

DEL NEURODESARROLLO AL DESARROLLO NEUROPSICOLÓGICO: CONTRIBUCIONES DE LA NEUROCIENCIA DESDE SU INTERFAZ CON LA NEUROPSICOLOGÍA PARA LA COMPRENSIÓN DE MUDANZAS EN LA SALUD DE NIÑOS Y ADOLESCENTES DEBIDO A LA EXPOSICIÓN A MERCURIO Y/O ARSÉNICO

From neurodevelopment to neuropsychological development: contributions of neuroscience from their interface with neuropsychology for understanding changes in the health of children and adolescents due to exposure to mercury and/or arsenic

Do neurodesenvolvimento ao desenvolvimento neuropsicológico: contribuições da neurociência desde sua interface com a neuropsicologia para a compreensão das mudanças na saúde de crianças e adolescentes devido à exposição ao mercúrio e/ou ao arsênico

RECIBIDO: 09 abril 2021

ACEPTADO: 14 septiembre 2021

César Argumedos De la Ossa^a

Andrés Ramírez Giraldo^b

Rauni Roama Alves^c

a. Magíster en Psicología. Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), b. Doctor en Psicología con orientación en Neurociencia Cognitiva. Universidad de la Costa (CUC) c. Doctor en Psicología. Universidade Federal de Rondonópolis (UFR).

RESUMEN

Palabras Clave: neurodesarrollo, desarrollo neuropsicológico, salud, mercurio, arsénico, niños, adolescentes.

Keywords: neurodevelopment, neuropsychological development, health, mercury, arsenic, children, adolescents.

Palavras-chave: neurodesenvolvimento, desenvolvimento neuropsicológico, saúde, mercúrio, arsênico, crianças, adolescentes.

El objetivo del presente artículo es presentar aproximaciones sobre el proceso de desarrollo humano partiendo de algunas reflexiones teóricas desde la psicología del desarrollo con fin de comprender los cambios en el comportamiento y sus implicaciones en la salud desde la neurociencia a partir de su interfaz con la neuropsicología en el contexto del problema relacionado con la exposición por mercurio (Hg) y/o arsénico (As) en niños adolescentes (NEA). En este sentido, se abordan algunos aspectos referidos a los procesos de neurodesarrollo (ND), desarrollo neuropsicológico (DN) y se discuten a partir diferentes estudios empíricos los resultados asociados entre la exposición a estos metales y sus implicaciones sobre el ND y el DN tanto a nivel internacional como en Iberoamérica. Las evidencias sustentan, por una parte, que existe un constructo teórico más amplio que demuestran problemas sobre los procesos de ND y DN produciendo así afectaciones sobre la salud de los NEA, en comparación con un soporte menor de estudios en el que esta asociación no es lo suficientemente significativa. Se necesita entonces, además de seguir ampliando la discusión, generar aportes que permitan métodos de intervención sobre esta problemática debido a los cambios producidos en estos procesos asociados a su desarrollo.

Correspondencia: César Argumedos De la Ossa. Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367– Cuiabá-MT. Instituto de educación. Programa de posgraduación en Psicología (PPGpsi-UFMT). Email: cargumedod@gmail.com



ABSTRACT

The aim of this article is to present approaches to the process of human development based on some theoretical reflections from developmental psychology in order to understand the changes in behavior and their implications in health from neuroscience based on its interface with neuropsychology in the context of the problem related to mercury (Hg) and/or arsenic (As) exposure in adolescent children (NEA). Accordingly, some aspects related to neurodevelopmental processes (ND) and neuropsychological development (DN) are addressed, and the results associated with exposure to these metals and their implications on ND and DN are discussed from different empirical studies both internationally and in Ibero-America. The evidence supports, on the one hand, that there is a broader theoretical construct that demonstrates problems on ND and DN processes thus producing affectations on the health of NEA, in comparison with a smaller support of studies in which this association is not significant enough. It is therefore necessary, in addition to continuing to broaden the discussion, to generate contributions that allow intervention methods on this problem due to the changes produced in these processes associated with their development.

RESUMO

O objetivo deste artigo é apresentar aproximações sobre o processo de desenvolvimento humano baseadas em algumas reflexões teóricas da psicologia do desenvolvimento a fim de compreender as mudanças de comportamento e suas implicações para a saúde desde a neurociência a partir de sua interface com a neuropsicologia no contexto do problema relacionado à exposição ao mercúrio (Hg) e/ou arsênico (As) em crianças adolescentes (NEA). Neste sentido, foram abordados alguns aspectos referentes aos processos de neurodesenvolvimento (ND), desenvolvimento neuropsicológico (DN) e discutem-se a partir de diferentes estudos empíricos os resultados associados entre a exposição a estes metais e suas implicações sobre o ND e DN tanto internacionalmente como na América Latina. A evidência sustenta, por um lado, que existe uma construção teórica mais ampla que demonstra problemas nos processos de ND e DN, produzindo assim efeitos sobre a saúde dos NEA, em comparação com um sustento menor de estudos nos quais essa associação não é suficientemente significativa. É necessário, então, além de continuar ampliando a discussão, gerar contribuições que permitam métodos de intervenção sobre este problema devido às mudanças produzidas nestes processos associados ao seu desenvolvimento.

Algunas anotaciones introductorias sobre el desarrollo humano y psicología del desarrollo

Hablar sobre desarrollo humano (DH) no es una tarea fácil de responder, existen muchas formas de explicar e implementar su concepto, dependiendo del área de conocimiento desde donde se esté abordando. El DH es una variable compleja y con múltiples interacciones entre sí, por tanto, esta requiere la lectura y comprensión que además de tomar en consideración una perspectiva teórica amplia, también de manera contextualizada. Por esta razón, el diálogo entre las ciencias y sus distintas formas de cómo entender los individuos en desarrollo, más que ser contrapuestos entre sí, deberían ser complementarias. Es posible presentar aproximaciones teóricas y metodológicas desde cada área, sin embargo, se hace necesario evitar esos encuadres teóricos totalitarios.

Partiendo de esta reflexión, una de las áreas de conocimiento con un grado de importancia y con grandes aportes sobre la comprensión del DH es la Psicología del Desarrollo Humano (PDH), la cual enfatiza sobre el estudio de los "procesos" de los individuos en constante cambio y movimiento (psicología del moverse) *durante todo el ciclo de la vida* y en el contexto de la interacción de variables de tipo biológicas, cognitivas, afectivas, comportamentales y sociales. En este sentido, esto quiere decir que, la PDH no es aquella que se limita sobre unos aspectos puntuales de fases etarias, sino sobre esos *cambios y movimientos* durante el continuo de su desarrollo y de sus múltiples interacciones (Mota, 2005).

Siguiendo estas ideas, de acuerdo con Desen y Domingues (2005), la PDH es una teoría compleja que no se puede abordar únicamente desde un modelo teórico o solamente tener en cuenta aspectos separados para explicar el comportamiento, sino que en ella, se interrelacionan una serie de elementos con características biológicas (fisiológicos, morfológicos...), sociales (interacción en áreas de ajuste...), culturales (la cultura, el contexto, los valores...), psicológicas (emocionales, cognitivos, comportamentales) que se integran y confluyen entre sí en una dinámica de mudanza y constancia que se repite una y otra vez dentro de un contexto y avance de la historia. Es decir, la persona funciona psicológicamente como un organismo integrado entre genética, social, cultural e históricamente, existiendo una reciprocidad dinámica entre estos elementos.

