

Trabajo Fin de Grado

¿Afecta la contaminación del aire a la memoria en
personas de mediana-avanzada edad?: Revisión
sistemática

*Does the air pollution affect memory in middle-aged and
older people? Systematic review*

Autor/es

Elena Remón Juan

Director/es

Caridad López Granero

Grado en Psicología

Año 2023/24

¿Afecta la contaminación del aire a la memoria en personas de mediana-avanzada edad?: Revisión sistemática

RESUMEN

Las partículas contaminantes suspendidas en el aire, también conocidas como “particulate matter” (PM), tienen un efecto perjudicial sobre nuestra salud física, pero pocos son los estudios que evidencian su efecto sobre nuestra salud mental. Es por esto que realizamos esta revisión sistemática, con el objetivo de analizar si las PM tienen un efecto sobre la memoria en personas de mediana-avanzada edad. Como objetivos específicos se estudiarán las posibles diferencias entre sexos. La metodología de esta revisión ha consistido en la búsqueda de literatura publicada en las bases de datos Pubmed y Web of Science, siguiendo una serie de criterios de inclusión y exclusión. Finalmente se seleccionaron 17 artículos que encontraron relación entre la exposición a PM y un deterioro de la función cognitiva y la memoria. Otros resultados obtenidos fueron la relación de esta asociación con el Alzheimer y la demencia. En cuanto a las diferencias dependientes del sexo, se pudo observar que las mujeres se veían más afectadas y vulnerables que los hombres a la exposición de PM. Finalmente concluimos que, aunque las investigaciones son escasas, se observa una asociación entre el deterioro de la memoria y la exposición a PM por lo que se debería incidir más en este campo de investigación.

PALABRAS CLAVE

Particulate matter, cognitive function, memory process, adult, aging, dementia

Does the air pollution affect memory in middle-aged and older people? Systematic review

ABSTRACT

The polluting particles suspended in the air, as known as “particulate matter” (PM), have a damaging effect on our physical health, but there are few studies that show their effect in our mental health. That’s why we make this systematic review, with the aim of analyzing whether PM has an effect on memory in middle-aged and older people. As specific objectives, possible differences between sexes will be studied. The methodology of this review consisted of searching literature published in the Pubmed and Web of Science databases, following a series of inclusion and exclusion criteria. Finally, 17 articles were selected that found a relationship between exposure to PM and a deterioration in cognitive function and memory. Other results obtained were the relationship of this association with Alzheimer's and dementia. Regarding sex-dependent differences, it could be observed that women were more affected and vulnerable than men to PM exposure. Finally, we conclude that, although research is scarce, an association is observed between memory impairment and exposure to PM, so more emphasis should be placed on this field of research.

KEY WORDS

Particulate matter, cognitive function, memory process, adult, aging, dementia

1. Introducción

Diversos estudios han evidenciado el hecho de que la contaminación del aire puede afectar a las funciones cognitivas del ser humano (Shehab, M. A., y Pope, F. D., 2019; Zhang et al., 2018). Sin embargo, los estudios acerca de la calidad del aire y su repercusión sobre la cognición humana son escasos.

El presente trabajo de revisión se ha centrado en el análisis de las partículas contaminantes que contiene el aire, también llamadas “particulate matter” (PM) en inglés, a las que se hará referencia en el resto del trabajo. El término PM se refiere a una mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas que se encuentran en el aire, que pueden estar formadas de diversos componentes, como polvo, humo, suciedad u hollín (Particulate Matter (PM) Basics | US EPA, 2023). Algunas de ellas son lo suficientemente grandes como para verse a simple vista, pero otras son tan pequeñas que solo se pueden observar a nivel microscópico (Particulate Matter (PM) Basics | US EPA, 2023). Las PM₁₀ hacen referencia a aquellas partículas que tienen un diámetro de 10 milímetros o menos y las PM_{2,5} con un diámetro de 2,5 milímetros o menos (Particulate Matter (PM) Basics | US EPA, 2023). Para proteger la salud del ser humano y limitar la mortalidad debido a la contaminación, la OMS recomienda que los límites diarios y anuales de exposición a PM no excedan los 25 y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente (World Health Organization, 2006). Sin embargo, no hay precauciones ni límites establecidos para preservar una buena salud mental en relación con la exposición a las PM.

La función cognitiva se va deteriorando poco a poco según los seres humanos van envejeciendo y se ha observado que la contaminación del aire por PM puede acelerar este proceso, especialmente en las personas mayores (Shin et al., 2019). Estudios científicos recientes han observado que la contaminación del aire por PM está asociada con una función cognitiva deteriorada y una neuropatología que se relaciona con los trastornos

neurodegenerativos, incluida la demencia, la enfermedad del Alzheimer y la enfermedad de Parkinson (Killian et al., 2018; Cullen et al., 2018; Fu et al., 2019).

Por otro lado, los niños y jóvenes también se pueden ver afectados. La exposición crónica a altas concentraciones de PM se ha asociado con cambios en el comportamiento y puede representar un papel importante en la formación de ciertos trastornos del desarrollo en los niños (Lopuszanska, U., y Samardakiewicz, M., 2020). Por ejemplo, la investigación realizada por Roberts et al. (2013) indicó que una mayor exposición en la etapa perinatal a la contaminación del aire por PM puede aumentar el riesgo de sufrir un trastorno del espectro autista. La contaminación del aire también se ha asociado a otros trastornos del desarrollo neurológico, como el déficit de atención o TDAH (Min y Min, 2017; Myhre et al, 2018; Siddique et al., 2011). Pero a pesar de que los hallazgos en niños y personas jóvenes sean de gran interés, en esta revisión sistemática nos centraremos sobre todo en personas de avanzada edad.

El conocimiento sobre las vías biológicas que relacionan el deterioro cognitivo y la contaminación del aire por PM es escaso. A pesar de esto se plantearon dos hipótesis de dos posibles vías de cómo las PM pueden afectar a la función neurocognitiva (Genc et al., 2012). La primera explica que las PM se introducen por la vía respiratoria provocando una respuesta inflamatoria y un posterior estrés oxidativo. La segunda defiende que los compuestos inflamatorios de las PM pueden extenderse a la circulación y penetrar la barrera hematoencefálica (Genc et al., 2012; Hirano et al., 2003). Esto da lugar a diferentes anomalías histológicas en el cerebro (Nemmar et al., 2011).

