VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Análisis ambiental de partículas suspendidas ($PM_{2.5}$) y su asociación con síntomas de TDAH

Environmental Analysis of Fine Particulate Matter ($PM_{2.5}$) and its Association with ADHD Symptoms

Alondra Lucia Ramos Sotelo[1], Jennifer Itzel Campos Juarez[1], Nicole Guerrero Falcón[1], Luis Daniel Juárez Villalobos[2], Alejandra Abigail Berumen Rodríguez[3,5], Itzel Natalia Ramírez Montiel[2], Raúl Morales Villegas[4], Diana Olivia Rocha Amador[5]

[1] Licenciatura en Químico, Farmacéutico Biólogo, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.
[2] Maestría en Ciencias Farmacéuticas, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.
[3] Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
[4] Coordinación Académica Región Huasteca Sur, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
[5] Departamento de Farmacia, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.
drochaa@ugto.mx

Resumen

La exposición a partículas suspendidas finas ($PM_{2.5}$) se ha relacionado con alteraciones en el neurodesarrollo infantil. El objetivo de este estudio fue explorar la posible relación entre la exposición a $PM_{2.5}$ y la presencia de síntomas compatibles con TDAH en niños de tres escuelas con diferentes características ambientales del estado de Guanajuato. Se realizó un monitoreo de $PM_{2.5}$ y la sintomatología se evaluó mediante la escala de Conners. Los resultados mostraron que la escuela cercana a la refinería presentó los mayores porcentajes de puntuaciones clínicamente significativas, principalmente en las dimensiones de conducta, aprendizaje e impulsividad-hiperactividad, mientras que las escuelas con alto tráfico vehicular y de referencia presentaron resultados similares. Estos hallazgos aportan evidencia preliminar sobre la posible influencia del ambiente en la sintomatología asociada al TDAH y resaltan la necesidad de realizar estudios con un mayor tamaño de muestra.

Palabras clave: síntomas TDAH; partículas suspendidas, niños.

Introducción

El trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH) es una alteración del neurodesarrollo, se caracteriza por la dificultad de mantener atención, la hiperactividad y las conductas impulsivas[1] que con frecuencia se detecta en la infancia y en la adolescencia y que los síntomas pueden durar hasta la adultez. Su prevalencia en América Latina va del 5% al 10% [2]. El TDAH tiene un origen biológico y una etiología multifactorial, en la que intervienen factores genéticos y ambientales [3]. Entre los ambientales, la exposición a contaminantes atmosféricos ha cobrado especial interés debido a su posible impacto en el desarrollo del sistema nervioso. La contaminación del aire puede alterar el neurodesarrollo mediante mecanismos como la neuroinflamación, estrés oxidativo y toxicidad directa, afectando el desarrollo y funcionamiento normal del cerebro [2]. Los contaminantes del aire que afectan la salud humana se les conoce como contaminantes criterio, por lo cual se han establecido normas y niveles máximos de concentración en el aire para cada uno de ellos. Los contaminantes criterio son ozono (O_3), monóxido de carbono (CO), partículas suspendidas (PM) con diámetros aerodinámicos < 10 µm (PM_{10}) y ≤ 2.5 µm ($PM_{2.5}$), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2). Entre ellos, las partículas suspendidas $PM_{2.5}$ son de especial preocupación debido a su pequeño tamaño, su amplia superficie, su prolongado tiempo de permanencia en la atmósfera y su capacidad para adsorber sustancias tóxicas[4]. Estas características facilitan su ingreso al organismo y favorecen procesos inflamatorios y de estrés oxidativo, lo que incrementa el riesgo de alteraciones neurológicas y otros efectos adversos sobre la salud.

