascular cerebral	Identificar un grupo de patrones que podrían ayudar a diferenciar los cambios del EEG asociados con la edad avanzada en individuos normales de aquellos que son indicativos de patología en el mismo grupo de edad.	- Estimulación fótica con ojos abiertos y ojos cerrados. - Hiperventilación	Media de la frecuencia de $\alpha = 9.7 \pm 1$ θ focal en área temporal media izquierda. Focos bilaterales δ o θ
Dustman et al.	USA 1985	Hombres y mujeres saludables n=80 (jóvenes 25-35 años y mayores 55-70 años)	Analizar la potencia espectral y acoplamiento cortical del EEG para adultos jóvenes y adultos mayores.	- Reposo con ojos cerrados	Menor variabilidad de los valores de potencia y acoplamiento cortical. Desaceleración de α .
Giaquinto y Nolfé	Italia 1986	Hombres y mujeres n=47 (sanos 47 mayores de 60 a 80 años, 16 jóvenes de 40 a 60 años; 14 con demencia tipo Alzheimer de 60 a 74 años)	Verificar las diferencias en la frecuencia media de α en áreas del cerebro distintas de las occipitales; identificar un posible envejecimiento hemisférico; probar la hipótesis de un continuo desde el envejecimiento hasta la demencia mediante el uso de un recurso electrofisiológico; verificar posibles diferencias relacionadas con el sexo.	- Estimulación auditiva	68 % de trazado α dominantes. Media de la frecuencia de $\alpha = 9.46$ Hz. Menor frecuencia de δ y mayor frecuencia de β en las mujeres.
Pollock et al.	USA 1990	Hombres y mujeres saludables n=60 (56 a 76 años)	Evaluar las distribuciones interindividuales de las amplitudes del EEG	- Reposo con ojos abiertos - Reposo con ojos cerrados	No encontraron correlación significativa entre las variables cuantitativas del EEG y la edad.
Hartikainen et al.	Finlandia 1992	Hombres y mujeres saludables n=52 (20 a 91 años)	Estudiar el efecto del envejecimiento en los espectros de EEG registrados a partir de la derivación T5-O1 (T6-O2).	- Reposo ojos cerrados	Amplitud absoluta de δ y θ , así como potencia absoluta de δ disminuyeron con la edad. Mayor actividad β en mujeres



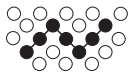
Cambios electroencefalográficos durante el envejecimiento saludable: Revisión del estado del arte

Hubbard et al.	USA 1976	Hombres y mujeres n=10 (100 a 105 años) 7 saludables	Asociar el EEG con el envejecimiento extremo en diez centenarios	- Alerta - Somnolencia - Estimulación fótica - Hiperventilación - Reposo	Promedio de ritmo α = 8.6 Hz
Roubicek	Suiza 1977	Hombres y mujeres saludables n= 159 (46 a 92 años)	Analizar las características electroencefalográficas de personas de mediana edad y ancianos	- Vigilia	La actividad de α mostró una disminución significativa
Katz y Horowitz	USA 1982	Hombres y mujeres saludables n=52 (Media de edad 75 años)	Correlacionar entre las diferencias y las variables del EEG con la función mental y física, así como los cambios patológicos subyacentes	- Vigilia	Media de la frecuencia de α = 9.8 \pm 0.1
Torres et al.	USA 1983	Hombres y mujeres n=182 (48 a 88 años) Saludables vs evento vascular cerebral	Identificar un grupo de patrones que podían ayudar a diferenciar los cambios del EEG asociados con la edad avanzada en individuos normales de aquellos que son indicativos de patología en el mismo grupo de edad.	- Estimulación fótica con ojos abiertos y ojos cerrados. - Hiperventilación	Media de la frecuencia de α = 9.7 \pm 1 θ focal en área temporal media izquierda. Focos bilaterales δ o θ
Dustman et al.	USA 1985	Hombres y mujeres saludables n=80 (jóvenes 25-35 años y mayores 55-70 años)	Analizar la potencia espectral y acoplamiento cortical del EEG para adultos jóvenes y adultos mayores.	- Reposo con ojos cerrados	Menor variabilidad de los valores de potencia y acoplamiento cortical. Desaceleración de α .
Giaquinto y Nolfe	Italia 1986	Hombres y mujeres n=47 (sanos 47 mayores de 60 a 80 años, 16 jóvenes de 40 a 60 años; 14 con demencia tipo Alzheimer de 60 a 74 años)	Verificar las diferencias en la frecuencia media de α en áreas del cerebro distintas de las occipitales; identificar un posible envejecimiento hemisférico; probar la hipótesis de un continuo desde el envejecimiento hasta la demencia mediante el uso de un recurso electrofisiológico; verificar posibles diferencias relacionadas con el sexo.	- Estimulación auditiva	68 % de trazado α dominantes. Media de la frecuencia de α = 9.46 Hz. Menor frecuencia de δ y mayor frecuencia de β en las mujeres.
Pollock et al.	USA 1990	Hombres y mujeres saludables n=60 (56 a 76 años)	Evaluar las distribuciones interindividuales de las amplitudes del EEG	- Reposo con ojos abiertos - Reposo con ojos cerrados	No encontraron correlación significativa entre las variables cuantitativas del EEG y la edad.
Hartikainen et al.	Finlandia 1992	Hombres y mujeres saludables n=52 (20 a 91 años)	Estudiar el efecto del envejecimiento en los espectros de EEG registrados a partir de la derivación T5-O1 (T6-O2).	- Reposo ojos cerrados	Amplitud absoluta de δ y θ , así como potencia absoluta de δ disminuyeron con la edad. Mayor actividad β en mujeres