En relación a la función cognitiva, existen seis dominios dentro de ella que pueden estudiarse mediante distintas pruebas: visoespacial, función ejecutiva, fluidez verbal, memoria, atención y orientación (Dougherty, A. y Halliday, S., 2015). Este trabajo de revisión sistemática se centrará sobre todo en la memoria y su relación con la calidad del aire.

En concreto, la memoria episódica tiene un rendimiento cambiante a lo largo del ciclo vital, siguiendo una forma curvilínea, con una mejora durante la infancia y un declive temprano que comienza alrededor de la mediana-avanzada edad, finalizando con un declive acelerado en una edad muy avanzada (más de 80 años) (Shing et al., 2010). Como ya se ha mencionado, distintos estudios han demostrado que la exposición a PM en edades avanzadas se asocia con un mayor riesgo de demencia, sin embargo, otros artículos publicados indican resultados mixtos sobre las asociaciones entre la contaminación del aire y el deterioro de la memoria episódica (Oudin et al., 2017; Petkus et al., 2020; Wurth et al., 2018; Younan et al., 2020), dejando en duda cuál es el verdadero impacto de las PM sobre la memoria.

Por lo tanto, considerando ciertas lagunas de conocimiento sobre la repercusión de la contaminación del aire en la cognición humana, el presente trabajo de revisión pretende analizar la literatura publicada al respecto.

2. Objetivos

El objetivo principal de esta revisión sistemática ha sido analizar cómo las partículas contaminantes suspendidas en el aire pueden afectar a la función cognitiva, más concretamente a la memoria. De esta manera se establece la hipótesis principal de este trabajo: La contaminación del aire por PM puede producir un deterioro en la función de la memoria en personas de mediana-avanzada edad.

En cuanto a los objetivos específicos encontramos estudiar la relación de las PM₁₀ y PM_{2,5} y el deterioro de la memoria en las personas de mediana-avanzada edad, analizar si esta relación es dependiente del sexo y por último revisar la relación de las PM con enfermedades típicas de la edad como demencias.

3. Metodología

3.1 Diseño

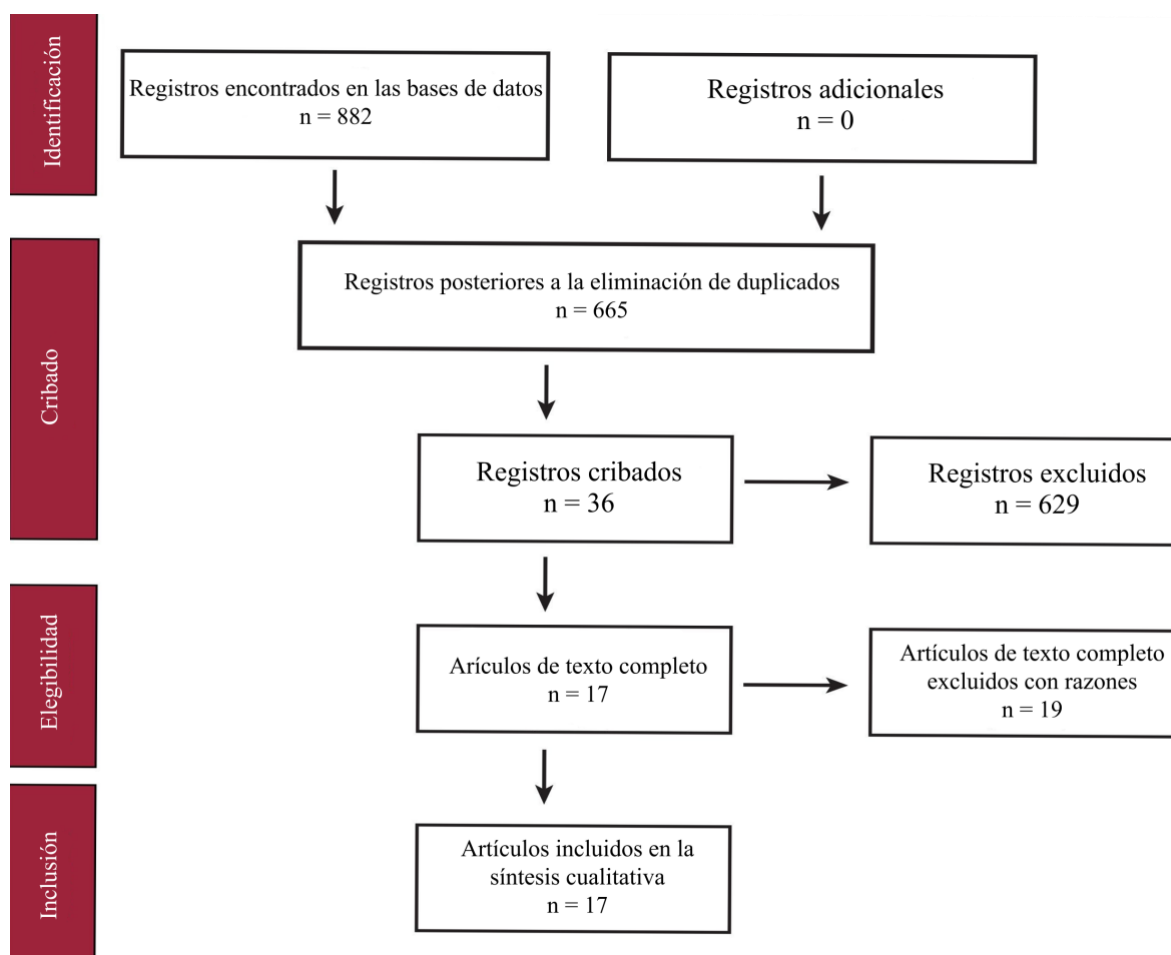
Se ha llevado a cabo una revisión sistemática en base a la literatura publicada online entre en los meses de enero-abril de 2024. Para la elaboración de este trabajo se han seguido las directrices del método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021).

3.2 Estrategia de Búsqueda

Se buscaron artículos en inglés en las bases de datos “Pubmed” y “Web of Science”. Para la búsqueda se utilizaron algunas estrategias como el operador booleano “and” en las distintas bases de datos. Los descriptores utilizados fueron los siguientes: “particulate matter” and “cognitive function” and “memory”. Se hizo uso de filtros en las búsquedas avanzadas de la base de datos hasta llegar a los resultados expresados en el diagrama de flujo de PRISMA (Tabla 1).