Del mismo modo, y en concordancia con esta concepción, es preciso decir que la psicología no responde ni explica los fenómenos comportamentales desde esa singularidad de un único constructo teórico, sino que su abordaje se hace desde la integralidad con los aportes de otras ciencias, por tal motivo, de acuerdo con Mota (2005), abordar desarrollo humano desde la perspectiva de la psicología es una tarea que requiere realizar interfaces de conocimientos con áreas como la biología, la educación, la antropología, medicina, la sociología, etc. Por tanto, y entendiendo la complejidad del estudio del DH, sin la intención de pretender ser reduccionistas ni desconocer que para explicar que desarrollo de individuo no es suficiente una sola perspectiva teórica, debido a que, el individuo interactúa de manera dinámica, en el presente artículo se pretende presentar una aproximación que permita comprender cómo se entienden esos cambios desde la perspectiva de las neurociencias partir de su énfasis en la neuropsicología tomando como referencia el contexto de una problemática que ha demostrado generar afectaciones sobre la salud como resultado de la exposición a mercurio y arsénico en población de niños y adolescentes.

De la neurociencia hacia a la neuropsicología: comprendiendo su interfaz

Las neurociencias (NC) abarcan una amplia área de conocimiento, que, en términos generales, se refiere al estudio del sistema nervioso (SN) tanto desde el punto de vista de los seres humanos como de otras especies, los cuales están relacionados no solamente con su organización, sino también el funcionamiento y sus implicaciones para generar conductas (Purves et al., 2007). Históricamente, desde los primeros aportes clásicos en neurociencia hasta su avance en la actualidad, prevalece un hecho muy importante referido a su tarea por comprender los principios biológicos de la mente y el comportamiento tomando como fundamento la investigación de los procesos de desarrollo del SN integrando importantes saberes como: la neuroanatomía (estructura), la neuroquímica (composición química y molecular), la neurofisiología (actividad bioeléctrica funcional) y la neuropsicología (aspectos cognitivos, comportamentales y sociales) (Ascoli & Halavi, 2009).

De esta forma, el abordaje desde las NC se ha convertido en una construcción interdisciplinaria, debido a que integra los fundamentos teóricos de las ciencias tanto de la biología, psicología, medicina y la computación (Redolar, 2002). Las NC se apoyan en el sustento e implementación del método científico con el objetivo de generar conclusiones a través de procesos empíricos de observación y experimentación, con el fin de aportar conclusiones objetivas y sistemáticas desde este cuerpo integrado de conocimientos (Lima & Riechi, 2013).

En este sentido, y en función de este reconocimiento multidisciplinario, es donde la psicología tiene una participación importante a través de un abordaje denominado "Neuropsicología (NP)". De esta forma, se plantea que la neuropsicología es un área de interfaz entre las neurociencias y las ciencias comportamentales que busca comprender la relación entre el sistema nervioso central (SNC) y las diferentes variables que integran el comportamiento humano, estudiando el funcionamiento de diferentes procesos como la percepción, emoción, cognición, lenguaje, memoria, capacidades mentales superiores, entre otras (Pinheiro, 2005).

De acuerdo con el consenso de la comunidad brasilera de investigadores y clínicos en neuropsicología, el objetivo principal es el estudio de la *"relación entre las funciones mentales y SNC, dentro de un universo más amplio, llamado Neurociencias"* (Haase et al., 2012). La NP es un puente muy importante de unión que permite el acercamiento entre un conocimiento especializado desde la biología (a partir de las denominadas ciencias "neuro") y las comportamentales principalmente a través de la ciencia "psico", con un foco específicamente sobre en la triada Cerebro-Mente-Conducta y sus interrelaciones e interconexiones (Tirapu, 2011).

El campo de acción de la neuropsicología estudia este relacionamiento tanto en condiciones normales como patológicas. Su importancia desde el ámbito de la evaluación y la clínica permitirá comprender que los déficits en el funcionamiento de los procesos del comportamiento humano tienen una base fundamental desde la perspectiva de la organización cerebral; por consiguiente, los problemas que afectan el desarrollo funcional serán el resultado de la alteración estructural y organizativa del cerebro (Tirapu, 2011). De este modo, para Haase (2009), la NP tendría propósitos de doble naturaleza: en primer lugar, estudiar el modelo de correlación estructura-función a partir de la localización de lesiones cerebrales; y como segundo, describir el perfil del funcionamiento de los correlatos cerebro-comportamentales alterados o preservado con el fin de orientar en los procesos de rehabilitación. Todas las relaciones entre en las estructuras cerebrales y su funcionamiento son posibles inferirlas en torno al desarrollo de su los componentes fisiológicos, anatómicos y conductuales-comportamentales (Kolb & Fantie, 2009).

Las interrelaciones entre neurociencia e interfaz con la neuropsicología se basa en la idea de explicar que el comportamiento (desde el más simple hasta el más complejo) es producto de la actividad cerebral, y la actividad cerebral a su vez, permite la manifestación de comportamientos como resultado de interconexiones neurales asociadas; por supuesto, sin desconocer que todo esto acontece dentro de contexto llamado ambiente y que éste tiene influencia en la manifestación de conductas a nivel intrapersonal e interpersonal (Kandel et al., 2013). Desde esta perspectiva, se entiende que la mente es un conjunto de funciones que desempeña el cerebro, por lo tanto, toda manifestación comportamental (sea implícita o explícita) tiene como sustento lo que acontece con esas “redes neuronales”. Esta concepción debe ser entendida, no como una supremacía, pero sí como una condición necesaria en su manifestación; tanto así que, en términos de desarrollo de los individuos, cualquier mudanza en el comportamiento será resultado de problemas en la organización y lesiones en el cerebro, es allí donde la neuropsicología aporta sus conocimientos para aproximarse a la comprensión de esos cambios (Mourão et al., 2011).

Generalidades del neurodesarrollo humano desde el fundamento de la neurociencia

El estudio de los procesos de neurodesarrollo (ND) es una tarea fascinante y a la vez compleja abordar, entender el cómo y el cuándo de los orígenes anatómicos y posteriormente funcionales del SN es un área de conocimiento significativamente amplia e interdisciplinaria. El ND no es una fase que se limita solamente a explicar ciertos aspectos puntuales y cronológicos en cuanto al desarrollo posnatal, de la infancia y de cómo se transita hasta la adolescencia, sino que también, están involucrados importantes procesos que acontecen de forma previa, incluso desde el momento del desarrollo embrionario a través de la morfogénesis- especialmente del SN-y de los procesos a nivel prenatal y perinatal.

Para comprender de forma general y panorámica la génesis del ND, se hace necesario iniciar partiendo desde el mismo desarrollo neuro-embriológico. En esta etapa ocurren importantes sucesos que parten desde la especificidad de división celular (a partir de conformación diferenciada del ectodermo) y el posterior desarrollo de fases progresivas secuencialmente organizadas a través de la formación de la placa neuronal, el tubo neural y los procesos especializados de proliferación celular, migración neuronal, sinaptogénesis, mielinización y muerte neuronal programada, los cuales se constituyen en una base fundamental que da origen no solo a la conformación del SN-central y periférico (SNP), sino que también son determinantes para su desarrollo, maduración y posterior funcionamiento durante todo el ciclo de vida (Rohlf, 2016; Olivé, 2001; Rodríguez, 2012).

En cuanto al transcurso normal del ND, una vez acontecido esta serie de cambios en función de la organización del sistema nervioso a nivel intrauterino, es posible observar que el proceso de madurez de sus estructuras se encuentra en concordancia con la cronología esperada, debido a que, entre la 37 y 40 semana gestacional (tanto las del SNC como el SNP) cuentan con la capacidad y están potencialmente listas para responder a la siguiente etapa del desarrollo a nivel postnatal (Oates et al., 2012). En sentido, y siguiendo esa línea de comprensión, una vez acontecido el nacimiento, el cerebro del bebé recién nacido, pesa aproximadamente entre 300 y 350 gramos, éste se caracteriza por un presentar un desarrollo predominantemente inicial de las áreas corticales primarias a nivel sensorial y motor, que luego, posteriormente, con su crecimiento y maduración, van generando procesamientos más complejos en la corteza cerebral, producto de los procesos dendríticos y de mielinización de las vías nerviosas como soporte para la realización de conductas más elaboradas en función de su propio desarrollo (Rosselli, 2003).