Justificación

La exposición a contaminantes atmosféricos, como partículas suspendidas ($PM_{2.5}$), se ha relacionado con alteraciones en el neurodesarrollo infantil; sin embargo, la evidencia en población mexicana continúa siendo limitada. Asimismo, la inclusión de variables del contexto familiar como el nivel educativo el nivel educativo de los padres o nivel socioeconómico, permite considerar factores del entorno familiar que podrían estar relacionados con el desarrollo infantil y complementar el análisis de la exposición ambiental. El presente trabajo analiza y compara los resultados obtenidos previamente en población infantil de los municipios de Salamanca e Irapuato, con el propósito de explorar su asociación con síntomas de TDAH y aportar evidencia sobre la interacción entre factores ambientales y maternos en el neurodesarrollo.

Objetivos

Objetivo general

Relacionar sintomatología del trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH) con la presencia de partículas suspendidas ($PM_{2.5}$).

Objetivos específicos

1. Medir los contaminantes atmosféricos en diferentes lugares con características ambientales diversas.
2. Analizar los resultados de las evaluaciones de los síntomas de TDAH mediante la escala de Conners en la población perteneciente a las zonas seleccionadas.
3. Relacionar la asociación entre la exposición a contaminantes atmosféricos como las $PM_{2.5}$ y el aumento de sintomatología relacionada con TDAH.

Metodología

Sitio de monitoreo

La selección de los sitios de monitoreo se realizó considerando las características ambientales y las posibles fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos, principalmente la cercanía a la Refinería Ing. Antonio M. Amor (RIAMA) de Petróleos Mexicanos (PEMEX), la densidad del tráfico vehicular y el tipo de zona donde se ubican las escuelas participantes. En México, las actividades relacionadas con la exploración, explotación, refinación, almacenamiento y distribución de hidrocarburos representan una fuente importante de emisión de contaminantes atmosféricos. Durante el manejo de productos petrolíferos se liberan compuestos como compuestos orgánicos volátiles (VOC), óxido de nitrógeno (NO), dióxido de carbono (CO_2), sulfuro de hidrógeno (SH_2) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), los cuales pueden afectar la calidad del aire y representar un riesgo para la salud humana [5]. El tráfico vehicular también representa una fuente antropogénica de contaminación atmosférica, estudios demuestran que áreas con mayor tráfico vehicular presentan concentraciones que superan hasta en un 40% los límites diarios recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) debido a emisiones del escape y el desgaste mecánico (frenos/neumáticos)[6]. Con base a estas características, se seleccionaron tres escuelas primarias del estado de Guanajuato:

1. Escuela cercana a Refinería. Escuela Primaria ubicada en el municipio de Salamanca, Gto., cercana a la Refinería Ing. Antonio M. Amor (RIAMA) (<2 Km)
2. Escuela con Tráfico Vehicular. Escuela Primaria ubicada en el municipio de Irapuato, Gto., cercana a calles con alto tráfico vehicular.
3. Escuela referencia. Escuela Primaria ubicada en el municipio de Salamanca, Gto., lejana a la Refinería Ing. Antonio M. Amor (RIAMA) (>4Km) y con bajo tráfico vehicular.

VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx



Figura 1. Localización de los sitios de estudio.

Monitoreo de contaminantes atmosféricos

Durante el periodo se realizó el monitoreo continuo de contaminantes atmosféricos mediante un equipo portátil de medición de calidad del aire THAM, basado en una nariz electrónica equipada con un conjunto de sensores para la detección simultánea de contaminantes atmosféricos.

El equipo registró concentraciones de formaldehído (CH_2O), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), ozono (O_3), partículas suspendidas (PM_{10}, $PM_{2.5}$, $PM_{1.0}$) y compuestos volátiles (VOC), además de variables ambientales como temperatura y humedad. Las mediciones se realizaron de manera continua durante un periodo de siete días en cada una de las escuelas participantes.

Para el presente proyecto, solo se consideraron las concentraciones de $PM_{2.5}$.