Tabla 1

Diagrama de flujo de PRISMA



3.3 Criterios de Elegibilidad

Los criterios de exclusión fueron los siguientes: otras revisiones sistemáticas, artículos escritos con un idioma que no fuera inglés o español, estudios que fueran dirigidos a niños, a jóvenes o prenatales, estudios en animales, estudios sobre predicción o LSTM (Long short-term memory; tipo de red neuronal recurrente (RNN) que se utiliza en el aprendizaje profundo para procesar y predecir secuencias de datos). Como criterios de inclusión aquellos artículos que analizan sujetos humanos en edades avanzadas cuya área cognitiva afectada sea la memoria.

3.4 Selección de Estudios y Extracción de Datos

Los resultados de la búsqueda se encuentran analizados y resumidos en la Tabla 2, encontrada en el anexo. En primer lugar, se revisaron los títulos de los diferentes artículos encontrados con el objetivo de eliminar duplicados y artículos irrelevantes para esta revisión. A la hora de eliminar los duplicados se utilizó la aplicación web de rayyan.ai, la cual permitía eliminarlos de una forma más sencilla. Después, se analizaron los resúmenes y textos completos de los artículos seleccionados mediante los criterios de inclusión y exclusión mencionados anteriormente. Finalmente se seleccionaron 17 artículos para ser analizados en la presente revisión sistemática.

3.5 Evaluación de la Calidad Metodológica y Riesgo de Sesgo

Para evaluar la calidad metodológica de los artículos seleccionados se utilizó la escala PEDro (Cashin, A. G., 2020). Para el uso de esta escala se sigue un proceso de puntuación donde cada ensayo recibe un valor de 0 a 10. La escala se compone de 11 ítems que valoran dos aspectos fundamentales que todo ensayo clínico aleatorizado debe tener: la validez interna y la interpretabilidad de los resultados (da Silva et al., 2013). La validez interna es medida mediante criterios como la asignación aleatoria, la ocultación de la asignación, la

comparabilidad inicial de los grupos, el enmascaramiento de pacientes y evaluadores, el análisis por intención de tratar y el seguimiento adecuado. Por otra parte, la interpretabilidad de los resultados es medida mediante comparaciones estadísticas entre los grupos y la inclusión de estimaciones puntuales y medidas de variabilidad (da Silva et al., 2013). La puntuación final de esta escala se determina contando todos los criterios que se cumplen en cada ensayo clínico, teniendo en cuenta que, si un ensayo no especifica el cumplimiento de un criterio, se asume que dicho criterio no se cumple (da Silva et al., 2013; Yamato et al., 2017). Los estudios con una puntuación de 9-10 se definen como calidad excelente, una puntuación de 6-8 se considera buena calidad y una puntuación de 5 o inferior representa una calidad metodológica pésima.

Finalmente, se ha considerado que los resultados de la escala PEDro deben ser iguales o superior a 7/10 para ser incluidos en el análisis de resultados. Estos resultados se pueden observar en la Tabla 3, encontrada en el anexo.

4. Resultados

La búsqueda de datos dio como resultado un total de 287 artículos en “Pubmed” y 595 en “Web of Science”. Después de la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, la eliminación de duplicados y la evaluación de calidad se seleccionaron un total de 17 artículos, esta información queda reflejada en el diagrama de flujo de PRISMA mencionado anteriormente. En la tabla de resultados (Tabla 2) se presentan las principales características de los estudios y un resumen de los resultados.

4.1 Resumen de las Características de los Estudios

Los artículos encontrados en esta revisión relacionan la contaminación del aire y sus efectos sobre la memoria en diferentes regiones del mundo y contextos. Estos estudios se han realizado en diversos países, siendo el más repetido Estados Unidos (Ailshire et al., 2015;

Chen et al., 2017; Petkus et al., 2020; Wang et al., 2021; Younan et al., 2020). La población objetivo de esta investigación es la población de mediana-avanzada edad y todos los artículos seleccionados estudian a personas a partir de 45 años, exceptuando dos de ellos que incluyen personas más jóvenes a parte de las personas de mediana-avanzada edad (Powdthavee et al., 2020; Zhou et al., 2023). La suma total de participantes de los estudios ha sido de 84.125. La muestra de participantes de gran parte de los artículos pertenece a distintos estudios, como el de WHISM (Women's Health Initiative Memory Study) (Chen et al., 2017; Wang et al., 2021; Younan et al., 2020), WHISCA (Women's initiative study of cognitive aging) (Petkus et al., 2020; Younan et al., 2020) o CHARLS (China Health and Retirement Longitudinal Study) (Hu et al., 2022; Yao et al., 2022), siendo estos los más repetidos y los más relevantes. La mayoría de las investigaciones están basadas en el estudio de hombres y mujeres, pero hay cinco artículos que se han centrado únicamente en el estudio en las mujeres (Chen et al., 2017; Petkus et al., 2020; Schikowski et al., 2015; Wang et al., 2021; Younan et al., 2020), indicando de esta manera que podría existir una diferencia en cómo afecta la contaminación a hombres y mujeres. En concreto, el artículo de Yao et al. (2022) evidencia que las mujeres se ven más afectadas que los hombres, al igual que el artículo de Shin et al. (2019), el cual encuentra diferencias entre hombres y mujeres, donde las mujeres se ven más vulnerables a pérdidas de memoria y los hombres más propensos a fallos en el reconocimiento.

