

Universidad de Oviedo

Facultad de psicología



Universidad de Oviedo

Grado en Psicología

2022-2023

Nanopsicología, el papel potencial de las nanotecnologías en la psicología: una revisión sistemática

Nanopsychology, the potential role of nanotechnologies in psychology: a systematic review

Trabajo Fin de Grado

Claudia Salvadori Estrada

Oviedo, junio de 2023



Universidad de Oviedo

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DEL TRABAJO FIN DE GRADO

(De acuerdo con lo establecido en el artículo 8.3 del Acuerdo de 5 de marzo de 2020, del Consejo de Gobierno de la Universidad de Oviedo, por el que se aprueba el Reglamento sobre la asignatura Trabajo Fin de Grado de la Universidad de Oviedo

D./D.^a Claudia Salvadori Estrada, estudiante del Grado en Psicología de la Facultad de Psicología, con DNI nº

DECLARO QUE:

El Trabajo Fin de Grado titulado: “ Nanopsicología, el papel potencial de las nanotecnologías en psicología: una revisión sistemática “ que presento para su exposición y defensa, es original y he citado debidamente todas las fuentes de información utilizadas, tanto en el cuerpo del texto como en la bibliografía.

En Oviedo, a 12 de junio de 2023

Firmado: Claudia Salvadori Estrada

Resumen

La nanotecnología se refiere al uso de materiales en escala nano (1-100nm) para diferentes propósitos. Uno de los más novedosos es la aplicación de la nanotecnología en la psicología, la nanopsicología. Esta ciencia nace recientemente y aún tiene limitaciones, pero es fundamental su investigación. En este trabajo revisaremos tres áreas en las que se puede aplicar esta ciencia: tratamiento (uso de materiales a escala nano para la creación de fármacos), diagnóstico y monitorización (uso de materiales para crear dispositivos de monitorización más potentes), y comportamiento (problema del reconocimiento de uno mismo). Así se discutirá si son más las ventajas que las limitaciones, además de si esta ciencia debería ser más dominante en el campo del comportamiento humano.

Palabras clave: Psicología Experimental Aplicada e Ingeniería, nanotecnología, nanopsicología, nanopsiquiatría.

Abstract

Nanotechnology is referred to the use of materials in nanoscale (1-100nm) for many objectives. One of the newest ones is the use of nanotechnology in psychology, nanopsychology. This science was born recently and still has its limitations, but its investigation is very important. In this work we will revise three areas in which we can apply this science: treatment (use of materials in nanoscale to create drugs), diagnosis and monitorisation (use of materials to create stronger monitorisation devices) and behaviour (self-recognition). We will discuss if there are more advantages than disadvantages, and if this science should be more dominant in the human behaviour field.

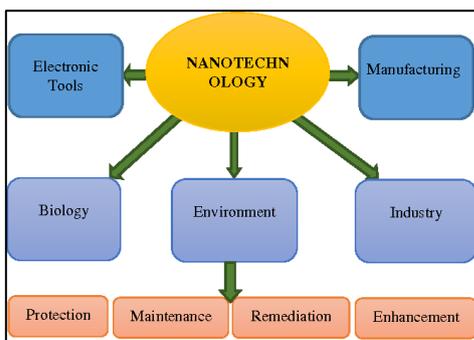
Key Words: Applied Experimental Psychology and Engineering, nanotechnology, nanopsychology, nanopsychiatry.

Introducción

En el siglo XXI nos enfrentamos a una nueva etapa en el desarrollo humano que está muy marcada por los avances tecnológicos. Está progresando de manera exponencial, y ahora se ve más que nunca la importancia y las implicaciones que tienen ya en el presente. A causa del dominio de las tecnologías, se desarrolla un ámbito dentro de ellas, la nanotecnología. Se define como la comprensión y control de materiales en dimensiones entre 1 y 100nm. (Huya et al., 2015). Para poner en contexto su importancia hay que mencionar que el ser humano siempre ha intentado vencer a las enfermedades para su supervivencia. Así, a lo largo de los años, se ha tratado de averiguar las causas subyacentes y ver en detalle cómo funciona por dentro el organismo. Para llegar a esta conclusión se necesitaron años de estudio de los trastornos médicos. Se sospechaba que para entender mejor el funcionamiento se debería poder acceder al interior del organismo y ampliar esta visión. Con la invención del microscopio ya se empieza a ver la importancia de la acción de materiales a una escala muy pequeña. Se preguntaron si de alguna manera manipulando a nivel anatómico se podría intervenir de una manera más efectiva para curar las enfermedades. Así fue como científicos como Richard Feynman (premio nobel de física), que ya proponía ideas sobre el gran espacio que hay dentro del organismo, y Norio Taniguchi, que fue el primero en nombrar la “nanotecnología”, se preocupaban por esto. (Huya et al., 2015). Como se puede suponer la nanotecnología tiene numerosas aplicaciones.

Figura 1

Aplicaciones de la nanotecnología



Nota. Adaptado de “Review of Nanotechnology applications in Science and Engineering” 84-93, por S. Mobasser, 2016, J. Civil Eng. Urban., 6 (4)

Muchas de las aplicaciones tienen que ver con lo que vemos en la Figura 1, algunos ejemplos a citar serían, el desarrollo de técnicas para mejorar los productos de alimentación (seguridad y calidad), mejorar el tratamiento contra el cáncer, protección ambiental...

Ahora veremos que para justificar nuestro estudio, se podría decir que estas investigaciones se deberían aplicar al estudio del comportamiento humano, para mejorar enormemente la calidad de vida. De esta manera se puede entender que no cabe duda de que la aplicación de la nanotecnología en la psicología es algo que no se puede desatender de ninguna manera. Existe entonces con todos estos avances la posibilidad de crear un nuevo ámbito para que crezca la psicología. Se trata de una nueva ciencia llamada nanopsicología.

La nanopsicología se puede definir como “la ciencia destinada a estudiar, en lo macro, el impacto de los efectos de la nanotecnología en la vida psíquica de los individuos y, en lo nano, las correlaciones entre las nanoestructuras y nanotransformaciones mentales en las redes neuronales artificiales capaces de simular a las reales”. (Garifullin, 2006).