Selección de la población de estudio

Se realizaron visitas previas a las escuelas seleccionadas para presentar el proyecto y solicitar la autorización de las autoridades escolares para llevar a cabo el estudio. Posteriormente, se organizaron reuniones informativas con los padres o tutores, en las cuales se explicaron los objetivos de este. Aquellos interesados en la participación de sus hijos recibieron información detallada del estudio y firmaron el consentimiento informado correspondiente. Los criterios de inclusión consideraron niños y niñas en edad escolar que residieran en el municipio correspondiente, se excluyeron aquellos participantes con diagnóstico previo de daño neuronal o en quienes no fue posible completar las evaluaciones contempladas en el protocolo.

Consideraciones éticas

El desarrollo del estudio fue evaluado y aprobado por el Comité de Ética para la Investigación de la Universidad de Guanajuato (CEPIUG), con número de registro CEPIUG-P30-2025.

Evaluación de los síntomas de TDAH

Para evaluar la presencia de síntomas compatibles con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) se empleó la Escala de Conners, instrumento ampliamente utilizado para la detección de problemas

de atención, hiperactividad e impulsividad en población infantil. Se aplicó la versión de 48 reactivos para padres de familia dirigida a niños en edad escolar. La escala evalúa seis dimensiones principales: 1) Conducta; 2) Aprendizaje; 3) Psicosomático; 4) Impulsivo-Hiperactivo; 5) Ansiedad e 6) Hiperactividad.

Los cuestionarios fueron contestados por los padres de los niños participantes, quienes previamente recibieron instrucciones para el correcto llenado de los formatos. En base al manual de aplicación de la escala de Conners, las puntuaciones superiores a 70 puntos T se consideran clínicamente significativas para la presencia de sintomatología asociada al TDAH [7].

Análisis estadístico

Para los datos correspondientes a las concentraciones de $PM_{2.5}$ se calculó tanto promedio cómo desviación estándar correspondiente al periodo de monitoreo. Se elaboraron gráficas comparativas con el fin de evaluar el comportamiento temporal, así como las diferencias en las concentraciones entre los tres sitios de estudio.

Para los datos obtenidos de la población, se realizó un análisis descriptivo (media, mediana, frecuencias, desviación estándar) de las variables como edad, género, nivel socioeconómico, ingreso familiar, escolaridad de los padres y escala de Conners.

Todo el análisis estadístico se llevó a cabo con el programa estadístico IBM® SPSS.

Resultados

La figura 2 muestra el comportamiento de las partículas suspendidas ($PM_{2.5}$) en los tres sitios de monitoreo: una escuela cercana a la refinería, una escuela con influencia de tráfico vehicular y una escuela de referencia. Las concentraciones de $PM_{2.5}$ se registraron cada tres minutos durante una semana en cada sitio. La línea horizontal naranja representa el valor de referencia de 25 µg/m³ según la NOM-025-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM_{10} y $PM_{2.5}$. Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

En la escuela cerca de la refinería las concentraciones permanecieron la mayor parte del tiempo por debajo del valor de referencia, sin embargo, se observaron episodios de incremento repentino en los que las concentraciones aumentaron considerablemente en un intervalo de tiempo corto. Destaca un evento registrado al inicio del periodo de monitoreo, donde se alcanzó una concentración aproximada de 150 µg/m³, siendo esta la concentración más alta registrada en este sitio. Además de este pico, se presentaron otros incrementos de menor magnitud distribuidos a lo largo de la semana, lo que sugiere la presencia de emisiones intermitentes o eventos puntuales que afectan temporalmente la calidad del aire en esta zona.

En la escuela con influencia de tráfico vehicular, las concentraciones de $PM_{2.5}$ también permanecieron en su mayoría cercanos o por debajo del valor de referencia; no obstante, este sitio presentó una mayor variabilidad en comparación con las demás. Se observaron cambios más frecuentes, con múltiples incrementos de corta duración. Sólo se observó un episodio donde se alcanzó una concentración de 128 µg/m³. Este comportamiento puede ser debido a las variaciones asociadas al flujo vehicular, el cual depende de factores como la intensidad del tránsito, tipo de vehículos, así como las condiciones meteorológicas.