4.2 Instrumentos Utilizados para la Evaluación Cognitiva

Para medir tanto el área de la memoria como otras áreas o la cognición global, cada artículo utiliza diferentes escalas e instrumentos. En relación con la función cognitiva global se utilizan varias pruebas, como el SPMSQ (Cuestionario Corto y Portátil sobre el Estado Mental) (Ailshire et al., 2015) o el SNSB-II (Batería estandarizada de detección neuropsicológica) (Lee et al., 2023), pero la más usada es el Mini Examen del Estado Mental (Chen et al., 2017; Duchesne et al., 2022; Schikowski et al., 2015; Shin et al., 2019). Esta

prueba evalúa la sospecha de síntomas compatibles con el deterioro cognitivo y comprende una serie de preguntas y realización de algunas acciones cuyos resultados permiten tener una valoración del estado cognitivo de la persona (Maragall, 2024). Para medir la memoria también se usan varias pruebas, WMS-III (Escala de Memoria Wechsler, tercera edición) (Chen et al., 2023) o EMM (Medida de memoria episódica) (Oudin et al., 2017), pero las más usadas son las pruebas de recuperación instantánea y tardía de palabras (Hu et al., 2022; Powdthavee et al., 2020; Tzivian et al., 2016; Yao et al., 2022) y el CVLT (Prueba de Aprendizaje Verbal de California) (Petkus et al., 2020; Wang et al., 2021; Younan et al., 2020). Esta prueba es una prueba neuropsicológica usada para evaluar la memoria verbal y la capacidad de aprendizaje de las personas (Delis et al., 2000). En relación con el Alzheimer, los artículos que estudian esta enfermedad utilizan el cuestionario CERAD (Consortium to Establish a Registry for Alzheimer's Disease) (Chen et al., 2017; Schikowski et al., 2015; Shin et al., 2019). Este cuestionario se usa para la evaluación y diagnóstico del déficit cognitivo asociado con la demencia tipo Alzheimer. En el artículo de Petkus et al. (2020) también se observa la relación de los síntomas depresivos y la pérdida de memoria. Así, el cuestionario utilizado para medir estos síntomas depresivos es el GDS-15 (Escala de Depresión Geriátrica de 15 ítems), el cual indica la presencia de síntomas depresivos graves en personas mayores.

4.3 “Particulate Matter” y sus Consecuencias en la Función Cognitiva

Todos los artículos seleccionados para esta revisión afirman una clara relación entre la exposición a PM y el deterioro cognitivo, excepto el artículo de Oudin et al. (2017), el cual no encontró asociación entre la exposición a ambientes contaminados y el deterioro de la función cognitiva o la memoria. La mayoría de los artículos hablan de un deterioro cognitivo global medido a través de diferentes áreas, una de ellas la memoria, pero son seis los artículos que especifican que la memoria en concreto se ve afectada por la exposición a PM (Petkus et

al., 2020; Powdthavee et al., 2020; Tonne et al., 2014; Wang et al., 2021; Younan et al., 2020; Zhou et al., 2023), lo cual evidencia la principal hipótesis de este trabajo. Se observa que la contaminación del aire por PM afecta a determinadas áreas del cerebro y en consecuencia se ven deterioradas algunas áreas cognitivas, como la memoria (Schikowski et al., 2015). En relación con la memoria, el artículo de Zhou et al. (2023) encuentra que, dentro de 16 áreas cognitivas, la más afectada tras la exposición a PM_{2.5} es el área de la memoria. Por el contrario, el trabajo de Duchesne et al. (2022) evidencia que la exposición a PM tiene un efecto en la función cognitiva global, pero no en ningún área en específico.

4.4 Covariables: demencia, diferencias dependientes del sexo y síntomas depresivos

Algunos de los artículos ponen en relación la contaminación con la demencia o el Alzheimer (Chen et al., 2017; Lee et al., 2023; Schikowski et al., 2015; Shin et al., 2019), ya que una pérdida de memoria está estrechamente relacionada con estas enfermedades. Los resultados encontrados indican que la contaminación producida por partículas suspendidas en el aire ayuda al deterioro cognitivo, a una pérdida de memoria y, en consecuencia, una progresión más rápida de la demencia y el Alzheimer (Lee et al., 2023). En relación con las diferencias entre sexos, el artículo de Shin et al. (2019) evidencia que la demencia y la enfermedad del Alzheimer es más prevalente en mujeres. Por el contrario, el artículo de Chen et al. (2017), defiende el hecho de que la exposición a PM no está asociada con la demencia.

Otra covariable que hemos podido encontrar en el artículo de Petkus et al. (2020), es la covariable de síntomas depresivos. Este artículo observa que la exposición a PM no tiene una relación directa con el aumento de síntomas depresivos, pero que la exposición a PM aumenta el deterioro de la memoria y, en consecuencia, dar lugar a un aumento de los síntomas depresivos, por lo que puede existir una relación indirecta.

4.5 Calidad Metodológica de los Estudios

La validez de la metodología ha sido medida con la escala PEDro y los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 3. De acuerdo con la puntuación obtenida, dos han sido los artículos que han obtenido la máxima puntuación de 10 (Chen et al., 2017; Zhou et al., 2023), mostrando así una alta calidad metodológica de validez interna (criterios 2-9) y suficiente información estadística para hacer que los resultados sean interpretables (criterios 10-11). Un criterio adicional (criterio 1) se ha incluido en la escala para medir la validez externa, pero este no se incluirá en la puntuación total. El 17% de los artículos cumplen una puntuación de 9, siendo una puntuación también alta y mostrando una alta validez de los resultados (Petkus et al., 2020; Powdthavee et al., 2020; Wang et al., 2021). Por otro lado, cuatro artículos cumplen una puntuación de 8 (Chen et al., 2023; Lee et al., 2023; Tonne et al., 2016; Younan et al., 2020), y ocho artículos obtienen una puntuación de 7 (Ailshire et al., 2015; Duchesne et al., 2022; Hu et al., 2022; Oudin et al., 2017; Schikowski et al., 2015; Shin et al., 2019; Tzivian et al., 2016; Yao et al., 2022). En general todos los artículos obtuvieron puntuaciones altas en la escala, por lo que todos los artículos cumplen los requisitos de calidad y validez. Es necesario destacar que solo el 29% obtuvieron las máximas puntuaciones (10 y 9) mientras que el resto de los artículos, siendo más de la mitad, obtienen puntuaciones más bajas.

5. Discusión

Esta revisión sistemática ha tenido como objetivo principal observar si la contaminación del aire por PM afecta a la memoria en personas de mediana-avanzada edad. Los objetivos específicos de esta revisión fueron observar posibles diferencias entre hombres

y mujeres, observar específicamente cómo afectan las PM_{10} y $PM_{2,5}$ y analizar el papel de la demencia en este contexto de exposición a PM.