Menciona este autor por primera vez el término “nanopsicología” en un congreso internacional “El hombre frente al desafío global”, en la conferencia llamada “La nanofilosofía como una nueva visión del mundo”, y fue organizada por la Academia de Ciencias de Tatarstán en Kazán (Rusia) en el año 2006. Esta es tomada en serio por primera vez por psicólogos ingenieros, en donde podemos también situar esta ciencia. Por tanto la nanopsicología está dentro de la Psicología de la Ingeniería (American Psychological Association, 2008). A partir de aquí empieza a crecer, además de ganar mucha relevancia. Es indiscutible que tiene un futuro prometedor, aunque todavía está gestándose. Una de las ciencias de las que deriva la nanopsicología es por supuesto la mencionada previamente, la nanotecnología, de nuevo se trata del uso de materiales a escala nano (1-100 nm) para la producción, manipulación o mejora de materiales dentro de una amplia variedad de disciplinas, en donde aquí la nanotecnología permite el desarrollo de productos para la mejora de la vida humana (Kamarulzaman et al., 2020).

El nuevo marco propuesto para la nanopsicología tiene dos componentes bien diferenciados, uno externo al individuo, que se refiere al impacto de los productos nanotecnológicos en el comportamiento humano y, un segundo aspecto interno, que

permite tanto la comprensión y/o modificación de las conductas mediante dispositivos informáticos desde y hacia el cerebro, eliminando la interfaz del lenguaje, además de la construcción de nuevas estructuras neuronales que se incorporarán al cerebro, que posibilitan conocimientos y nuevos procesos de enseñanza- aprendizaje (Martins et al., 2016).

Una de las ciencias que respaldan la importancia de esto es la bioinformática, que se trata de aplicar tecnologías informáticas para el almacenamiento, procesamiento e interpretación de datos biológicos para la generación de conclusiones (Mitra et al., 2022). Más llevado a nuestro campo, se puede hablar de la mejora de la técnica de la biología molecular. Con el surgimiento de las nanotecnologías, la bioinformática podría conseguir técnicas no invasivas. Se sabe que gracias a la neuroinformática se hacen recopilaciones de datos del cerebro que luego servirán para ofrecer una perspectiva para entender algunos procesos complejos dentro de la psicología cognitiva (Mitra et al., 2022).

Por tanto nos encontramos ahora con la necesidad de seguir desarrollando estas ciencias, no cabe duda de que muchos autores hablan de ciencias que van unidas a la nanopsicología, como son la nanotecnología y la nanopsiquiatría. Estas también han crecido en los últimos años, y vemos que en la mayoría de los estudios que hablan de estas ciencias se justifica este crecimiento, futuro prometedor y sus numerosas aplicaciones, tanto de la nanotecnología como de la nanopsiquiatría. (Radáic, Martins-de-Souza, 2020; Prakash et al., 2022; Khalaf et al., 2023; Harini et al., 2022; Xing et al., 2022; Al-Nemrawi et al., 2019)

Objetivos e hipótesis

Con todo lo descrito anteriormente, se puede entender que ciertamente es enorme la relevancia de esta nueva ciencia, imprescindible para la creación de nuevos fármacos contra los trastornos psicológicos y el estudio más detallado del cerebro humano. Por tanto, el objetivo de este estudio será proporcionar una visión de las posibles áreas de aplicación de la nanotecnología en la psiquiatría y psicología, revisando publicaciones que se refieran al tratamiento de enfermedades y a la investigación y monitorización, además de una examinación sobre el impacto de la nanotecnología sobre el ser humano.

Específicamente los objetivos de esta revisión bibliográfica consisten en (1) proporcionar una visión general del estado actual de la nanotecnología, y en concreto la nanopsicología, (2) revisar los métodos utilizados en nanopsiquiatría para el diagnóstico y monitorización y (3) para el tratamiento de ciertos trastornos psicológicos, (4) nanotecnología aplicada para estudiar el comportamiento humano y (5) especificar la relevancia de la nanopsicología, sus ventajas y sus inconvenientes.

Como primera hipótesis se presupone que la nanopsicología tiene numerosas aplicaciones que son necesarias para el desarrollo humano, entre ellas imprescindible el diagnóstico y tratamiento de enfermedades.

Como segunda hipótesis se sostiene que habrá ciertos inconvenientes de las nuevas tecnologías a los que hay que atender.

Como tercera hipótesis se sostiene que aún falta mucho para que esta ciencia se desarrolle por completo.

Como cuarta hipótesis se sostiene que el estudio del comportamiento puede ser estudiado desde numerosos enfoques, y la nanopsicología tratará de mejorar la vida humana, aunque tendrá un enorme impacto en el individuo.

Método

Procedimiento

Para los artículos que se han utilizado para dar forma a esta revisión se siguió la metodología indicada en la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Para el hallazgo de los artículos se han utilizado tres bases de datos electrónicas, Scopus, Web Of Science y ScienceDirect. En cada una de ellas se han usado las mismas claves de búsqueda, obteniendo resultados numéricos algo diferentes. Por esto, los criterios de exclusión fueron diferentes para cada base de datos. La búsqueda se inició el 14 de marzo, y la última búsqueda fue el día 12 de junio.

Las claves de búsqueda son: (nanotechnology AND psychology) OR nanopsychiatry OR nanopsychology

En SCOPUS, se obtiene un total de 132 resultados, de los cuales sólomente seleccionamos los publicados desde 2019 en adelante. Con esto nos quedan 25 artículos, de los cuales se han escogido 3 que van a corresponder con la temática que buscamos para nuestra revisión.

En Web Of Science, se obtienen 244 resultados, limitando nuestra búsqueda a los que se han publicado de 2020 en adelante tenemos 41 artículos, de los cuales nos quedamos con 3, únicamente con los que se corresponden con la temática deseada.

En ScienceDirect obtenemos 1015 resultados, en esta ocasión nos interesan los que se publican de 2022 en adelante y lo limitamos a artículos de revisión, con esto se obtienen 19 artículos, de los cuales revisaremos 3, que al igual que en los casos anteriores son los únicos que tienen que ver con nuestra temática.