A partir de esta fase, los procesos de neurodesarrollo infantil van a requerir una demanda funcional que involucran una serie de aspectos de vital importancia, entre estos están: la función motora (fina y gruesa), la función sensorial-perceptiva (visual, auditivo, tacto, gusto, olfato), la función adaptativa, la función del lenguaje y de la socialización (Gómez-Andrés et al., 2015; Medina-Alba et al., 2015). Para cada uno de estos procesos (considerándolos términos de evaluación de esas condiciones normales), se espera entonces, la presencia de una respuesta probabilística que va a requerir un grado de complejidad diferenciado y que además va a depender de estancia por los diferentes hitos del desarrollo tanto en primera infancia, infancia y niñez (donde ocurre la mayor maduración funcional del cerebro), hasta su paso hacia la adolescencia (Cuervo & Avila, 2010). De esta forma, y entendiendo que, aunque el ND ontogénicamente se sustenta en una base característicamente biológica, es importante mencionar la influencia también de los factores socio-culturales en los que el individuo se desarrolla (Oliveira, 2017).

Ahora bien, una vez conocido algunas de estas aproximaciones generales, se hace necesario comprender entonces que el desajuste y las fallas en la manifestación de esas respuestas probabilísticas son el fundamento principal que conduce luego hacia la aparición de los denominados “*trastornos o problemáticas del neurodesarrollo*”. Todas estas características comportamentales han sido muy bien descrita por el *Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM-V)*

especificando grupos de alteraciones como: los trastornos de desarrollo intelectual (global o discapacidad intelectual), los trastornos de la comunicación (lenguaje, fonología, fluidez, social), los trastornos del espectro autista, el trastorno por déficit de atención/hiperactividad TDAH (hiperactiva/impulsiva, conminada), los trastornos específicos del aprendizaje (lectura, escritura, matemática), los trastornos motores (coordinación, estereotipias y tics) y otros tipos trastornos del neurodesarrollo (especificados y no especificados), los cuales son categorizados desde una comprensión de afectación neurológica dentro del procesos de desarrollo infantil y adolescente (APA, 2013).

Es entonces, en medio de este escenario donde el actuar la neuropsicología como área de conocimiento especializada dentro de las neurociencias tiene una gran importancia (especialmente desde al actuar infanto-juvenil) debido a que puede aportar a través de sus procesos de evaluación una comprensión aproximada del neurodesarrollo-comportamental y de los procesos relacionados con la cognición dentro de un contexto biopsicosocial (Cavalheiro et al., 2011).

Aspectos del proceso de desarrollo neuropsicológico a partir de la neurociencia

De manera panorámica, a medida que avanza el proceso de desarrollo del individuo, son característicos esa serie de cambios a nivel biopsicosocial. Tal como fue esbozado con anterioridad, ese proceso del neurodesarrollo parte de la neurogénesis embrionaria que, inicialmente, se organiza estructuralmente a nivel prenatal, para luego desarrollar una maduración funcional en el periodo postnatal, principalmente, en el periodo de la infancia, y posteriormente algunas otras mudanzas más complejas en la adolescencia (Rosselli et al., 2010). De esta forma, entonces, el proceso de desarrollo neuropsicológico busca comprender y explicar esa serie de cambios funcionales con base a cómo se encuentra organizado las estructuras del SN, en especial, aquellas mayormente involucradas en la ejecución de los comportamientos “esperados o no”, es decir, aquellos relacionados con su manifestación probabilística o no en términos comportamentales (Haase, 2000).

Tomando como referencia ese estudio de la relación cerebro-comportamiento como objeto específico de la neuropsicología, el desarrollo neuropsicológico por tanto involucra, además de aspectos conductuales y emocionales, una serie funciones que presentan un fundamento importantes sobre el procesamientos cognitivo (debido a que toma como referencia las tareas cognitivas) y entre las que son posibles destacar algunos dominios generales como: las habilidades perceptuales (como la viso y audio percepción y construcción),la memoria de trabajo, la atención (visual y auditiva), la memoria (visual y auditiva), el lenguaje (oral y escrito), las funciones ejecutivas, el razonamiento, velocidad de procesamiento(Luria, 1973a, Luria 1973b; Lezak et al., 2004; Portellano, 2005; Rosselli et al., 2010; Ardila & Ostrosky 2012; Lezak, et al., 2012).

De acuerdo con Majovski y Breiger (2009), en el transcurso del desarrollo y transición desde la infancia hasta la adolescencia se deberían reportar importantes procesos neuropsicológicos secuenciales, en los que coinciden gran parte de los autores dentro de la literatura científica, reportando entonces una serie de procesos caracterizados por un desarrollo sensorial-perceptivo, de comunicación o lenguaje, de habilidades motrices (tanto finas como gruesas), de habilidades cognitivas básicas y posteriormente de habilidades cognitivas más complejas. Algunos de esos aspectos importantes en función de la maduración cerebral del desarrollo cognitivo son descritos por estos autores de la siguiente manera:

Entre los 6 y 12 meses la capacidad para producir percepción visual del bebé presenta una equivalencia similar a lo esperado en fases etarias posteriores. A los 2 años existe una integración sensorial-motora en el desarrollo de las habilidades de motricidad fina y gruesa sustentadas ciertas regiones parietal, occipital y subcortical. En el rango entre los 2 y 6 años maduran las estructuras relacionadas con el lenguaje y la comunicación y algunas de las regiones responsables se localizan en regiones temporales y parietales. Entre los 6 y 12 años debido a su maduración, el cerebro se caracteriza por presentar una capacidad formalmente más definida para el procesamiento de la información cognitivas a través de las funciones características (por ejemplo, entre ellas la atención y memoria en sus diferentes clasificaciones y categorías). A partir de los 12 años en adelante, los procesos de mielinización posterior madurez permiten el procesamiento de habilidades cognitivas con mayor grado de complejidad, entre ellas se destacan las funciones ejecutivas (sobre todo etapa de la adolescencia), el razonamiento y una de las estructuras responsables en el desarrollo de estas habilidades es el lóbulo frontal (Majovski & Breiger 2009).

Ahora bien, todo este proceso madurativo a partir de esa serie dominios que el individuo va desarrollando, y que son reflejados a su vez a través de la manifestación de cambios en función de una cronología y de su propia organización neurobiológica, son constituidos en una plataforma importante de asiento para aproximarse a la comprensión del cómo ocurren los procesos de desarrollo neuropsicológico. Por supuesto, todas estas explicaciones se sustentan en el conglomerado de conocimientos aportados por las neurociencias que luego son abordados y profundizados por la especificidad de la neuropsicología. Es por esto que, la conexión entre el neurodesarrollo y el desarrollo neuropsicológico

sobre el continuo desarrollo del individuo son sumamente importante para comprender los procesos de mudanzas comportamentales y de los mecanismos cerebrales involucrados.

Discusión

Afectaciones sobre la salud en los procesos de neurodesarrollo y/o desarrollo neuropsicológico por exposición a mercurio y arsénico: evidencias empíricas asociadas en niños y/o adolescentes

Antes de abordar el contenido de sustento teórico en cuestión, es importante comenzar con algunas reflexiones sobre el concepto de la salud, por tal motivo, es necesario citar la misma definición propuesta por la OMS, y que se entiende como *“Un estado completo bienestar físico, mental y social, y no sólo la ausencia de afecciones enfermedad”* (OMS, 1948). Partiendo de esta caracterización, tal conceptualización se torna en un asunto difícil, debido a su comprensión de “perfecta o completa” parece ser un asunto utópico distante de aplicarse a la realidad. Este punto conjuntivo que describe esa armonía entre las tres variables para dar resultado a lo que pretende llamarse “salud total” es algo con un alto grado de dificultad para su adaptación.