Tras el análisis de los artículos seleccionados se ha podido observar una clara asociación entre la contaminación del aire por PM y el deterioro la memoria. Uno de los hallazgos más importantes encontrados es la evidencia de que, en un grupo de mujeres alrededor de 80 años, la memoria se ve deteriorada tras la exposición prolongada a $PM_{2,5}$ (Wang et al., 2021). Otros autores (Kulick et al., 2020) respaldan estos resultados, realizando un estudio que informó de asociaciones más fuertes entre la exposición a $PM_{2,5}$ y el deterioro de la memoria episódica en participantes mayores de 75 años. Estos resultados nos ayudan a respaldar la principal hipótesis de esta revisión, mostrando la gran importancia de invertir más en la investigación de la contaminación por PM ya que tiene un efecto adverso sobre el ser humano y su capacidad cognitiva.

De acuerdo con otro estudio analizado en esta revisión (Schikowski et al., 2015) la contaminación del aire por PM afecta solo a áreas específicas del cerebro y, en consecuencia, solo determinados dominios se ven afectados. Este estudio observó que las pruebas realizadas a mujeres mayores de 55 años expuestas a $PM_{2,5}$ y NO_2 en áreas residenciales cerca de carreteras o sitios transitados por mucho tráfico obtenían peores puntuaciones en las subpruebas de memoria semántica y construcción visual. Son pocos los estudios que han estudiado la relación de la contaminación del aire por PM y el deterioro de la función cognitiva, pero el estudio de Gatto et al. (2014) demostró que la $PM_{2,5}$ y el NO_2 se asociaron con el deterioro de habilidades cognitivas de dominio específico, pero no con la cognición global, respaldando así los resultados mencionados en primer lugar.

En relación con estos resultados, el artículo de Zhou et al. (2023) observó que, dentro de los 16 dominios cognitivos, la memoria era el dominio más afectado tras la exposición prolongada a $PM_{2,5}$ en personas que trabajaban dentro de una oficina poco ventilada. Estos

resultados se ven respaldados por otros estudios, como el de Zhang et al. (2018), el cual realizó un estudio longitudinal y encontró una menor capacidad de la memoria después de una mayor exposición a largo plazo a PM en una población mayor de edad. A pesar de estos hallazgos, son pocos los estudios sobre la relación entre las PM y el deterioro de la memoria, pero podemos observar que, tras las pocas investigaciones realizadas, las PM tienen un efecto sobre nuestro cuerpo y nuestro sistema nervioso que claramente afecta a nuestras funciones cognitivas.

Por otro lado, el Alzheimer es una enfermedad neurodegenerativa la cual implica una clara pérdida de memoria, por lo que su relación con la contaminación del aire por PM es de gran interés. Uno de los principales hallazgos encontrados sobre el Alzheimer en esta revisión sistemática es el de Lee et al. (2023), el cual encontró que los pacientes de Alzheimer que estaban ante una mayor exposición a ambientes contaminados por PM_{2.5} y SO₂ presentaban un mayor deterioro de la memoria y, por lo tanto, una progresión más rápida de esta enfermedad. Este hallazgo es consistente con un estudio realizado previamente, el cual mostró que los efectos de SO₂ eran más fuertes que los de otras partículas en pacientes con Alzheimer (Lin et al., 2022). Sin embargo, la mayoría de estudios previos que evaluaron el efecto de la contaminación del aire sobre el riesgo de demencia o Alzheimer se realizaron en personas mayores sin demencia. A pesar de esto, podemos concluir que hay una clara relación entre la contaminación del aire por PM, la pérdida de memoria y la progresión del Alzheimer y se debería incidir más en su investigación.

Una vez analizados todos los artículos seleccionados, se ha podido observar una clara diferencia entre hombres y mujeres, y en cómo estos se ven afectados por la contaminación del aire por PM, como, por ejemplo, el trabajo de Yao et al. (2022), que encuentra que las mujeres se ven más susceptibles al efecto adverso de las PM, es decir, su memoria era más propensa a verse deteriorada que la de los hombres. Estos resultados fueron respaldados por

un estudio anterior (Clougherty, J. E., 2010), el cual también observó la susceptibilidad de las mujeres a la contaminación de PM y atribuyó esta diferencia con los hombres a diferencias en factores biológicos ligados al sexo relacionados con el volumen pulmonar, la deposición, la reactividad y las influencias hormonales sobre el transporte químico y la regulación sistémica. Los hallazgos de Shin et al. (2019) también aportan información relevante. Este estudio observó que las mujeres se ven más vulnerables a pérdidas de memoria y los hombres más propensos a fallos en el reconocimiento y defiende que esto puede ser debido a la mayor esperanza de vida de las mujeres o el mayor uso del transporte público que estas hacen.

Así, son muchos los estudios sobre las diferencias entre géneros a la exposición de PM y, aunque no se haya encontrado todavía una teoría firme y en común, sí que se puede observar una mayor vulnerabilidad por parte de la mujer al deterioro cognitivo ante la exposición de PM.

6. Conclusión

En conclusión, tras el análisis de la literatura publicada en dos bases de datos distintas, en esta revisión sistemática, concluimos que la contaminación del aire por PM afecta a nuestra función cognitiva, más concretamente a la memoria, que se ve deteriorada tras una exposición prolongada a PM en edades avanzadas y cercanas a la vejez. Esto implica que las PM pueden estar jugando un papel central en los procesos neurodegenerativos propios de las enfermedades de edades más avanzadas, como la demencia de la función cognitiva. Concretamente, las PM que más estudios ha conllevado es la PM cuyo diámetro es menor a 2.5 micras, es decir, las PM_{2.5}. También se han observado diferencias entre sexos, siendo el sexo femenino el más vulnerable a sufrir las consecuencias negativas de la exposición a PM. Es por esto que se cree de vital importancia que la comunidad científica continúe y aumente las investigaciones en este campo, ya que nuestra salud se ve claramente comprometida y

dónde la prevalencia de la demencia se están viendo incrementadas debidas a factores externos.