Los **criterios de inclusión** fueron los siguientes:

- Todos aquellos artículos que incluyen definición y tratamiento de temas dentro de la nanotecnología y la psiquiatría

- Artículos que fueran recientes, en principio de 2019 en adelante, aunque en algunas bases de datos había demasiados resultados y se tuvo que hacer desde años más recientes. En ScienceDirect también había muchos resultados así que se limitó a artículos de revisión.

- No se tuvo en cuenta el idioma para limitar nuestra búsqueda.

Los **criterios de exclusión** fueron los siguientes:

- En las tres bases de datos aparecían muchos temas que tenían que ver con la nanotecnología utilizada para la plantación, todo esto se excluyó porque no nos interesa para nuestro tema.

- Muchos otros no tenían acceso gratuito, y también se excluyeron.

- Otro criterio de exclusión fue que en el título no tuviera las palabras clave, o al menos un parecido en la temática que nos interesa, o que se ajustaran a nuestros criterios de investigación.

Muestra

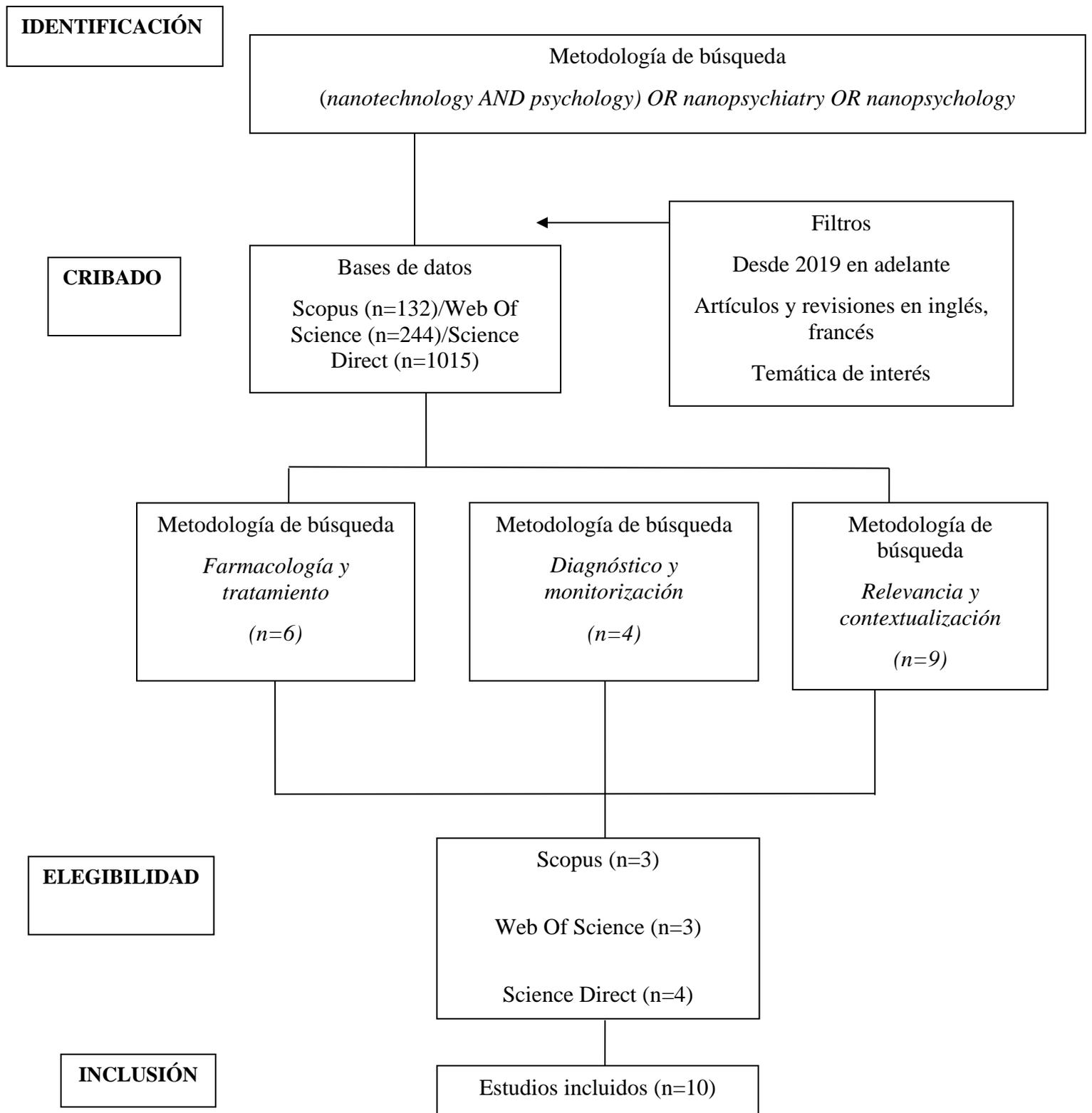
Proceso de selección

Nos encontramos con un total de 85 artículos relevantes para nuestra revisión, de los cuales después de leer los títulos y los resúmenes hemos obtenido un total de 9 artículos seleccionados para hacer la revisión.

En la Figura 2 se puede observar un esquema en detalle del proceso de selección de los artículos revisados:

Figura 2

Proceso de selección de artículos de referencia



Resultados

Para los resultados se van a presentar las diferentes áreas de las que se ocupa la nanotecnología, nuestro objetivo será revisar en concreto: (1) la farmacología y tratamiento, (2) la monitorización (imagen cerebral) y diagnóstico (biosensores), y (3) cómo interviene la nanotecnología en el comportamiento humano.