De esta manera, al analizar los elementos de la salud individualmente, es posible encontrar por lo menos tres posibilidades o combinaciones diferentes que podrían estar viviendo los individuos y que reflejan así desintegración entre sus elementos, entre estos: 1-tener buen ajuste desde lo físico, pero presentar problemas en las variables psicológicas y social; 2-tener ajuste psicológico, pero dificultades en las variables social y física; 3- tener ajuste social, pero problemáticas en las variables física y psicológica. Del mismo modo, al agrupar una variable con otra, puede presentarse nuevas combinaciones como: 4- ajuste en las variables física y psicológica, pero presentar problemas en lo social; 5-ajustes en las variables psicológica y social, pero reportar dificultades en lo físico; 6-ajuste en las variables física y social, pero desarrollar problemáticas en lo psicológico. Esa imposibilidad de presentar un ajuste armonizado entre los tres elementos para llegar a ese “estado completo” es lo que hace difícil el cumplimiento de ese desarrollo “normal” de salud en términos de probabilidad (Barreto, 2017).

La comprensión de este concepto en torno a ese “bien estar totalizado” lo convierte en una complejidad debido a que dentro de estas variables se encuentran involucradas a su vez una serie de variables con un espectro amplio de posibilidades, como por ejemplo: en lo referido al componente físico se asocian los aspectos biológico y entre ellos algunos elementos como lo la herencia y/o modificación genética y la propia organización de los sistemas del cuerpo; en la ámbito psicológico se referencian los aspectos relacionados con el comportamiento en función de los elementos cognitivos, emocionales y conductuales; y en la parte social se relacionan con lo sociocultural a través de elementos como familia, educación, cultura, acceso a oportunidades, relaciones interpersonales, relaciones institucionales. Ahora bien, todos estos elementos no solo tienen una relación directa o unidireccional con cada variable de su categoría, sino que también, están presente y circulan dinámica y de manera multidireccional en el contexto de desarrollo de los individuos pudiendo influir o incluso modificar como resultado de los procesos en sus interacciones. (Rojas, 2004; Gómez-Duarte, 2017)

Partiendo de estas reflexiones y del gran panorama que envuelve la salud, en este apartado se pretende entonces presentar ciertos aportes que aproximen a la comprensión sus afectaciones puntualizando sobre la relación entre una problemática específica de contaminación ambiental y sus implicaciones en el desarrollo humano desde una perspectiva “neuro” en niños y adolescentes. De acuerdo con Confaloneri et al. (2002), estos procesos de contaminación ambiental están estrictamente relacionados con las mudanzas globales y uno de los grandes problemas más influyentes es el mal uso de diferentes agentes químicos en las actividades de explotación y aprovechamiento del medio ambiente que luego terminan posteriormente ocasionando diferentes impactos en la salud e incluso la muerte.

En este escenario de contaminación química ambiental y exposición humana son bien conocidos elementos como el mercurio (Hg) y el arsénico (As), los cuales han sido categorizados por la OMS entre los diez productos químicos que más inciden en la aparición problemas de salud, incluso cuando se está expuesto a pequeñas cantidades (OMS, 2017). El Hg es un elemento perteneciente a la familia de los metales pesados y puede estar presente no solamente en forma natural (como elemento químico), sino también, como resultado de la manipulación antropogénica liberado el medio ambiente (Clarkson & Magos, 2006; Driscoll et al., 2013). Los efectos de la exposición del Hg sobre la salud humana inciden en la aparición de neurotoxicidad, debido a que, por sus características lipofílicas y fácil unión a las membranas, causan daños severos sobre

diferentes sistemas de cuerpos, entre éstos el sistema nervioso central (SNC) (Guzzi & La Porta, 2008; Karagas et al., 2012; Woods et al., 2012).

En el contexto de exposición infantil y/o juvenil, la OMS informa que existe una prevalencia entre 1,5 y 17 por cada mil niños que padecen trastornos de tipo cognitivo como resultados de la exposición, constituyéndose a su vez en un peligro que amenaza desde desarrollo intrauterino hasta las siguientes etapas de vida de la niñez y adolescencia (OMS, 2017). El Hg es un elemento que se acumula en el SNC en desarrollo y su exposición ocasiona alteraciones en el tejido nervioso y la organización neural que tiene repercusiones posteriores sobre el aprendizaje y la memorización de la información (Mancini et al., 2009; Mancini, et al., 2015; Counter & Buchanan, 2004)

Tomando como referencia estudios que discuten el impacto en población de los niños y/o adolescentes se ha encontrado que el mercurio produce un retraso en el crecimiento, el neurodesarrollo, en la cognición, el rendimiento escolar, la inteligencia general (CI) y en las habilidades neuromotoras, (Canfield et al., 2003; Chandramouli et al., 2009; Karatela et al., 2017). A estos se le suman también problemas de atención, rendimiento visoespacial, comprensión del lenguaje, funciones ejecutivas (planear respuestas), memoria e inhibición de la atención visual (Passos & Mergler, 2008; Spulber et al., 2010; Vargas & Quiroz, 2011). Todas estas afectaciones no solo se afectan en el momento de la exposición, sino también pueden permanecer en los años siguientes de su desarrollo (González-Estrecha et al., 2014; Boucher et al., 2016).

En lo referido al del As, éste se clasifica como un elemento perteneciente al grupo de los metaloides se produce de manera natural en la corteza terrestre y se encuentra presente tanto en el agua, aire y/o suelo como también debido al resultado de las actividades y procesos debido a la intervención del hombre; el arsénico puede encontrarse en compuestos tanto en su forma inorgánica como orgánica (IARC, 2012). Al igual que el mercurio, la exposición humana al arsénico puede producir efectos neurotóxicos en la salud, debido a su acción desestabilizadora una vez ingresa al cuerpo y al sistema nervioso.

En la infancia, el As puede afectar el desarrollo neuroconductual encontrándose así estar negativamente asociado con un peor rendimiento del coeficiente intelectual de tipo verbal (Tsai et al., 2003; Calderón et al., 2001; Cubillas-Tejeda et al., 2011). Los niveles elevados de arsénico se relacionan significativamente también con un menor rendimiento en las pruebas neuropsicológicas mostrando una clara evidencia de dificultades en la velocidad de la atención, la memoria auditiva a corto plazo, la memoria visual, la destreza manual, la velocidad de procesamiento, la coordinación y control motor fino, en su comparativa con grupos de estudio con exposición moderada y control (Vibol et al., 2015). En las evaluaciones del componente neurocognitivo se ha informado que las exposiciones al arsénico tienen una correlación negativa con el rendimiento de las pruebas asociadas a medir el CI y la percepción visual de los niños (Siripitayakunkit et al., 2001). Así mismo, se ha demostrado también que la exposición subcrónica al As tiene otros efectos sobre la salud de los niños que son similares a los de los adultos (Tsuji et al., 2004).

Del mismo modo, en cuanto a las evidencias empíricas dentro del contexto de Iberoamérica, en los últimos 5 años se han reportado también investigaciones de alto impacto que necesitan ser informadas. Iniciando con el Hg, se han encontrado reportes que han investigado la asociación entre los niveles de exposición y las variables del neurodesarrollo en niños entre los 6 meses y 5 años de edad. Por ejemplo, en el estudio Marques et al. (2014) se ha concluido que la neurotoxicidad producida por metales como el Hg se relaciona con retrasos en el índice de desarrollo mental (IDM) e índice de desarrollo psicomotor (IDP). Seguidamente, en Marqués et al. (2015) se encontró nuevamente que la exposición prenatal al mercurio (MeHg) se asoció significativamente con problemas en el IDM en niños pequeños a la edad de 6 meses en comparación con la edad de 2 años; estos hallazgos indican que puede existir una mayor vulnerabilidad para la afectación a través de la exposición cuando ocurren en fases más tempranas del neurodesarrollo.