Referencias

- Ailshire, J. A., y Clarke, P. (2015). Fine particulate matter air pollution and cognitive function among US older adults. *Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 70(2), 322-328.
- Cashin, A. G. (2020). Clinimetrics: physiotherapy evidence database (PEDro) scale. (*No Title*), 66(1), 59.
- Chen, J. C., Wang, X., Serre, M., Cen, S., Franklin, M., y Espeland, M. (2017). Particulate air pollutants, brain structure, and neurocognitive disorders in older women. *Research Reports: Health Effects Institute*, 2017.
- Chen, Y. C., Hsieh, P. I., Chen, J. K., Kuo, E., Yu, H. L., Chiou, J. M., y Chen, J. H. (2023). Effect of indoor air quality on the association of long-term exposure to low-level air pollutants with cognition in older adults. *Environmental Research*, 233, 115483.
- Clougherty, J. E. (2010). A growing role for gender analysis in air pollution epidemiology. *Environmental health perspectives*, 118(2), 167-176.
- Cullen, B., Newby, D., Lee, D., Lyall, D. M., Nevado-Holgado, A. J., Evans, J. J., ... y Cavanagh, J. (2018). Cross-sectional and longitudinal analyses of outdoor air pollution exposure and cognitive function in UK Biobank. *Scientific reports*, 8(1), 12089.
- Delis, D. C., Kramer, J. H., Kaplan, E., y Ober, B. A. (2000). California verbal learning test--*. Assessment*.
- Dougherty, A. y Halliday, S. *Better Brain Health: The Key to Your Six Cognitive Domains* (2015)
- Duchesne, J., Gutierrez, L. A., Carrière, I., Mura, T., Chen, J., Vienneau, D., ... y Mortamais, M. (2022). Exposure to ambient air pollution and cognitive decline: Results of the prospective Three-City cohort study. *Environment international*, 161, 107118.
- Fu, P., Guo, X., Cheung, F. M. H., y Yung, K. K. L. (2019). The association between PM_{2.5} exposure and neurological disorders: a systematic review and meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 655, 1240-1248.

- Gatto, N. M., Henderson, V. W., Hodis, H. N., John, J. A. S., Lurmann, F., Chen, J. C., y Mack, W. J. (2014). Components of air pollution and cognitive function in middle-aged and older adults in Los Angeles. *Neurotoxicology*, 40, 1-7.
- Genc, S., Zadeoglulari, Z., Fuss, S. H., y Genc, K. (2012). The adverse effects of air pollution on the nervous system. *Journal of toxicology*, 2012(1), 782462.
- Hirano, S., Furuyama, A., Koike, E., y Kobayashi, T. (2003). Oxidative-stress potency of organic extracts of diesel exhaust and urban fine particles in rat heart microvessel endothelial cells. *Toxicology*, 187(2-3), 161-170.
- Hu, X., Nie, Z., Ou, Y., Qian, Z., McMillin, S. E., Aaron, H. E., ... y Dong, H. (2022). Air quality improvement and cognitive function benefit: insight from clean air action in China. *Environmental Research*, 214, 114200.
- Kilian, J., y Kitazawa, M. (2018). The emerging risk of exposure to air pollution on cognitive decline and Alzheimer's disease—evidence from epidemiological and animal studies. *Biomedical journal*, 41(3), 141-162.
- Kulick, E. R., Elkind, M. S., Boehme, A. K., Joyce, N. R., Schupf, N., Kaufman, J. D., ... y Wellenius, G. A. (2020). Long-term exposure to ambient air pollution, APOE-ε4 status, and cognitive decline in a cohort of older adults in northern Manhattan. *Environment international*, 136, 105440.
- Lee, Y. G., Yoon, S. J., Yoon, S. H., Kang, S. W., Jeon, S., Kim, M., ... y Ye, B. S. (2023). Air pollution is associated with faster cognitive decline in Alzheimer's disease. *Annals of Clinical and Translational Neurology*, 10(6), 964-973.
- Lin, F. C., Chen, C. Y., Lin, C. W., Wu, M. T., Chen, H. Y., y Huang, P. (2022). Air pollution is associated with cognitive deterioration of Alzheimer's disease. *Gerontology*, 68(1), 53-61.
- Lopuszanska, U., y Samardakiewicz, M. (2020). The relationship between air pollution and cognitive functions in children and adolescents: a systematic review. *Cognitive and Behavioral Neurology*, 33(3), 157-178.
- Maragall, F. P. (2024, 6 mayo). ¿En qué consiste y para qué se utiliza el test Mini-Mental? <https://blog.fpmaragall.org/mini-mental-test>

- Min, J. Y., y Min, K. B. (2017). Exposure to ambient PM₁₀ and NO₂ and the incidence of attention-deficit hyperactivity disorder in childhood. *Environment international*, 99, 221-227.
- Myhre, O., Låg, M., Villanger, G. D., Oftedal, B., Øvrevik, J., Holme, J. A., ... y Dirven, H. (2018). Early life exposure to air pollution particulate matter (PM) as risk factor for attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD): Need for novel strategies for mechanisms and causalities. *Toxicology and applied pharmacology*, 354, 196-214.
- Nemmar, A., Vanbilloen, H., Hoylaerts, M. F., Hoet, P. H. M., Verbruggen, A., y Nemery, B. (2001). Passage of intratracheally instilled ultrafine particles from the lung into the systemic circulation in hamster. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 164(9), 1665-1668.
- Oudin, A., Forsberg, B., Lind, N., Nordin, S., Oudin Åström, D., Sundström, A., y Nordin, M. (2017). Is long-term exposure to air pollution associated with episodic memory? A longitudinal study from northern Sweden. *Scientific Reports*, 7(1), 12789.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... y Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista española de cardiología*, 74(9), 790-799.
- Particulate Matter (PM) Basics | US EPA. (2023, 11 julio). US EPA. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- Petkus, A. J., Younan, D., Widaman, K., Gatz, M., Manson, J. E., Wang, X., ... y Chen, J. C. (2020). Exposure to fine particulate matter and temporal dynamics of episodic memory and depressive symptoms in older women. *Environment international*, 135, 105196.
- Powdthavee, N., y Oswald, A. J. (2020). Is there a link between air pollution and impaired memory? Evidence on 34,000 English citizens. *Ecological economics*, 169, 106485.
- Roberts, A. L., Lyall, K., Hart, J. E., Laden, F., Just, A. C., Bobb, J. F., ... y Weisskopf, M. G. (2013). Perinatal air pollutant exposures and autism spectrum disorder in the children of Nurses' Health Study II participants. *Environmental health perspectives*, 121(8), 978-984.