Nanotecnología y farmacología y tratamiento

Tabla 1

Análisis del contenido de farmacología y tratamiento

| Dimensión | Autor | Descripción | Conclusión |
|---|-----------------------|---|---|
| Diseño de fármacos y aumento de su eficacia | Harini et al., (2022) | Nanoportadores, polímeros biodegradables, entrega de drogas | El futuro de los tratamientos psiquiátricos depende de la nanotecnología, pronto se convertirá en una práctica usual. Las nanopartículas de polímeros biodegradables será el principal material en nanopsiquiatría (muy fácil de fabricar). El conjugado de nanopartículas con fármacos para trastornos psiquiátricos tiene un impacto muy positivo en |

| | | | |
|------------------------------------|----------------------------------|---|---|
| | | | la biodistribución y la biodisponibilidad. |
| | Radáic, Martins-de-Souza, (2020) | Fármacos a escala nano (nano-DDS) para el tratamiento esquizofrenia | Gracias a la nanopsiquiatría se desarrollan nuevos sistemas de administración de fármacos o entrega de drogas (nano-DDS), para mejorar los tratamientos tradicionales de la esquizofrenia. |
| Distribución y entrega del fármaco | Al-Nemrawi et al., (2019) | Entrega de droga | Los estudiantes de farmacia no tienen mucho conocimiento sobre nanotecnología. |
| | Harini et al., (2022) | Nanoportadores, polímeros biodegradables, entrega de drogas | El futuro de los tratamientos psiquiátricos depende de la nanotecnología, pronto se convertirá en una práctica usual. Las nanopartículas de polímeros biodegradables será el principal material en nanopsiquiatría (muy fácil de fabricar). El conjugado de nanopartículas con fármacos para trastornos psiquiátricos tiene un impacto |

| | | |
|----------------------------------|---|---|
| | | muy positivo en la biodistribución y la biodisponibilidad. |
| Khalaf et al., (2023) | Nanopartículas de quitosano, entrega de droga | Las nanopartículas de quitosano tienen un futuro prometedor y muchas funcionalidades para las aplicaciones biomédicas, gracias a sus numerosos efectos positivos, como la biodisponibilidad, además es una biomolécula natural. |
| Prakash et al., (2022) | Dificultades de la barrera hematoencefálica, nanoportadores, entrega de droga | A pesar de que la nanotecnología ofrece un futuro prometedor, hay que tener en cuenta la sostenibilidad. |
| Radáic, Martins-de-Souza, (2020) | Fármacos a escala nano (nano-DDS) para el tratamiento esquizofrenia | Gracias a la nanopsiquiatría se desarrollan nuevos sistemas de administración de fármacos o entrega de drogas (nano-DDS), para |

Una parte de nuestro trabajo será analizar el contenido referido a nanotecnología aplicada al diseño de fármacos y el tratamiento de enfermedades. Estos dos aspectos tienen mucho que ver, tanto es así que se puede decir que el adecuado diseño de fármacos tiene como consecuencia el poder tratar enfermedades de manera eficaz.

La farmacología se define como la rama de las ciencias biomédicas que estudia; el origen y química de las drogas de utilidad en medicina, sus acciones farmacológicas, sus mecanismos de acción a nivel molecular o celular, la forma como las mismas pasan a través del organismo, sus efectos adversos y sus aplicaciones terapéuticas. (Romero, 2018).

Para empezar, vamos a presentar la definición de barrera hematoencefálica, que nos ayudará mucho mejor a entender las dificultades que se presentan a la hora de diseñar cualquier fármaco. La barrera hematoencefálica es una membrana semipermeable compuesta de células endoteliales que se sitúa entre la sangre y el cerebro (Harini et al., 2022). El mayor problema al que nos enfrentamos a la hora de diseñar un fármaco es el paso de la droga a través de la barrera hematoencefálica (Prakash et al.; 2022, Harini et al., 2022). Hay que entender que los principales factores que hay que cumplir a la hora de entregar la droga en las células correspondientes son: el tamaño suficientemente pequeño de la partícula, forma de la partícula, rigidez, carga de la superficie celular, expresión del receptor y tamaño de la superficie. En las células hay tres procesos por los cuales entran las sustancias, y que también limitan la entrada de la droga: endocitosis, fagocitosis y macropinocitosis.

Gracias a la nanotecnología se han desarrollado moléculas ideales para atravesar la barrera; pequeñas, compactas y lipofílicas. De esta manera, además de entregar la droga en el lugar deseado, se pueden evitar los efectos secundarios que conllevan el no entregar la droga en las células en el lugar exacto. Para esta entrega, se ha visto que los

nanoportadores son muy efectivos, y entre ellos están los nanoliposomas, niosomas y el nanopolvo. (Prakash et al., 2022).

Al ser tan selectiva, la barrera puede entonces aumentar los efectos secundarios y disminuir la eficacia del medicamento. Por tanto se necesita algo que entregue la droga de manera eficaz, y es aquí donde el uso de la nanotecnología se abre paso. (Harini et al., 2022; Al-Nemrawi et al., 2019). Esta puede ofrecer aspectos fisicoquímicos únicos (Khalaf et al., 2023). En concreto, Harini et al., (2022), nos ofrecen una solución; un sistema de entrega de drogas, *DDS* (drug delivery systems). Se trata de nanoportadores hechos de polímeros biodegradables. Estos tienen ciertos beneficios, al ser fáciles de elaborar, superan las limitaciones de la barrera, lo podemos ver en detalle en la figura 3. En concreto nos habla de la aplicación de estos nanoportadores en la creación de fármacos para la depresión.

La depresión es un trastorno muy común en la sociedad actual, que se caracteriza por una profunda tristeza y pérdida de interés en actividades cotidianas, entre otros. Por su naturaleza incapacitante es lógico que sea uno de los trastornos con mayor interés clínico por parte de los expertos, así se intenta ver cuáles son las causas para poder tratarlo y disminuir el número de casos. Se ha discutido durante décadas si las causas son hereditarias o ambientales, aunque en este caso no vamos a centrarnos en esta discusión, si no en atender a un hecho indiscutible; no cabe duda de que existen una serie de químicos en el cerebro que, aunque no estemos hablando de la causalidad, se entiende que de alguna manera vamos a tener que afrontar su tratamiento, y si acercándonos en detalle al sistema nervioso vemos que existe una mejoría en el diagnóstico o tratamiento que tenga que ver con los niveles de ciertos neurotransmisores, hay que atender a ello. La farmacología trata de ayudar para mejorar en todo lo posible estos aspectos, por tanto se debe mejorar a su vez la farmacología.