Sumado a estos resultados, Ohlander et al. (2016) han encontrado también asociaciones significativas entre la exposición a Hg y menor rendimiento en la función neuromotora reflejada por medio habilidades motoras gruesas adaptativas. Se discute que estas dificultades pueden ser explicadas a partir de la interrelación con el proceso de desarrollo y maduración de la corteza motora y su función para mantener el equilibrio. Así mismo en Llop et al. (2017b) se reportan diferencias de sexo entre las altas concentraciones Hg en la sangre del cordón umbilical y el desarrollo neuropsicológico, indicando un rendimiento menor de los niños en comparación con las niñas, sobre todo en los casos cuyas madres consumieron pescados por lo menos 3 veces por semana.

En cuanto al As, Rodríguez-Barranco et al. (2016) encontraron problemas asociados al deterioro de la función atencional, más específicamente relacionado con los retrasos en el tiempo de reacción y mayor impulsividad, incluso presentándose en niveles de exposición que parecían considerarse seguros. De igual manera en Burgos et al. (2017) se reportó también diferencias en las puntuaciones de CI entre 5 y 10 puntos en los resultados comparativos de los grupos con y sin exposición

en algunos dominios como: el CI verbal, organización perceptual y el cociente de ejecución inteligente; estos resultados fueron mayormente acentuados en la edad adolescente. Posteriormente, en el estudio más reciente como el Freire et al. (2018) indicando también que la exposición conjunta a metales como el Hg y As (juntos) afecta la función motora, la función verbal y la función cognitiva y función ejecutiva, relacionándose así lo hallazgos reportados en otros estudios citados con anterioridad.

Por otro lado, paralelo a estos resultados, se discute también el reporte de otras evidencias en el contexto iberoamericano en donde la exposición al Hg y/o As no estuvieron significativamente asociadas con afectaciones en los procesos de ND o desarrollo NP. Por ejemplo, como en el estudio de Marques et al. (2016) y su comparativa entre la exposición a Hg, las prácticas de parto, el neurodesarrollo infantil y el CI, no se observó ningún efecto adverso asociado sobre las puntuaciones de las variables comparadas.

Otro resultado interesante se reporta en Julvez et al. (2016) quienes informaron que a pesar que el consumo de pescado y mariscos se constituye una de las fuentes principales para la exposición a Hg, en los análisis finales se encontró que la ingesta de estos alimentos por parte de la madre no interfirió en las puntuaciones del rendimiento neuropsicológico infantil (RNI) de sus hijos en años posteriores. A estos se le suma también el de Llop et al. (2017a) quienes a través de investigación básica estudiaron la relación entre los polimorfismos CYP3A y el Hg en sangre, encontrando finalmente que esta variación genética no está asociada con la exposición prenatal a MeHg.

Al igual que en el Hg, en la exposición de As también se han reportado resultados que no indican posibles impactos sobre la salud asociados al desempeño de las funciones objeto de análisis. Así fueron demostrados en el estudio de Forns et al. (2014) los cuales evaluaron el RNI de niños a la edad de 4 años con el objetivo de estudiar su posible relación la exposición prenatal al As; estos hallazgos presentaron que no existe asociación estadísticamente significativa, lo que podría indicar que el As parece no amenazar el desarrollo neuropsicológico, más especialmente cuando esta exposición es relativamente baja. Del mismo modo, en Kordas et al. (2015) se informó además que estas bajas concentraciones de As no tienen implicaciones en el rendimiento cognitivo o del lenguaje dentro del neurodesarrollo de los niños en etapa de escolarización. Finalmente, para Desai et al. (2018) tampoco se encontraron asociaciones entre el reporte de niveles bajo de As y las habilidades cognitivas medidas a través de instrumentos de evaluación como la escala Woodcock-Muñoz.

A partir de todo este escenario discutido, el presente artículo se propone como un aporte relevante que permita acercarse al entendimiento de una temática que, si bien es cierto ha sido muy bien estudiada a partir del reporte de investigaciones a nivel internacional, se hace necesario generar nuevas contribuciones que permitan presentar reportes asociados a partir de las evidencias empíricas disponibles, con el fin de identificar los efectos asociados de la exposición a mercurio en la población de niños y adolescentes desde el contexto y foco investigativo de la neuropsicología, permitiendo así, no solo actualizar el estado del conocimiento sobre la temática en mención, sino también reflexionar sobre importancia de proponer nuevos estudios para abordar esta problemática en el contexto nacional.

La contribución de nuestro trabajo puede ser relevante para sus lectores, debido a que, presenta de manera oportuna, la integración de conceptos y datos empíricos sobre DH, neurodesarrollo, neurociencias-neuropsicología y sus aportes a la comprensión de la exposición al mercurio y arsénico en niños y/o adolescentes. Puede caracterizarse como una revisión de literatura narrativa o también llamada tradicional, cuyo método implica: selección de un tema de revisión; búsqueda de literatura; selección/recopilación, lectura y análisis de literatura; revisión de la escritura y referencias (Denney & Tewksbury, 2013).

De esta forma, se busca demostrar qué es lo más actual en el área hasta el momento de su redacción, lo que ayuda a los lectores a tener acceso a lo ha sido discutido, a consensos científicos, teóricos y prácticos (Winchester & Salji, 2016). Este tipo de investigación posibilita que investigadores, estudiantes de pregrado y profesionales, en especial, se actualicen y generen nuevos conocimientos para las brechas existentes y apliquen los conocimientos ya consolidados en sus acciones. En el presente caso, se espera que los profesionales de la salud y la educación se beneficien de los temas aquí abordados para que puedan conocer y reconocer sus impactos en el DH.

Conclusiones

La psicología del desarrollo humano es la ciencia que permite comprender los procesos de cambios y movimientos durante el continuo de la vida de los individuos considerando su interrelación de los aspectos biológicos, psicológicos y socioculturales para explicar cómo y por qué ocurren esas mudanzas comportamentales, las cuales son importantes para la salud. Las neurociencias son un cuerpo de conocimientos especializados y ampliamente nutrido por diferentes saberes con el fin

generar explicaciones sobre el desarrollo del ser humano en función de su organización neurobiológica. La neuropsicología entonces se constituye entonces en un campo de interfaz de las neurociencias que estudia la relación entre el sistema nervioso y las funciones mentales, más específicamente entre el “cerebro y comportamiento”.

Entender este proceso de desarrollo humano desde una perspectiva de las neurociencias-neuropsicología es un punto focalizado que, desde su abordaje específico, genera importantes contribuciones que permiten aproximaciones hacia la explicación de problemáticas relacionadas con el comportamiento. Comprender el funcionamiento de los procesos cognitivos no es tarea asociada únicamente con la evaluación de una probabilidad funcional desde el presente, sino también involucra aspectos desde la misma ontogénesis, pero para ser más exacto, desde proceso neuroembriológico, pasando por el neurodesarrollo hasta madurar hacia un desarrollo neuropsicológico. Mientras el individuo está en proceso de desarrollo, pueden acontecer múltiples cambios como resultados de sus interacciones con el ambiente, a tal punto de poder convertirse en una variable significativamente determinante.