En cambio, la escuela de referencia mostró concentraciones que permanecieron predominantemente alrededor o por debajo del valor de referencia, con variaciones de menor magnitud. En conjunto, los resultados muestran que, aunque los tres sitios registraron concentraciones de $PM_{2.5}$ generalmente cercanas o inferiores al valor de referencia, todas presentaron episodios transitorios de incremento que superaron dicho limite.

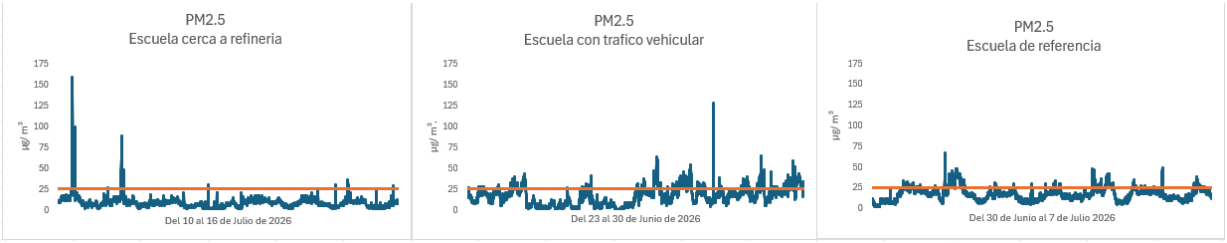


Figura 2. Comportamiento semanal del $PM_{2.5}$ en los sitios de estudio.

***Tabla 1**. Características generales de la población de estudio.*

Escuela	Cercana a Refinería (n=13)	Con alto tráfico Vehicular (n=40)	De referencia (n=40)
Edad $\bar{x}$± DE (Mín - Máx)	7.6 ± 0.9 6-9	7.2 ± 1.0 5 - 9	7.5 ± 0.9 6 - 10
Género Femenino n(%) Masculino n(%)	5 (38.5%) 9 (61.5%)	19 (47.5%) 21 (52.5%)	15 (37.5%) 25 (62.5%)
Escolaridad de la madre Nivel Básico n(%) Nivel Medio Superior n(%) Nivel Superior n(%)	8 (61.5%) 5 (38.5%) -	28 (70%) 10 (25%) 1 (2.5%)	14 (35%) 19 (47.5%) 7 (17.5%)
Escolaridad del padre Nivel Básico n(%) Nivel Medio Superior n(%) Nivel Superior n(%)	8 (61.5%) 1 (7.7%) -	24 (60%) 7 (17.5%) 2 (5%)	10 (25%) 15 (37.5%) 10 (25%)
Nivel Socioeconómico Alto n(%) Medio n(%) Bajo n(%)	1 (7.7%) 6 (46.2%) 6 (46.2%)	5 (12.5%) 20 (50%) 15 (37.5%)	6 (15%) 29 (72.5%) 5 (12.5%)
Ingreso familiar ($MN) $\bar{x}$± DE (Mín - Máx)	7,792.2 ±8,980.1 100 – 35,200	8,555.5 ± 2,173.7 5,000 – 12,000	12,2470 ± 8,962.8 5,000 – 40,000

La tabla 1 muestra las características sociodemográficas de los participantes, clasificadas de acuerdo con la ubicación de las escuelas participantes: cercana a la refinería (n=13), con alto tráfico vehicular (n=40) y de referencia (n=40).

Se observa que, en cuanto a la edad, los tres grupos presentan un valor muy similar (7.6 ± 0.9, 7.2 ± 1.0 y 7.5 ± 0.9).

Respecto al género, la distribución fue similar entre los tres grupos de estudio, observándose un ligero predominio del sexo masculino sobre el femenino (61.5%, 52.5%, 62.5% vs 38.5%, 47.5%, 37.5% respectivamente).

En cuanto a la escolaridad de los padres, en los padres de los niños que asisten a la escuela cercana a la refinería y de alto tráfico vehicular predominó el nivel básico (madre 61.5%, 70%; padre 61.5%, 60%), mientras que en la escuela de referencia presentó una mayor proporción de madres y padres con estudios de nivel medio superior (madre 47,5%; padre 37.5%).