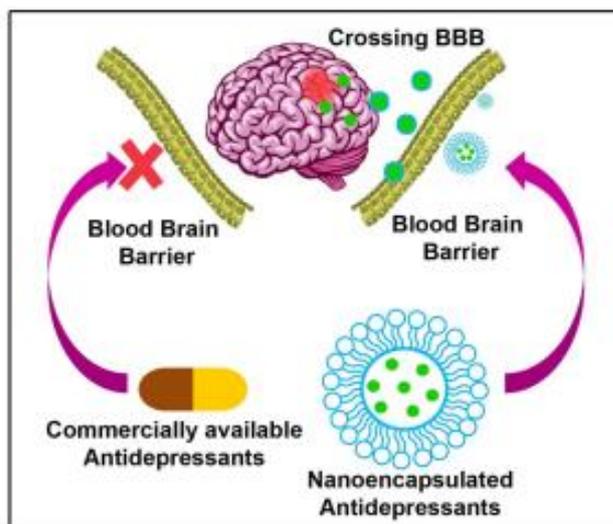
Existen dos principales formas de tratar la depresión: a través de terapia o con la administración de antidepresivos. Dependiendo de si el paciente presenta síntomas de ansiedad los medicamentos serán más sedantes y si tiene síntomas que tienen que ver con el cansancio, se administran los conocidos SSRI (selective serotonin reuptake inhibitors), son los inhibidores selectivos de recaptación de serotonina. Se sabe que estos tienen muchos efectos secundarios, además como no consiguen atravesar la

barrera, se administra más dosis y esto puede tener efectos negativos. Aquí es donde entra la nanopsiquiatría para intentar resolver esto; intentar aumentar la especificidad de la droga y disminuir los efectos secundarios.

Si el fármaco no logra cruzar la barrera, este puede seguir circulando por la sangre y provocar efectos negativos, y se propone un fármaco que sólo pueda ser activado por ciertas enzimas del cerebro, de tal manera que si no consigue cruzar la barrera, al menos no tendrá estos efectos negativos. Esto genera otro problema, y es que la droga tendrá pocos candidatos, y si estos se acaban, aunque se consiga cruzar la barrera, no logrará los efectos deseados. Entonces para ello, los nanoportadores entregan el fármaco en una secuencia de pasos: encapsulación de la droga en el portador, una etiqueta para llegar a la célula deseada y la entrega directa dentro de la célula gracias a un mecanismo ligando-receptor.

Figura 3

Mejorando la estrategia de entrega de drogas. Se atraviesa la barrera hematoencefálica gracias a los nanoportadores



Nota. Adaptado de "Nanopsychiatry: Engineering of nanoassisted drug delivery systems to formulate antidepressants" 256-266, por K, Harini, 2022, Int. J. Nano Dimens., 13 (3)

Una de las drogas más usadas en el campo de la psiquiatría es el haloperidol; junto a este se cargan biomateriales nanoformulados como son ácido poliláctico (PLA) y ácido poliláctico-co-glicólico (PLGA). Esto sólo es un ejemplo de la combinación de

sustancias con la nanoformulación de biomateriales con efectos muy prometedores, aunque está todavía desarrollándose. Como veremos en el párrafo siguiente hay numerosas drogas para combinar con biomateriales, y a su vez numerosos nanoportadores que se usan en el sistema de entrega de drogas, para así hacer una combinación que sea óptima para la mejora de tratamiento.

Radáic, Martins-de-Souza, (2020) nos describe un procedimiento para tratar otra de las enfermedades a las que tienen como misión aproximarse muchos expertos dentro del ámbito médico y psicológico: la esquizofrenia.

La esquizofrenia es un trastorno que tiene un montón de subtipos, además de ser un trastorno tremendamente incapacitante, caracterizado por un autismo social y la pérdida del contacto con la realidad, con síntomas afectivos, y del pensamiento y percepción. Es obvio una de enfermedades que dentro de las llamadas antiguamente “psicosis”, más se ha hablado de un componente biológico.

Aquí de nuevo podemos abordar el tratamiento gracias a los nano-DDS, la nanopsiquiatría hace que aumente la eficacia de los antipsicóticos, que son los fármacos utilizados para tratar la esquizofrenia. Aquí la nanopsiquiatría se encarga nuevamente de aumentar la eficacia y la farmacocinética de los tratamientos farmacológicos tradicionales. Los antipsicóticos típicos más usados para el tratamiento de la esquizofrenia en nanopsiquiatría son la Clorpromazina, el Haloperidol, Perfenazina, y los antipsicóticos atípicos más usados son la Clozapina, Olanzapina, Iloperidona, Lurasidona, Risperidona, Paliperidona, Aripiprazol, Asenapina, Quetiapina, Ziprasidona. Algunas de las nanopartículas más usadas para el tratamiento de la esquizofrenia son las nanopartículas sólidas de lípidos y ácido poli(láctico-co-glicólico), como comentábamos en el párrafo anterior.

Como vemos, varios autores (Khalaf et al., 2023; Harini et al., 2022) mencionan la relevancia de los nanoportadores hechos de polímeros biodegradables. En concreto, Khalaf et al., (2023) nos introduce el quitosano, que es una especie de aminopolisacárido lineal derivado de la desacetilación de quitina (el segundo polisacárido más abundante y famoso junto a la celulosa en la naturaleza), que actúa en el encapsulado de la droga. Este tiene alta tolerancia a circunstancias químicas y debido a su naturaleza biológica, la función catiónica de los grupos superficiales opcionales, su

biocompatibilidad, su biodegradabilidad, y su facilidad para salir a la superficie, la modificación e interacción de con varios bioactivos y terapéuticos han aplicado exponencialmente muchos campos biomédicos. Estos nanoportadores ofrecen la ventaja de la eficacia mejorada, bajo costo, biodisponibilidad, y un perfil de efectos secundarios más bajo. Otras nanopartículas utilizadas para encapsular la droga son los niosomas, liposomas, nanopartículas poliméricas y virosomas.