Una de las principales problemáticas ambientales responsable de mudanzas y alteraciones neurobiológicas dentro del desarrollo humano es la contaminación química por la acción de los metales pesados (como Hg y As), éstos son una fuente principal de exposición que inciden en la aparición de afectaciones hacia la salud, sobre todo en la población de niños y adolescentes. Gran parte de los estudios a nivel internacional reportan problemas asociados al desarrollo infanto-juvenil en tanto en la etapa prenatal como postnatal. En el periodo de la infancia temprana, una de las principales variables afectadas es el neurodesarrollo, especialmente sobre el IDM e IDP; en la infancia intermedia y adolescencia el rango de afectación involucra problemas en el rendimiento de en diferentes componentes de relacionadas con habilidades motoras finas y gruesas, lenguaje, atención, memoria inteligencia y funciones ejecutivas, entre otras.

Con relación al panorama reportados por los últimos estudios empíricos en el contexto de Iberoamérica, se han encontrado también que la mayor parte de las investigaciones tanto la exposición de Hg como al As se asocian con retrasos en el proceso del neurodesarrollo infantil, en la función motora, en la función intelectual, en la organización perceptual y el componente verbal. Del mismo modo, una menor cantidad de estudios han informado que no existe una asociación significativa que entre de alteraciones o modificaciones en el ND, el CI, el RNI o en polimorfismos de CYP3A con los índices de exposición a estos metales, sobre todo, cuando sus niveles son relativamente bajos.

Finalmente, estas aproximaciones para intentar comprender el proceso de desarrollo desde la perspectiva de las ciencias neuro sobre las afectaciones en la salud por exposición a metales pesados necesitan seguir siendo ampliado, no solo con el fin de investigar y describir las variables, sino también generar futuros contribuciones que permitan intervenir sobre esta problemática que está afectando a la población, principalmente con relación al ND y desarrollo NP de los niños y adolescentes.

Declaración de conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés en el presente artículo sometido

Agradecimientos

A CAPES (*Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior*) y a la OEA por la beca de maestría concedida en el marco del convenio OEA/GCUB nº 001/2018 dentro del programa de posgraduación en Psicología (PPGpsi) de la Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

ORCID Autores

César Argumedos De la Ossa ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8664-2690>

Andrés Ramírez Giraldo ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4709-9891>

Rauni Roama Alves ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1982-1488>

REFERENCIAS

- American Psychiatric Association (APA) (2013). Neurodevelopmental Disorders. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders 5th Edition* (pp 69-124). American Psychiatric Association. <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596.dsm01>
- Ardila, A & Ostrosky, F. (2012). Funciones Cognoscitivas Básicas. *Guía para el diagnóstico neuropsicológico* (pp 127-250). http://www.inips.com.mx/archivos/Ardila__Ostrosk_Guia_para_el_Diagnostico_Neuropsicologico.pdf
- Ascoli, G. A., & Halavi, M. (2009). Neuroinformatics. *Encyclopedia of Neuroscience* (pp. 477–484). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008045046-9.00872-X>
- Barreto, M. L. (2017). Desigualdades em Saúde: uma perspectiva global. *Ciência & Saúde Coletiva*, 22(7), 2097–2108. <https://doi.org/10.1590/1413-81232017227.02742017>
- Boucher, O., Muckle, G., Ayotte, P., Dewailly, E., Jacobson, S. W. & Jacobson, J. L. (2016). Altered fine motor function at school age in Inuit children exposed to PCBs, methylmercury, and lead. *Environment International*, 95 (1), 144-151, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.08.010>
- Burgos, S., Tenorio, M., Zapata, P., Cáceres, D. D., Klarian, J., Alvarez, N., Oviedo, R., Torp-campos, R., Claudio, V. & Iglesias, V. (2017). Cognitive performance among cohorts of children exposed to a waste disposal site containing heavy metals in Chile. *International Journal of Environmental Health Research*, 27(2), 117-125. <https://doi.org/10.1080/09603123.2017.1292494>
- Calderón, J., Navarro, M. E., Jimenez-Capdeville, M. E., Santos-Díaz, M. A., Golden, A., Rodríguez-Leyva, I. & Díaz-Barriga, F. (2001). Exposure to Arsenic and Lead and Neuropsychological Development in Mexican Children. *Environmental Research*, 85(2), 69–76. <https://doi.org/10.1006/ENRS.2000.4106>
- Canfield, R. L., Henderson Jr., C. R., Cory-Slechta, D. A., Cox, C., Jusko, T. A. & Lanphear, B.P. (2003). Intellectual impairment in children with blood lead concentrations below 10 microg per deciliter. *The England Journal of Medicine*. 348 (16), 1517–1526. DOI: 10.1056/NEJMoa022848. <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa022848>
- Cavalheiro, H., Pereira, A. de P. & Jaworski, de S. R. (2011). Avaliação e Reabilitação Neuropsicológica: Desenvolvimento Histórico e Perspectivas Atuais. *Interação em Psicologia*, 15(n.esp), 47–58. <http://dx.doi.org/10.5380/psi.v15i0.25373>
- Chandramouli, K., Steer, C., Ellis, M. & Emond, A., (2009). Effects of early childhood lead exposure on academic performance and behavior of school age children. *Archive of Disease in Childhood*. 94 (11), 844–848. <http://dx.doi.org/10.1136/adc.2008.149955>
- Clarkson T.W. & Magos L. (2006). The toxicology of mercury and its chemical compounds. *Critical Reviews in Toxicology*, 36 (8), 609-662. <https://doi.org/10.1080/10408440600845619>
- Confalonieri, U., Chame, M., Miranda-Chaves, S., Krug, T., Nobre, C. Migue, J., Cortesao, J. & Hacon, S. (2002). Mudanças globais e desenvolvimento: importância para a saúde. *Informe epidemiológico*, 11 (3) 139-154. <http://scielo.iec.gov.br/pdf/iesus/v11n3/v11n3a04.pdf>
- Counter, S. A. & Buchanan, L. H. (2004). Mercury exposure in children: A review. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 198 (2), 209-230. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2003.11.032>
- Cubillas-Tejeda, A. C., Torres-Nerio, R., Díaz-Barriga, F., Carrizales-Yáñez, L., Coronado-Salas, C., Nieto Caraveo, L. M. & Barraza Lomelí, L. (2011). Diseño y aplicación de un Programa de Comunicación de Riesgos para la salud ambiental infantil en un sitio contaminado con plomo y arsénico. *Ciencia & Saúde Coletiva*, 16(10), 4115–4126. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232011001100017>
- Cuervo, Á. & Avila, A. (2010). Neuropsicología Infantil del Desarrollo: Detección e Intervención de Trastornos en la Infancia. *Revista Iberoamericana de Psicología: Ciencia y Tecnología*, 3(2), 59–68. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4905141>
- Denney, A. S., & Tewksbury, R. (2013). How to write a literature review. *Journal of criminal justice education*, 24(2), 218-234. <https://doi.org/10.1080/10511253.2012.730617>
- Desai, G., Barg, G., Queirolo, E. I., Vahter, M., Peregalli, F., Mañay, N. & Kordas, K. (2018). A cross-sectional study of general cognitive abilities among uruguayan school children with low-level arsenic exposure, potential effect modification by methylation capacity and dietary folate. *Environmental Research*, 164(6), 124-131. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.02.021>
- Dessen, M. A., & Guedea, M. T. D. (2005). A ciência do desenvolvimento humano: ajustando o foco de análise. *Paidéia (Ribeirão Preto)*, 15(30), 11-20. <https://doi.org/10.1590/S0103-863X2005000100004>
- Driscoll, C. T., Mason, R. P., Chan, H. M., Jacob, D. J. & Pirrone, N. (2013). Mercury as a Global Pollutant: Sources, Pathways, and Effects. *Environmental Science & Technology*, 47(10), 4967–4983. <https://doi.org/10.1021/es305071v>
- Forns, J., Fort, M., Casas, M., Cáceres, A., Guxens, M., Gascon, M., ... & Sunyer, J. (2014). Exposure to metals during pregnancy and neuropsychological development at the age of 4 years. *NeuroToxicology*, 40(1), 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2013.10.006>
- Freire, C., Amaya, E., Gil, F., Fernández, M. F., Murcia, M., Llop, S. & Olea, N. (2018). Prenatal co-exposure to neurotoxic metals and neurodevelopment in preschool children: The environment and childhood (INMA) project. *Science of the Total Environment*, 621(4), 340-351. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.273>
- Gómez-Andrés, D., Pulido-Valdeolivas, I. & Fiz-Pérez, L. (2015). Desarrollo neurológico normal del niño. *Revista Pediátrica Integral*, 19 (9), 640.e1-640.e7. [https://doi.org/10.1016/j.rbases_gomez.pdf\(pediatrerialintegral.es\)](https://doi.org/10.1016/j.rbases_gomez.pdf(pediatrerialintegral.es))
- Gómez-Duarte, I. (2017). Editorial: Salud y sus determinantes: indicadores, medición, abordajes. *Población y Salud en Mesoamérica*, 14(2), 1-4. <https://dx.doi.org/10.15517/psm.v14i2.27503>
- González-Estrecha, M., Boda, A., Rubio, M., Martell, N., Trasobares, E., Ordóñez, J., Guillén, J. & Herráiz, M. & Calle, A. (2014). Efectos sobre la salud del metilmercurio en niños y adultos: estudios nacionales e internacionales. *Nutrición Hospitalaria*, 30 (5), 989-1007. <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2014.30.5.7728>
- Guzzi, G. & La Porta, C. (2008). Molecular mechanisms triggered by mercury. *Toxicology*, 244(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2007.11.002>
- Haase, V. G (2000). Correlação anátomo-clínica em neuropsicologia do desenvolvimento. En V. G. Haase., R. Rothe-Neves., C. Káppler., M. L. Teodoro., G. Wood (Ed). *Psicologia do desenvolvimento: contribuições interdisciplinares* (pp 17-65). Health.
- Haase, V. G. (2009). Neuropsicologia do desenvolvimento: um enfoque clínico. En V. G. Haase, F. O. Ferreira & F. J. Penna (Orgs.) *Aspectos biopsicossociais da saúde na infância e adolescência* (pp. 289-318). Coopmed.
- Haase, V. G., de Salles, J. F., Miranda, M. C., Malloy-Diniz, L., Abreu, N., Argollo, N., ... & Bueno, O. F. A. (2012). Neuropsicologia como ciência interdisciplinar: consenso da comunidade brasileira de pesquisadores/clínicos em Neuropsicologia. *Neuropsicologia Latinoamericana*, 4(4), 1-8. http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?pid=S2075-94792012000400001&script=sci_abstract&tlng=es
- IARC (2012). *Arsenic, metals, fibres and dusts: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*. IARC Library. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100C/mono100C.pdf>
- Julvez, J., Méndez, M., Fernandez-Barres, S., Romaguera, D., Vioque, J., Llop, S. & Sunyer, J. (2016). Maternal consumption of seafood in pregnancy and child neuropsychological development: a longitudinal study based on a population with high consumption levels. *American Journal of Epidemiology*, 183(3), 169–182. <https://doi.org/10.1093/aje/kwv195>
- Kandel, E. R. Kandel, E., Schwartz, J., Jessell, T., Siegelbaum, S. & Hudspeth, A. J. (2013). The Organization of the Central Nervous System. En E. R. Kandel, J. H. Schwartz, T. M. Jessell., S.A Siegelbaum, & A.J. Hudspeth (Eds). *Principles of Neural Sciences* (386-404). McGraw-Hill
- Karagas, M. R., Choi, A. L., Oken, E., Horvat, M., Schoeny, R., Kamai, E., Cowell, W., Grandjean, P. & Korrick, S. (2012). Evidence on the Human Health Effects of Low-Level Methylmercury Exposure. *Environmental Health Perspectives*, 120(6), 799–806. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104494>
- Karatela, S., Paterson, J. & Ward, N. I (2017). Domain specific effects of postnatal toenail methylmercury exposure on child behavior. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 41, (1) 10-15. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.01.003>
- Kolb B. & Fantie B. (1989) Development of the Child's Brain and Behavior. En C.R., Reynolds., E. Fletcher-Janzen (eds) *Handbook of Clinical Child Neuropsychology. Critical Issues in Neuropsychology* (pp. 17–39). Springer, https://doi.org/10.1007/978-1-4899-6807-4_2