Lino-González, Téllez-Alanís, Carrillo-Mora, Durand-Rivera

Shigeta et al.	Suecia 1995	Hombres y mujeres saludables, dos grupos: n1=25 (76 a 83 años) n2=13 (80 a 88 años)	Describir el perfil del EEG en individuos con envejecimiento exitoso y los cambios longitudinales que podrían ocurrir.	- Reposo con ojos cerrados	La prevalencia de la desaceleración intermitente del EEG aumenta con el incremento de la edad
Duffy et al.	USA 1996	Hombres y mujeres saludables n=371 (20 a 80 años)	Examinar los efectos de la edad sobre la coherencia interhemisférica del EEG en adultos normales	- Reposo con ojos cerrados - Reposo con ojos abiertos	La coherencia interhemisférica disminuye con la edad. Mayor coherencia interhemisférica en mujeres diestras.
Knot y Harr	Canadá 1997	Hombres y mujeres saludables n=40 (4 grupos: jóvenes fumadores y no fumadores de 18 a 39 años; mayores fumadores y no fumadores de 64 a 81 años)	Examinar la coherencia del EEG en relación con el estado del participante (no fumador vs. fumador) y el proceso de envejecimiento (adultos jóvenes vs. adultos mayores) y determinar si el estado de fumador influye en los patrones de coherencia del EEG observados con el envejecimiento normal.	- Reposo con ojos cerrados	Coherencia interhemisférica reducida en adultos mayores. Mayor coherencia de α interhemisférica en fumadores jóvenes y mayores
Kikuchi et al.	Japón 2000	Hombres y mujeres saludables n=55 (25 mayores de 50 a 67 años y 30 jóvenes de 20 a 27 años)	Examinar y comparar entre sujetos sanos y de edad avanzada la coherencia interhemisférica de EEG en reposo y durante estimulación fótica	- Reposo con ojos cerrados - Estimulación fótica	Incremento de la coherencia interhemisférica durante la estimulación fótica
Babiloni et al.	Italia 2006	Hombres y mujeres saludables n=215 (107 mayores de 51 a 85 años y 108 jóvenes de 18 a 50 años)	Verificar si los ritmos corticales de EEG en sujetos sanos (especialmente δ y α) muestran una tendencia progresiva creciente o decreciente con el envejecimiento fisiológico.	- Reposo con ojos cerrados	Disminución de δ en región occipital Disminución de $\alpha 1$ y $\alpha 2$ en región parietal, occipital, temporal y límbica
Vysata et al.	República Checa 2012	Hombres y mujeres saludables n=17,722 (20 a 70 años)	Evaluar los cambios relacionados con la edad en la composición de frecuencia y energía global del EEG en una muestra representativa de sujetos sanos	- Reposo con ojos cerrados	Disminución de la densidad de potencia espectral para α
Zappasodi et al.	Italia 2015	Hombres y mujeres saludables n=40 (16 a 85 años)	Evaluar si la dimensión fractal de la actividad EEG, medida por el algoritmo de Higuchi, se modula a través del envejecimiento saludable	- Reposo con ojos abiertos	Asimetría de dimensión fractal interhemisférica en región frontal y central



Cambios electroencefalográficos durante el envejecimiento saludable: Revisión del estado del arte

Portnova y Atanov	Rusia 2016	Hombres y mujeres saludables n=246 (3 a 75 años. 6 grupos: Infancia preescolar, infancia media, adolescencia, edad adulta temprana, edad adulta media, edad adulta tardía)	Presentar nuevos métodos para explorar los cambios dinámicos de EEG durante el desarrollo humano y el envejecimiento y evaluar sus ventajas.	- Reposo con ojos abiertos - Reposo con ojos cerrados - Estimulación auditiva desagradable	Modificaciones en el EEG en el envejecimiento obtenidos mediante análisis espectral y análisis de frecuencia de pico de α
Knyazeva et al.	Suiza 2018	Hombres y mujeres saludables n=60 (20 a 81 años)	Identificar la estructura del ritmo α de adultos sanos de mediana edad o mayores con el método de análisis factorial paralelo y compararla con la de participantes jóvenes.	- Reposo con ojos abiertos - Reposo con ojos cerrados - Tareas cognitivas	La estructura multicomponente del ritmo α (componente de alta frecuencia y componente de baja frecuencia) se pierde con el envejecimiento; ambos, componentes presentan desaceleración.