Nanotecnología y monitorización y diagnóstico

Tabla 2

Análisis del contenido de monitorización y diagnóstico

| Dimensión | Autor | Descripción | Conclusión |
|---|----------------------------------|--|--|
| Diagnóstico (detección neurotransmisores) | Radáic, Martins-de-Souza, (2020) | Detección de dopamina, diagnóstico esquizofrenia Detección de serotonina, diagnóstico esquizofrenia | La nanopsiquiatría es capaz de desarrollar dispositivos capaces de detectar niveles de serotonina y dopamina para mejorar el diagnóstico de la esquizofrenia. Tiene un gran potencial. |
| | Xing et al., (2022) | Detección de dopamina, diagnóstico TDAH | El desarrollo de los biosensores para detectar la dopamina se ha vuelto un sistema de alto rendimiento, importante para la |

| | | | |
|----------------|------------------------|---|---|
| | | | detección del TDAH. |
| Monitorización | Harini et al., (2022) | Nanodispositivos, modelado del sistema nervioso | La nanotecnología proporciona una mayor ventaja en imágenes in vivo y análisis de metabolomas. Así, se sabe que hay nanopartículas que tienen que ver con la depresión. |
| | Prakash et al., (2022) | Análisis de organismos vivos | A pesar de que la nanotecnología tiene ofrece un futuro prometedor, hay que tener en cuenta la sostenibilidad. |

Ahora pasamos a otro punto extremadamente importante, donde podemos aplicar esta ciencia, se trata del uso de la nanotecnología para diagnosticar enfermedades y monitorizar el cerebro para determinar si existe alguna interacción entre ciertas sustancias y enfermedades psicológicas, así como establecer mapas cerebrales para el mejor conocimiento del sistema nervioso y así poder avanzar en nuestro campo de estudio. El diagnóstico y la monitorización son procedimientos muy importantes que se alimentan de la nanotecnología para mejorar sus técnicas. Veremos entonces ciertos

autores que van a hablar de la mejora de las técnicas de diagnóstico de algunas enfermedades, y también algunos que mencionan técnicas de monitorización.

Algunas de las herramientas que nos ofrece la nanotecnología son los nanodispositivos, los nanoportadores y los nanomateriales, relevantes en este tema. (Harini et al., 2022; Xing et al., 2022)

(Radáic, Martins-de-Souza, 2020) nos habla de dos neurotransmisores que son clave para el diagnóstico de la esquizofrenia. Se trata de la dopamina para los síntomas positivos y la serotonina para los síntomas negativos. Para abordar la esquizofrenia, se bloquean los receptores de dopamina 1 y 2 con antipsicóticos. No podemos afirmar que la falta o el exceso de ningún neurotransmisor sea la causa de enfermedades en el cerebro, pero sí sabemos que tienen cierta conexión (hipótesis dopaminérgica), y ahora gracias a la nanopsiquiatría esto se puede afinar mucho más. Hay muchas técnicas pero se necesita la innovación. La más usada en nanotecnología para la detección de dopamina es la estratoscopia ultravioleta visible. En cuanto a las características de las nanopartículas se ha encontrado que lo mejor son materiales metálicos como nanopartículas de oro, plata y carbón. Son mejores que los materiales orgánicos porque tienen alta sensibilidad, buena selectividad. Otra técnica sería con un sensor de microviga voladiza, con esta estructura se puede detectar dopamina y se vio que combinando los oligonucleótidos con las nanopartículas de oro, se ampliaba la sensibilidad. En cuanto a los síntomas negativos se va a ver una interacción con la serotonina, por tanto también necesitamos determinar los niveles del neurotransmisor. En este caso los principales elementos usados son el oro y la plata. El tipo de detección más usado es electroquímico. En la tabla 3 se ven representadas las técnicas y los elementos.

Tabla 3

Técnicas y elementos más utilizados en nanotecnología para detectar la dopamina y la serotonina (Radáic, Martins-de-Souza, 2020)

| Neurotransmisor | Técnicas más utilizadas | Elementos más utilizados |
|------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
|------------------------|--------------------------------|---------------------------------|

| | | |
|-------------------|--|--|
| Dopamina | Estratoscopia ultravioleta visible, detector de tipo electroquímico, detector de tipo fluorescente, aptámero, nanoelectrodo, sensor de microviga voladiza, inmunosensor, sensores de ADN | Nanopartículas de oro, nanopartículas de plata, nanopartículas de carbón |
| Serotonina | Estratoscopia ultravioleta visible, detector de tipo electroquímico, detector de tipo fluorescente, aptámero | Nanopartículas de oro, nanopartículas de plata |

(Xing et al., 2022) llega ahora para explicar el papel relevante de la detección de dopamina pero ahora en otra enfermedad muy común dentro de la psicología como es el TDAH.

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) es un trastorno del neurodesarrollo común en niños y adolescentes que se caracteriza por una disminución significativa de la atención y conductas impulsivas. Se estudió cómo los niveles de dopamina son más bajos en los pacientes con TDAH, aunque de nuevo es importante saber que no tiene por qué ser la causa. Existen 3 tipos de biosensores: aptámeros, inmunosensores y sensores de ADN. Se ha demostrado que los aptasensores tienen una mayor sensibilidad que los sensores de biomarcadores y tienen un análisis de alto rendimiento aprovechando las tecnologías actuales. Los inmunosensores se usan junto con los anticuerpos como sensores, es bueno si lo combinamos con el aptámero. Una tercera opción son los marcadores de ADN para detectar el objetivo, se usa el apareamiento de bases de ADN, se pueden centrar en la dopamina que tiene mucho que ver con el TDAH.

El desarrollo de biosensores de dopamina se ha utilizado estos materiales para producir sistemas de detección de alto rendimiento. Los biosensores de dopamina pueden ser indicadores para proceder con otras medidas de precaución, pudiendo tratar el TDAH desde fases más tempranas.

Por no sólo mencionar la esquizofrenia y el TDAH, las alteraciones en los niveles de dopamina tienen mucho que ver también con enfermedades como el Parkinson o el Alzheimer. Para resumir, aquí otra vez no cabe duda de que ya la nanotecnología está siendo protagonista de las técnicas innovadoras para el abordaje en el diagnóstico de numerosas enfermedades.

Dos de las técnicas más importantes en el proceso de monitorización en nanotecnología, que serían imágenes *in vivo* y análisis de metabolomas (Prakash et al., 2022; Harini et al., 2022). En concreto, Prakash et al., (2022), nos ofrece un conocimiento general de algunas de las técnicas nanotecnológicas que existen para el análisis de organismos vivos. En las imágenes *in vivo* se usan nanopartículas en las resonancias magnéticas para la detección de Alzheimer, por ejemplo. También es beneficioso a la hora de saber la respuesta ante algunos medicamentos. Menciona el modelado del sistema nervioso central, que nos sirve para recrear la organización neuronal.