- Kordas, K., Ardoino, G., Coffman, D. L., Queirolo, E. I., Ciccariello, D., Mañay, N. & Ettinger, A. S. (2015). Patterns of exposure to multiple metals and associations with neurodevelopment of preschool children from montevideo, uruguay. *Journal of Environmental and Public Health*. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/493471>
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Bigler, E. D. & Tranel, D. (2012). *Neuropsychological assessment* (5th ed.). Oxford University Press.
- Lima, D. S. de, & Riechi, T. I. J. de S. (2013). Epistemología da neuropsicologia: Fundamentos científicos da relação entre cérebro e comportamento. *Psicologia Argumento*, 31(74), 495-505. <https://doi.org/10.7213/psicol.argum.31.074.AO04>
- Llop, S., Tran, V., Ballester, F., Barbone, F., Sofianou-Katsoulis, A., Sunyer, J. & Broberg, K. (2017a). CYP3A genes and the association between prenatal methylmercury exposure and neurodevelopment. *Environment International*, 105(8), 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.04.013>
- Llop, S., Ballester, F., Murcia, M., Forns, J., Tardon, A., Andiarana, A. & López-Espinosa, M. (2017b). Prenatal exposure to mercury and neuropsychological development in young children: The role of fish consumption. *International Journal of Epidemiology*, 46(3), 827-838. <https://doi.org/10.1093/ije/dyw259>
- Luria, A. R. (1973a). Neuropsychological studies in the USSR. A review (part I). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 70(3), 959-964. <https://doi.org/10.1073/pnas.70.3.959>
- Luria, A. R. (1973b). Neuropsychological studies in the USSR. A review (part II). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 70(4), 1278-1283. <https://doi.org/10.1073/pnas.70.4.1278>
- Majovski, L. V. & Breiger, D. (2009). Development of Higher Brain Functions: Birth Through Adolescence. In *Handbook of Clinical Child Neuropsychology* (pp. 67-116). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-78867-8_4
- Mancini, J., Milh, M., Livet, M. & Chabrol, B. (2009). Desarrollo neurológico central. *EMC - Pediatría*, 44(1), 1-10. [https://doi.org/10.1016/S1245-1789\(09\)70205-7](https://doi.org/10.1016/S1245-1789(09)70205-7)
- Mancini, J., Milh, M. & Chabrol, B. (2015). Desarrollo neurológico. *EMC - Pediatría*, 50(2), 1-11. [https://doi.org/10.1016/s1245-1789\(15\)71152-2](https://doi.org/10.1016/s1245-1789(15)71152-2)
- Marques, R. C., Bernardi, J. V. E., Abreu, L. & Dórea, J. G. (2015). Neurodevelopment Outcomes in Children Exposed to Organic Mercury from Multiple Sources in a Tin-Ore Mine Environment in Brazil. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 68(3), 432-441. <https://doi.org/10.1007/s00244-014-0103-x>
- Marques, R. C., Bernardi, J. V. E., Cunha, M. P. L. & Dórea, J. G. (2016). Impact of organic mercury exposure and home delivery on neurodevelopment of Amazonian children. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 219(6), 498-502. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.05.002>
- Marques, R. C., Bernardi, J. V. E., Dórea, J. G., de Fatima-Moreira, M. & Malm, O. (2014). Perinatal multiple exposure to neurotoxic (lead, methylmercury, ethylmercury, and aluminum) substances and neurodevelopment at six and 24 months of age. *Environmental Pollution*, 187, 130-135. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.01.004>
- Medina-Alva, M. del P., Caro-Kahn, I., Muñoz-Huerta, P., Leyva-Sánchez, J., Moreno, C. J. & Vega-Sánchez, S. M. (2015). Neurodesarrollo infantil: características normales y signos de alarma en el niño menor de cinco años. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 32(3), 565-573. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342015000300022&lng=es&tling=pt
- Mota, M. E. (2005). Psicología do Desenvolvimento: uma perspectiva histórica. *Temas Em Psicologia*, 13(2), 105-111. http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-389X2005000200003
- Mourão-Júnior, C. A., Oliveira, A. O. & Faria, E. L. B. (2011). Neurociência cognitiva e desenvolvimento humano. *Temas em Educação e Saúde*, 7, 9-30. <https://periodicos.fclar.unesp.br/tes/article/view/9552/6316>
- Oates, J., Karmiloff, A. & Jhonson, M. (2012). *La primera infancia en Perspectiva: El cerebro en desarrollo*. The Open University. <https://bernardvanleer.org/app/uploads/2016/03/El-cerebro-en-desarrollo-0131.pdf>
- Ohlander, J., Huber, S. M., Schomaker, M., Heumann, C., Schierl, R., Michalke, B., Jenni, O. G., Cafilisch, J., Moraga-Muñoz, D., Von Ehrenstein, O. S. & Radon, K. (2016). Mercury and neuromotor function among children in a rural town in Chile. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 22(1), 27-35. <https://doi.org/10.1080/10773525.2015.1125585>
- Olivé, M. L. P. (2001). Neurobiología del desarrollo temprano. *Contextos Educativos*, 4, 79-94. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=209683>
- Oliveira, G. (2017). Neurodesenvolvimento e comportamento. En *Lições de Pediatría* (vol. I) (pp. 213-214). Imprensa da Universidade de Coimbra. https://doi.org/10.14195/978-989-26-1300-0_12
- OMS (1948) Official Records of the World Health Organization Nº 2. Summary report on proceedings minutes and final acts of the international health conference held in New York from 19 June to 22 July 1946. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/85573/Official_reco rd2_eng.pdf;jsessionid=9372A84EECD1ED6C2FFDA23D8EC01F68?sequence=10MS (31 marzo de 2017). El mercurio y la salud. Datos y cifras. <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>
- OMS (15 febrero de 2018). Arsénico. Datos y cifras. <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- Passos C. & Mergler D. (2008). Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: a review. *Cadernos de Saúde Pública* 24 (4 Supl) 503-520. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2008001600004>
- Pinheiro, M. (2005). Aspectos históricos da neuropsicologia: subsídios para a formação de educadores. *Educar em Revista*, 25, 175-196. <https://doi.org/10.1590/0104-4060.372>
- Portellano, J. A. (2005). *Introducción a la Neuropsicología*. MacGrawHill: Bogotá.
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A., & McNamara, J. O. (2007). Estudio del sistema nervioso y de otros animales. *Neurociencia* (3 ed.) (p12-14) Editorial Médica Panamericana.
- Redolar, D. (2002). Neurociencia: la génesis de un concepto desde un punto de vista multidisciplinar. *Revista de Psiquiatría Facultad de Medicina de Barcelona*, 6 (1), 346-352. <http://pesquisa.bvsalud.org/bvsvs/resource/pt/ibc-20311>
- Rodríguez, F. B. (2012). Desarrollo embrionario del sistema nervioso central y órganos de los sentidos: revisión. *Universitas Odontologica*, 31(66), 125-132. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231224425013>
- Rodríguez-Barranco, M., Gil, F., Hernández, A. F., Alguacil, J., Lorca, A., Mendoza, R., ... & Lacasaña, M. (2016). Postnatal arsenic exposure and attention impairment in school children. *Cortex*, 74(1), 370-382. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.12.018>
- Rohlf, D. P. (2016). Desarrollo del sistema nervioso humano. Perspectiva general del estadio prenatal hasta 2013. *Revista Internacional de Psicología*, 15(01), 1-50. <https://doi.org/10.33670/18181023.v15i01.172>
- Rojas, O. F. (2004). El componente social de la salud pública en el siglo XXI. *Revista Cubana de Salud Pública*, 30(3), 1-7. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662004000300008&lng=es&tling=pt
- Rosselli, M. (2003). Maduración cerebral y desarrollo cognoscitivo. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 1(1), 1-14. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77310104>
- Rosselli, M., Matute, E. & Ardila, A. (2010). Desarrollo cognitivo y maduración cerebral. *Neuropsicología del desarrollo infantil* (pp 15-43). Ed. Manual Moderno S.A.
- Siripitayakunkit, U., Lue, S. & Choprapawon, C. (2001). Possible effects of arsenic on visual perception and visual-motor integration of children in Thailand. En W. R. Chappell, C. O. Charles., O. Abernathy, & R. L. Calderon (Eds.), *Arsenic exposure and health effects IV: proceedings of the Fourth International Conference on Arsenic Exposure and Health Effects*, July 18-22, 2000, (pp. 160-170). Elsevier Science Ltd
- Spulber, S., Rantamaki, T., Nikkila, O., Castren, E., Weihe, P., Grandjean, P. & Ceccatelli, S. (2010). Effects of Maternal Smoking and Exposure to Methylmercury on Brain-Derived Neurotrophic Factor Concentrations in Umbilical Cord Serum. *Toxicological Sciences*, 117(2):263-269. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfq216>