- Schikowski, T., Vossoughi, M., Vierkötter, A., Schulte, T., Teichert, T., Sugiri, D., ... y Luckhaus, C. (2015). Association of air pollution with cognitive functions and its modification by APOE gene variants in elderly women. *Environmental research*, 142, 10-16.
- Shehab, M. A., y Pope, F. D. (2019). Effects of short-term exposure to particulate matter air pollution on cognitive performance. *Scientific reports*, 9(1), 8237.
- Shin, J., Han, S. H., y Choi, J. (2019). Exposure to ambient air pollution and cognitive impairment in community-dwelling older adults: the Korean Frailty and Aging Cohort Study. *International journal of environmental research and public health*, 16(19), 3767.
- Shing, Y. L., Werkle-Bergner, M., Brehmer, Y., Müller, V., Li, S. C., y Lindenberger, U. (2010). Episodic memory across the lifespan: The contributions of associative and strategic components. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(7), 1080-1091.
- Siddique, S., Banerjee, M., Ray, M. R., y Lahiri, T. (2011). Attention-deficit hyperactivity disorder in children chronically exposed to high level of vehicular pollution. *European journal of pediatrics*, 170, 923-929.
- da Silva, F. C., Arancibia, B. A. V., da Rosa Iop, R., Gutierrez Filho, P. J. B., y da Silva, R. (2013). Escalas y listas de evaluación de la calidad de estudios científicos. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud (ACIMED)*, 24(3), 295-312.
- Tallon, L. A., Manjourides, J., Pun, V. C., Salhi, C., y Suh, H. (2017). Cognitive impacts of ambient air pollution in the National Social Health and Aging Project (NSHAP) cohort. *Environment international*, 104, 102-109.
- Tonne, C., Elbaz, A., Beevers, S., y Singh-Manoux, A. (2014). Traffic-related air pollution in relation to cognitive function in older adults. *Epidemiology*, 25(5), 674-681.
- Tzivian, L., Dlugaj, M., Winkler, A., Weinmayr, G., Hennig, F., Fuks, K. B., ... y Heinz Nixdorf Recall study Investigative Group. (2016). Long-term air pollution and traffic noise exposures and mild cognitive impairment in older adults: a cross-sectional analysis of the Heinz Nixdorf recall study. *Environmental health perspectives*, 124(9), 1361-1368.
- Wang, X., Younan, D., Petkus, A. J., Beavers, D. P., Espeland, M. A., Chui, H. C., ... y Chen, J. C. (2021). Ambient air pollution and long-term trajectories of episodic memory

- decline among older women in the whims-echo cohort. *Environmental health perspectives*, 129(9), 097009.
- World Health Organization. (2006). *Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide*. World Health Organization.
- Wurth, R., Kioumourtzoglou, M. A., Tucker, K. L., Griffith, J., Manjourides, J., y Suh, H. (2018). Fine particle sources and cognitive function in an older Puerto Rican cohort in Greater Boston. *Environmental Epidemiology*, 2(3), e022.
- Yamato, T. P., Maher, C., Koes, B., y Moseley, A. (2017). The PEDro scale had acceptably high convergent validity, construct validity, and interrater reliability in evaluating methodological quality of pharmaceutical trials. *Journal of clinical epidemiology*, 86, 176-181.
- Yao, Y., Wang, K., y Xiang, H. (2022). Association between cognitive function and ambient particulate matters in middle-aged and elderly Chinese adults: Evidence from the China Health and Retirement Longitudinal Study (CHARLS). *Science of The Total Environment*, 828, 154297.
- Younan, D., Petkus, A. J., Widaman, K. F., Wang, X., Casanova, R., Espeland, M. A., ... y Chen, J. C. (2020). Particulate matter and episodic memory decline mediated by early neuroanatomic biomarkers of Alzheimer's disease. *Brain*, 143(1), 289-302.
- Zhang, X., Chen, X., y Zhang, X. (2018). The impact of exposure to air pollution on cognitive performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(37), 9193-9197.
- Zhou, J., Wang, H., Huebner, G., Zeng, Y., Pei, Z., y Ucci, M. (2023). Short-term exposure to indoor PM_{2.5} in office buildings and cognitive performance in adults: An intervention study. *Building and Environment*, 233, 110078.

Anexos

Tabla 2

Resumen de los resultados obtenidos

Referencia	Población	Diámetro PM	Medidas/instrumentos	Resultados
1. Ailshire et al. (2015)	N= 780 Hombres y mujeres de EE.UU., mayores de 55 años, participantes del estudio American Changing Lives Study.	PM _{2,5}	Cuestionario Corto y Portátil sobre el Estado Mental (SPMSQ) (función cognitiva global)	Los adultos mayores que viven en áreas con altas concentraciones de PM tuvieron una tasa de error 1,5 veces mayor que aquellos expuestos a concentraciones más bajas.
2. Chen et al. (2017)	N=7479 Mujeres de EE.UU., de entre 65 y 80 años, participantes del estudio WHISM.	PM _{2,5}	Mini Examen del Estado Mental Modificado, Consorcio para Establecer un Registro de la Enfermedad de Alzheimer (CERAD) (demencia y función cognitiva).	La exposición a PM _{2,5} se asoció con deterioro cognitivo leve y/o demencia en mujeres mayores.
3. Chen et al. (2023)	N= 517 Hombres y mujeres de Taiwán, mayores de 65 años y participantes del estudio NTUH.	PM ₁₀ y PM _{2,5}	Escala de Memoria Wechsler, tercera edición (WMS-III) (memoria), Digit Span-forward (atención), Pruebas de Creación de Senderos (TMT) (función ejecutiva).	La calidad del aire interior afectó de manera diferencial las asociaciones de la exposición a largo plazo a contaminantes del aire de bajo nivel con la cognición.
4. Duchesne et al. (2022)	N=6308 Hombres y mujeres de Francia mayores de 65 años.	PM _{2,5}	Mini Examen del Estado Mental (MMSE) (función cognitiva global), Prueba de Retención Visual de Benton (BVRT) (memoria visual), Isaacs Set Test (IST) (fluidez semántica), prueba de creación de senderos (TMTA) (función ejecutiva).	La exposición a PM _{2,5} , pero no a NO ₂ , pueden estar asociado con una disminución acelerada de la cognición global, pero no en dominios cognitivos específicos.
5. Hu et al. (2022)	N=8536 Hombres y mujeres de China, mayores de 45 años, participantes del estudio CHARLS.	PM _{2,5} y PM ₁₀	Recuperación instantánea y tardía de palabras (memoria episódica), Entrevista Telefónica del Estado Cognitivo (TICS) (orientación y atención), prueba de dibujo de figuras (función espacio visual).	Evidencia de la asociación entre la mejora de la calidad del aire en PM _{2,5} , PM ₁₀ y el alivio del deterioro cognitivo.
6. Lee et al. (2023)	N=269 Hombres y mujeres procedentes de Corea del Sur.	PM _{2,5} y PM ₁₀	Batería estandarizada de detección neuropsicológica (SNSB-II) (función cognitiva).	La exposición crónica al SO ₂ y PM _{2,5} se asocia con una progresión clínica más rápida del Alzheimer.