Los nanodispositivos son nanopartículas diseñadas para interactuar con las células y tejidos en el torrente sanguíneo. Está desarrollado principalmente para monitorear las actividades y la eficiencia de la carga de drogas y como herramienta de imagen. Varios instrumentos de detección, incluyendo microscopía electrónica de barrido (SEM), microscopía electrónica de transmisión (TEM), atómica microscopía de fuerza (AFM), difracción de rayos X, etc., participan en el seguimiento de los nanodispositivos. (Harini et al., 2022).

Nanotecnología y comportamiento humano

La nanopsiquiatría va a abrir la posibilidad de introducir en el cuerpo humano un nanorobot para realizar tareas complejas. De esta manera se evita abrir el cuerpo, y así el nanorobot pasa a invisibilizar la acción. Esto crea un problema: el hecho de que el individuo lo confunda, no lo detecte como un cuerpo externo porque crea que es parte de su organismo. Además se puede perder el control externo del nanorobot. (Andrieu, 2019).

Al combinar en el cuerpo humano los sistemas biológicos y los sistemas tecnológicos se compensa el déficit biológico, pero se plantea el problema de la identidad personal, el hecho de sentir dentro del cuerpo una presencia tecnológica. Se combinan datos con orígenes diferentes, de dentro y fuera del cuerpo. Esto puede producir cierta desconfianza en la nanotecnología, y es una de las razones por las que debemos ser muy cuidadosos con el uso de las nanotecnologías, sobre todo si tratamos con un tema tan importante como es el ser humano.

Discusión

Existen algunos inconvenientes que vamos a tratar de exponer para tener una visión lo más objetiva posible. En primer lugar, se sabe que la nanotecnología aún tiene poca aceptación popular. Generalmente se ven más los riesgos que los beneficios. No se acepta el riesgo porque hay una falta de información y comprensión con respecto a los beneficios. La comunicación efectiva de los riesgos y beneficios de la nanotecnología ayuda a que la diferencia de información sobre la nanotecnología sea menos entre el público y los científicos, y así permitir su desarrollo. (Kamarulzaman et al., 2020). Esto se puede llegar a entender porque no se espera que la población maneje estos conceptos científicos, pero sí se espera que entre los expertos exista algún tipo conocimiento base. Aunque los Estados Unidos de América lideran el mundo en nanotecnologías en la teoría y la práctica, las encuestas de 2003 revelaron que la mayoría de los estadounidenses no muestran conocimiento de la nanotecnología y sus usos. Más concretamente, un estudio llevado a cabo en Jordania refleja que existe muy bajo conocimiento a cerca de la nanotecnología. (Al-Nemrawi et al., 2019). Esto es otro indicador de que al ser una ciencia emergente le falta todavía mucho desarrollo para poder ser implantada.

Ahora centrándonos más en la nanopsiquiatría, vamos a ver otro límite que se refiere alcance de la nanopsiquiatría para entrar en el cuerpo y poder modificar el autoconocimiento del individuo. Esto significa que al entrar ciertos nanodispositivos, en concreto nanorobots, el organismo podría pasar a reconocer esto como propio, y no reconocer que es un cuerpo extraño. Al no abrir el propio cuerpo, la nanomedicina modifica la percepción del propio cuerpo del sujeto por la invisibilización de su acción.

(Andrieu, 2019). Esto puede tener sus beneficios a la hora de que para tratar ciertas enfermedades no es necesario abrir el cuerpo. Sin embargo, esto es una de las razones por las que se debería avanzar mucho más, ya que no podemos permitir que la desconfianza en esta ciencia sea un límite.

Se puede entender ahora que está claro que hay muchos límites, aunque se pueden eliminar si se sigue desarrollando esta ciencia. Es cierto que no podemos depender exclusivamente de ella, sobre todo a la hora de elegir un tratamiento para ciertas enfermedades psicológicas, ya que en muchos casos el tratamiento de elección es la psicoterapia, además de que existen otros tratamientos biológicos no farmacológicos para los trastornos psiquiátricos como son estimulación cerebral profunda (ECP), estimulación magnética transcraneal (EMT), estimulación transcraneal de corriente continua (ETCC), terapia electroconvulsiva (TEC), entre otros. (Rosson et al., 2022).

A pesar de esto, si se mejoran las técnicas nanotecnológicas para la producción de fármacos no hay duda de que en muchos casos deberían estar en primer lugar para el tratamiento, porque aunque no estemos actuando en la causa, se busca que se mejore la efectividad, se disminuyan los efectos secundarios y nos encontremos ante algo que sólo puede ser beneficioso. Además, referido a la monitorización también vamos a ver que debería en muchos casos ser elegido por las ventajas que nos aportan, entre ellas sería la no invasión del organismo, o el mejor conocimiento del cerebro.

Se puede confirmar nuestra primera hipótesis, a pesar de que hay algunos inconvenientes y todavía falta mucho para que se desarrolle, la nanopsicología tiene muchas aplicaciones, en concreto en el tratamiento y diagnóstico de enfermedades. Si tenemos la mínima posibilidad de aumentar estas técnicas y así mejorar la vida humana mediante el tratamiento de enfermedades, no hay duda de que hay que el futuro de la nanopsicología es necesario.

Según la segunda hipótesis, podemos decir que existen entonces ciertos inconvenientes dentro de la nanopsicología. No cabe duda de que el desarrollo es importante, pero debemos ser muy cuidadosos con los efectos que puede tener en la sociedad y en la vida humana, como la aceptación o el problema de introducir un nanodispositivo dentro del cuerpo, esto puede causar cierta desconfianza. Es

responsabilidad de los expertos que esta ciencia se desarrolle siempre teniendo en cuenta el bienestar humano.

Para la tercera hipótesis, aunque la nanopsicología es una ciencia emergente, todavía está naciendo. Además todas las ciencias tienen mucho camino por delante, pero esta sobre todo. Se espera que la tecnología crezca exponencialmente durante los próximos años, por tanto esto hace que la nanopsicología y sus usos aún no estén en nuestra vida implantada como otras ciencias, pero se espera que lo esté muy pronto.