De acuerdo con el nivel socioeconómico, el nivel medio fue el más frecuente en la población estudiada, particularmente en la escuela de referencia (72.5%), seguido de la escuela con alto tráfico vehicular (50.0%). En la escuela cercana a la refinería se observó una distribución similar entre los niveles medio y bajo (46.2% cada uno), en cuanto al nivel alto fue el menos representado en los tres grupos (7.7%, 12.5% y 10.0%, respectivamente).

Finalmente, el ingreso familiar promedio fue mayor en la escuela de referencia (12,247.0 ± 8,962.8), seguida de la escuela con alto tráfico vehicular (8,555.5 ± 2,173.7 MN) y de la cercana a la refinería, la cual mostró la mayor variabilidad en los ingresos (7,792.2 ± 8,980.1 MN).

***Tabla 2**. Resultados de la escala de Conners.*

Escuela	Conducta	Aprendizaje	Psicosomático	Impulsivo-Hiperactivo	Ansiedad	Hiperactividad
Cercana a refinería > 70 n(%)	**4 (30.8%)**	**7 (53.8%)**	2 (15.4%)	**6 (46.2%)**	1 (7.7%)	1 (7.7%)
Con alto tráfico >70 n(%)	2 (5%)	9 (22.5%)	5 (12.5%)	5 (12.5%)	3 (7.5%)	1 (2.5%)
De referencia >70 n(%)	4 (10%)	12 (30%)	**8 (20%)**	5 (12.5%)	3 (7.5%)	0 (0%)

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos en la escala de Conners. Se presentan las frecuencias y porcentajes de los participantes que obtuvieron puntuaciones superiores a 70 puntos T (>70), consideradas clínicamente significativas para la presencia de sintomatología asociada al trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH).

En la dimensión de conducta, la mayor proporción de puntuaciones significativas se observó en la escuela cercana a la refinería (30.8%), mientras que en la escuela de referencia y de la escuela con alto tráfico vehicular presentaron porcentajes de 10% y 5% respectivamente.

Respecto a la dimensión de aprendizaje, la distribución mostró un mayor porcentaje de participantes con puntuaciones >70 en la escuela cercana a la refinería (53.8), en comparación con la escuela de referencia (30%) y la escuela con alto tráfico vehicular (22.5%).

En relación con la dimensión psicosomática, la mayor frecuencia de participantes correspondió a la escuela de referencia (20%), seguida por la escuela cercana a la refinería (15.4%) y la escuela con alto tráfico vehicular (12.5%).

Para la dimensión impulsivo-hiperactivo, la distribución fue similar entre las escuelas de alto tráfico vehicular y de referencia (12.5% en ambos grupos), observándose una mayor proporción en la escuela cercana a la refinería (46.2%).

Las dimensiones de ansiedad e hiperactividad presentaron menores frecuencias de puntuaciones significativas entre los tres grupos de estudio. En ansiedad, la distribución fue prácticamente igual entre las escuelas cercana a la refinería, con alto tráfico vehicular y de referencia (7.7%, 7.5%, 7.5%, respectivamente).

Por otra parte, en hiperactividad, únicamente se registraron participantes con puntuaciones >70 en la escuela cercana a la refinería (7.7%) y con alto tráfico vehicular (2.5%), mientras que en la escuela de referencia no se observaron casos.

Conclusiones

En el presente estudio se analizaron las concentraciones de $PM_{2.5}$ en tres escuelas con diferentes características ambientales: una ubicada en las inmediaciones de la Refinería Ing. Antonio M. Amor, otra localizada de alto tráfico vehicular del municipio de Irapuato y una escuela de referencia con menos influencia de fuentes de emisión en el municipio de Salamanca. Así mismo, se evaluó la presencia de sintomatología compatible con TDAH mediante la escala de Conners en la población infantil participante, con el propósito de explorar la posible relación entre la exposición ambiental y alteraciones de neurodesarrollo.