7. Oudin et al. (2017)	N=2516 Hombres y mujeres de Suecia, mayores de 60 años.	PM _{2,5}	Medida de memoria episódica (EMM).	No se observó ninguna asociación general entre las concentraciones de contaminación del aire del tráfico en el hogar y el deterioro cognitivo medido como puntuación de memoria episódica.
8. Petkus et al. (2020)	N=2202 Mujeres de EE.UU., de entre 66 y 83 años, participantes del estudio WHISCA.	PM _{2,5}	Escala de Depresión Geriátrica de 15 ítems (GDS-15) (síntomas depresivos), California Verbal Learning Test (CVLT) (memoria episódica).	La exposición de PM _{2,5} a largo plazo en la vejez puede acelerar el deterioro de la memoria episódica. La exposición se asoció indirectamente con aumentos en los síntomas depresivos a través de disminuciones en la memoria episódica.
9. Powdthavee et al. (2020)	N=34000 Hombres y mujeres de Inglaterra, de todas las edades.	PM ₁₀	Prueba de recuerdo inmediato y una prueba de recuerdo diferido (memoria).	El aire contaminado, con la partícula PM ₁₀ concretamente, es perjudicial para el cerebro humano.
10. Schikowski et al. (2015)	N=2116 Mujeres de Alemania, mayores de 55 años.	PM _{2,5}	El Consorcio para Establecer un Registro de la Enfermedad de Alzheimer (CERAD), Batería de Evaluación Neuropsicológica (memoria semántica, memoria episódica, praxis constructiva y función ejecutiva), Mini Examen del Estado Mental (MMSE) (función cognitiva global).	Los marcadores de contaminación del aire se asociaron con deterioro cognitivo. La contaminación del aire podría afectar sólo áreas específicas del cerebro.
11. Shin et al. (2019)	N=2896 Hombres y mujeres de Corea del Sur, mayores de 70 años y participantes del estudio KFACS.	PM ₁₀	Versión coreana de “El Consorcio” (CERAD-K), versión coreana del MMSE (MMSE-KC), prueba de intervalo de dígitos, prueba de aprendizaje de listas de palabras, batería de evaluación frontal (FAB) (orientación, memoria, atención/concentración, lenguaje y función visuoespacial).	Contaminantes del aire, especialmente PM _{2,5} , se asociaron con deterioro cognitivo, incluida la cognición global, la atención, la memoria y la función ejecutiva.
12. Tonne et al. (2014)	N=3414 Hombres y mujeres de Inglaterra mayores de 65 años y participantes del estudio Whitehall II.	PM _{2,5}	Prueba Alice Heim (razonamiento verbal y matemático), prueba de recuerdo libre de 20 palabras (memoria verbal).	Se encuentra una asociación entre la contaminación del aire por partículas y el razonamiento y la disminución de la memoria.
13. Tzivian et al. (2016)	N=2050 Hombres y mujeres de Alemania, entre 45 y 75 años y participantes del estudio Heinz Nixdorf Recall.	PM _{2,5} y PM ₁₀	Lista de ocho palabras (memoria verbal inmediata y retardada), prueba de laberinto (resolución de problemas), categoría semántica “animales”, número de palabras recordadas en 1 min (fluidez verbal),	La exposición prolongada a la contaminación del aire y al ruido del tráfico se asoció con el deterioro cognitivo, particularmente el subtipo amnésico.

prueba del dibujo del reloj (función ejecutiva).				
14. Wang et al. (2021)	N=2056 Mujeres de EE.UU., alrededor de los 80 años, participantes del estudio WHISM-ECHO.	PM _{2,5}	Versión modificada del CVLT (memoria episódica).	La exposición tardía a la contaminación del aire ambiente se asoció con una disminución acelerada de la memoria episódica.
15. Yao et al. (2022)	N=7928 Hombres y mujeres de China, mayores de 45 años, participantes del estudio CHARLS.	PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀	Recuerdo inmediato de palabras y recuerdo retardado de palabras (memoria episódica), Entrevista Telefónica de Estado Cognitivo (TICS) (estado mental).	La exposición a partículas ambientales durante un cierto período de tiempo disminuiría significativamente la función cognitiva entre los chinos de mediana edad y ancianos.
16. Younan et al. (2020)	N=998 Mujeres de EE.UU., mayores de 65 años y participantes de los estudios WHISM y WHISCA.	PM _{2,5}	Prueba de Aprendizaje Verbal de California (CVLT) (memoria episódica).	La exposición de PM _{2,5} a largo plazo en la vejez se asocia con una disminución acelerada de la memoria episódica, que afecta predominantemente el recuerdo inmediato y el nuevo aprendizaje.
17. Zhou et al. (2023)	N=60 Hombres y mujeres de China, de 18 a 65 años que se encuentran en una oficina de una empresa.	PM _{2,5}	Prueba de batería neurológica basada en computadora disponible comercialmente, General Cognitive Assessment Battery, CogniFit (memoria, atención, percepción, coordinación y razonamiento).	El dominio de la memoria mostró un rendimiento consistentemente menor bajo niveles más altos de PM _{2,5} .

Tabla 3*Resumen de los resultados obtenidos en la escala PEDro*

Artículos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
1. Ailshire et al. (2015)	✓		✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	7/10
2. Chen et al. (2017)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10/10
3. Chen et al. (2023)	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	8/10
4. Duchesne et al. (2022)	✓		✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	7/10
5. Hu et al. (2022)	✓		✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	7/10