- Tirapu, U. J. (2011). Neuropsicología - neurociencia y las ciencias "PSI." *Cuadernos de Neuropsicología*, 5 (1), 11–24. http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-41232011000100002
- Tsai, S. Y., Chou, H. Y., The, H. W., Chen, C. M. & Chen, C. J. (2003). The Effects of Chronic Arsenic Exposure from Drinking Water on the Neurobehavioral Development in Adolescence. *NeuroToxicology*, 24(4–5), 747–753. [https://doi.org/10.1016/S0161-813X\(03\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0161-813X(03)00029-9)
- Tsuji, J. S., Benson, R., Schoof, R. A. & Hook, G. C. (2004). Health effect levels for risk assessment of childhood exposure to arsenic. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 39(2), 99–110. <https://doi.org/10.1016/J.YRTPH.2003.12.002>
- Vargas, M. L. & Quiroz, C. A. (2011) Alteraciones neuropsicológicas en escolares de un municipio con niveles elevados de vapor de mercurio medioambiental, Colombia, 2008-2009. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 29(4), 461-468. <http://www.redalyc.org/pdf/120/12021522012.pdf>
- Vibol, S., Hashim, J. H. & Sarmani, S. (2015). Neurobehavioral effects of arsenic exposure among secondary school children in the Kandal Province, Cambodia. *Environmental Research*, 137(2), 329–337. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2014.12.001>
- Winchester, C. L., & Salji, M. (2016). *Writing a literature review*. *Journal of Clinical Urology*, 9(5), 308-312. <https://doi.org/10.1177/2051415816650133>
- Woods, J. S., Heyer, N. J., Echavarría, D., Russo, J. E., Martin, M. D., Bernardo, M. F., Luis, H., Vaz, L. & Farin F. M. (2012). Modification of neurobehavioral effects of mercury by a genetic polymorphism of coproporphyrinogen oxidase in children. *Neurotoxicology and Teratology*, 35 (5), 513-521. <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2012.06.004>.