Los resultados mostraron un comportamiento diferente entre los tres sitios de estudio. A pesar de que la escuela con alto tráfico vehicular presentó porcentajes de sintomatología semejantes a los observados en la escuela de referencia en la mayoría de las dimensiones evaluadas, la escuela cercana a la refinería concentró las mayores proporciones de puntuación clínicamente significativas, particularmente de los parámetros de conducta, aprendizaje e impulsividad-hiperactividad. Este patrón sugiere que los niños expuestos a un entorno con influencia de emisiones industriales podrían presentar una mayor frecuencia de síntomas relacionados con el TDAH en comparación con aquellos que se encuentran alejados de estas zonas.

Aunque los resultados no permiten establecer causalidad entre la exposición a $PM_{2.5}$ y los síntomas de TDAH, sí aportan evidencia preliminar sobre la posible influencia de la contaminación atmosférica en el neurodesarrollo infantil. Debido al carácter descriptivo del estudio y al tamaño reducido de la muestra en la escuela cercana a la refinería, los hallazgos deben interpretarse con cautela. No obstante, este trabajo sienta una base para futuras investigaciones con mayor tamaño muestral, análisis inferenciales y la inclusión de otros contaminantes y factores sociodemográficos que permitan una comprensión más precisa de esta relación.

Bibliografía

1. Huang, C., Pan, S., Chin, W., Chen, Y., Wu, C., Hsu, C., Lin, P., Chen, P., & Gou, Y. L. (2022). Living proximity to petrochemical industries and the risk of attention-deficit/hyperactivity disorder in children—ScienceDirect. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935122004558?via%3Dihub

2. Ahmad, S., K G, N., Mani Babu, A., Ranjan, R., & Kumar, P. (2024). Association Between Ambient Air Pollution and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD) in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cureus,* 16(10), e71527. https://doi.org/10.7759/cureus.71527

3. Rusca-Jordán, Fiorella, & Cortez-Vergara, Carla. (2020). Trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH) en niños y adolescentes. Una revisión clínica. *Revista de Neuro-Psiquiatría,* 83(3), 148-156. https://doi.org/10.20453/rnp.v83i3.3794

4. Xing, Y. F., Xu, Y. H., Shi, M. H., & Lian, Y. X. (2016). The impact of PM2.5 on the human respiratory system. *Journal of thoracic disease,* 8(1), E69–E74. https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19

5. Jafarinejad, S. (2017). Pollutions and wastes from the petroleum industry [WEB SITE]. https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/6581880

6. López-Sánchez, M. A., & Ramírez-Gómez, J. C. (2024). Impacto de la congestión vehicular en las concentraciones de material particulado (PM_{10} y \(PM_{2.5}\)) en zonas metropolitanas. *Revista de Salud Ambiental y Urbanismo*, 18(2), 145-162.

7. Brenlla, María Elena. (2013). INTERPRETACIÓN DEL WISC-IV: PUNTUACIONES COMPUESTAS Y MODELOS CHC. *Ciencias Psicológicas,* 7(2), 183-197. Recuperado en 20 de julio de 2026, de http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688 42212013000200007&lng=es&tlng=es.

8. Huang, C., Pan, S., Chin, W., Chen, Y., Wu, C., Hsu, C., Lin, P., Chen, P., & Gou, Y. L. (2022). Living proximity to petrochemical industries and the risk of attention-deficit/hyperactivity disorder in children—ScienceDirect. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935122004558?via%3Dihub

9. Ali Khaledi-Nasab,Introduction to the brain development section, Editor(s): Bonnie Halpern-Felsher, Encyclopedia of Child and Adolescent Health (First Edition), Academic Press, 2023, Pages 1-3, ISBN 9780128188736, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818872-9.00203-X

10. Rohde, L. A., Buitelaar, J. K., Gerlach, M., & Faraone, S. V. (Eds.). (2019). *La Federación Mundial de TDAH guía*. Artmed.