Para la cuarta hipótesis se entiende que aunque la nanopsicología tendrá mucho impacto, y será de gran ayuda para la mejora de la vida humana, no podemos tratarla como principal solución porque al hablar del comportamiento humano, debemos conocerlo lo máximo posible, y para ello se necesitan muchos puntos de vista, y aunque la nanopsicología sea uno de ellos, no debe ser el único.

Conclusiones

Según todo lo que hemos comentado, no hay duda de que la nanotecnología ya está pasando a ser una protagonista en nuestras vidas, y se abre camino junto a ella la nanopsicología. Con esto no queremos decir que sea imprescindible, pero todo indica que aún no falte mucho tiempo para verla en la práctica diaria. Es decisiva en el campo de las ciencias del comportamiento. Tiene algunos límites, pero esto se podría solucionar con el indiscutible desarrollo que tiene por delante.

La nanopsicología es una ciencia emergente basada en la combinación de la nanotecnología con la psicología, para tratar los procesos psicológicos que ocurren a nivel molecular y celular.

Aunque es un campo relativamente nuevo, esta ciencia va a tener un gran impacto a la hora de tratar los trastornos psicológicos y neurológicos. Se espera que permita el desarrollo de nuevas terapias y tratamientos con una mayor efectividad para trastornos como la depresión, ansiedad, trastorno del espectro autista, trastorno de déficit de atención e hiperactividad, esquizofrenia y la enfermedad de Alzheimer. Además, la

nanotecnología también podría abrir paso para desarrollar dispositivos médicos mas avanzados y precisos para el diagnóstico y monitorización.

Es importante destacar que la nanopsicología es un campo complejo, que aun está evolucionando, y necesita una investigación muy eficaz y una colaboración interdisciplinaria para avanzar de manera responsable y efectiva. Si esto es así será una ciencia que revolucionará la manera en que se comprenden los trastornos psicológicos, y de esta manera mejorar significativamente la vida humana.

Referencias

- Al-Nemrawi N., AbuAlSamen, M. y Alzoubi, H. (2019). Awareness about nanotechnology and its applications in drug industry among pharmacy students. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*. 12(3): 274-280
- Andrieu, B. (2019). L'émersion de l'insoi nanopsychiatrique. *L'évolution psychiatrique*. 84(1): 139–149
- American Psychological Association. (2008) *Applied Experimental and Engineering Psychology*. Recuperado el día 12 de junio de 2023 de <https://www.apa.org/about/division/div21>
- Bioteconología y nanotecnología al instante. (13 de agosto de 2022). *Nanopsicología, un marco de referencia actualizado*. <http://infobiotecnologia.blogspot.com/2022/08/nanopsicologia-un-marco-de-referencia.html>
- D'Andrea, A. (2015). *Nanopsicología*. Se dice ciencia. <https://sediceciencia.wordpress.com/2015/03/28/nanopsicologia/>
- Garifullin R.R. (2006). Nanopsychology as a New Science. *Nanophilosophy as a New Worldview, in Man in the Face of Global Challenge, Philosophical Society of Tatarstan*, pp. 101–106. Kazan (Resumido en <https://psyfactor.org/lib/garifullin10.htm>)

- Harini, K., Girigoswami, K. y Girigoswami, A. (2022). Nanopsychiatry: Engineering of nanoassisted drug delivery systems to formulate antidepressants. *Int. J. Nano Dimens.*, 13 (3): 256-266
- Hulla, J., Sahu, S. y Hayes, A. (2015). Nanotechnology: History and future. *Human and Experimental Toxicology*, 34(12): 1318–1321
- Kamarulzaman, N., Lee, K., Siow, K. y Mokhtar, M. (2020). Public benefit and risk perceptions of nanotechnology development: Psychological and sociological aspects. *Technology in Society* 62
- Khalaf, E., Abood, N., Atta, R., Ramírez-Coronel, A., Alazragi, R., Romero, R., Abed, O., Abosaooda, M., Jalil, A., Mustafa, Y., Narmani, A. y Farhood, B. (2023). Recent progressions in biomedical and pharmaceutical applications of chitosan nanoparticles: A comprehensive review. *International Journal of Biological Macromolecules* 231
- Martins, N.R.B; Erlhagen, W. y Freitas, R.A. Jr. (2016). Human Connectome Mapping and Monitoring Using Neuronanorobots. *Journal of Evolution & Technology*, 26, 1-24.
- Mitra, D., Mitra, D., Bensaad, M., Sinha, S., Pant, K., Pant, M., Priyadarshini, A., Singh, P., Dassamiour, S., Hambaba, L., Panneerselvam, P. y Das Mohapatra, P. (2022). Evolution of bioinformatics and its impact on modern bio-science in the twenty-first century: Special attention to pharmacology, plant science and drug discovery. *Computational Toxicology* 24
- Mobasser, S. y Firoozi, A. (2016). Review of Nanotechnology Applications in Science and Engineering. *J. Civil Eng. Urban.*, 6 (4): 84-93
- Prakash, J., Chaudhury, S., Chatterjee, K. y Srivastava, K. (2022). Nanopsychiatry: is it a big thing in small size? *Industrial Psychiatry Journal*. 31(2):181-182
- Radáic, A. y Martins-de-Souza, D. (2020). The state of the art of nanopsychiatry for schizophrenia diagnostics and treatment. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine* 28
- Romero, K. (2018). El conocimiento de la Farmacología en el profesional de enfermería. *Enfermería Investiga*. 3(2): 95-104

- Rosson, E., Filippis de, R., Croatto, G., Collantoni, E., Pallottino, S., Guinart, D., Brunoni, A., Dell'Osso, B., Pigato, G., Hyde, J., Brandt, V., Cortese, S., Fiedorowicz, J., Petrides, G., Correll, C., y Solmi, M. (2022). Brain stimulation and other biological non-pharmacological interventions in mental disorders: An umbrella review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 139
- Xing, J., Zhang, Y., Xu, S. y Zeng, X. (2022). Nanomaterial assisted diagnosis of dopamine to determine attention deficit hyperactivity disorder - "An issue with Chinese children". *Process Biochemistry* 118: 112-120