

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO

FACULTAD DE SOCIEDAD, CULTURA Y CREATIVIDAD

ESPECIALIZACIÓN EN NEUROPSICOLOGÍA ESCOLAR

‘EL PROCESO DE APRENDIZAJE DESDE LA NEUROCIENCIA COGNITIVA’

REVISIÓN DOCUMENTAL DE LITERATURA COMO REQUISITO PARA OPTAR

POR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA DE NEUROPSICOLOGÍA ESCOLAR

PRESENTADO POR:

Ariza Ariza Nidia Paola

Contreras Cardoso Jaime Andrés

Cubillos Díaz María del Pilar

ASESORA:

LAURA MILENA SEGOVIA NIETO

Febrero de 2021

Resumen

En el presente artículo se muestra una revisión literaria de algunos aportes que ha tenido la neurociencia cognitiva a la educación, mostrando hallazgos que buscan facilitar el aprendizaje en el aula como fuera de ella. En especial en cómo estos han aportado con propuestas académicas basadas en la evidencia dada en investigaciones científicas.

Partimos del interés de la comunidad académica por buscar una relación entre estas dos áreas: neurociencia cognitiva y educación, pasando a mostrar aportes generales de neurociencia cognitiva en el proceso de aprendizaje en general, para luego centrarnos en cómo intervenir los hábitos de los estudiantes y en aportes de la neurociencia cognitiva la lectura y las matemáticas. Lo que nos lleva a reflexionar sobre los puntos de encuentro entre la neurociencia cognitiva y la educación.

Palabras claves: neuroeducación, neurociencia en el aula, neurociencia cognitiva, educación, métodos de aprendizaje, enseñanza, hábitos.

Introducción

Durante varias décadas, el estudio del cerebro y su funcionamiento en los procesos de aprendizaje ha sido tema de fascinación por docentes a nivel mundial. Este interés se ha concretizado en preguntas alrededor de cómo los conocimientos sobre el cerebro pueden ayudarnos a generar mejores procesos de aprendizaje. Desde allí se han presentado inquietudes e hipótesis centradas en cómo los estudios de la neurociencia cognitiva pueden cambiar la educación, buscando refinar las diferentes teorías de aprendizaje sobre las cuales se basan los proyectos educativos, o establecer propuestas de intervención académica. Es así como, en la búsqueda de respuestas, es necesario ir cerrando esa brecha existente entre el conocimiento de la neurociencia y la pedagogía.

Esta unión, a primera vista tan obvia, no ha resultado del todo fácil. Desde diferentes frentes, Benarós & cols (2010) llevan estudiando durante más de 25 años, cómo el conocimiento de los procesos cognitivos y emocionales, podrían aplicarse a los procesos de enseñanza y aprendizaje dentro del desarrollo del currículo. Así mismo, Bruer (1997) se refiere a la posibilidad de conexión como “un puente demasiado lejos”, observando esta posible relación entre educación y el estudio del cerebro, como una opción difícil de establecer. Parte de sus razones para esa afirmación corresponden al análisis sobre los resultados, interpretaciones y conclusiones de las aplicaciones en el aula basadas en la neurociencia, en los que pudo observar que muchas de las intervenciones carecían de una evidencia científica y, resultaban erróneas al ser construidas a partir de sobregeneralizaciones de lo que se sabía sobre el cerebro (Hirs-Pasek & Bruer, 2007).

Tratando de subsanar dicha problemática, Bruer (1997) propone establecer una relación entre la educación y la psicología cognitiva, y una segunda relación entre la psicología cognitiva y la neurociencia. En otras palabras, se establece como punto de contacto la psicología cognitiva, siendo el procedimiento asociar primero estructuras neuronales con funciones cognitivas y luego relacionar estas funciones con metas de enseñanza y aprendizaje. Así es cómo, en el Congreso de Santiago de Chile (2006), un grupo de científicos de diferentes países de América y Europa redactaron la Declaración de Chile en la que destacan como aporte de la neurociencia a la educación el conocimiento sobre desarrollo infantil y el aprendizaje temprano, los beneficios de incorporar los aprendizajes en contextos sociales y significativos, y la gran importancia que tiene el aprendizaje activo en vez del pasivo (Hirs-Pasek & Bruer, 2007). A pesar del avance de la línea a seguir, era claro que la ciencia del cerebro aún no encontraba métodos refinados para analizar resultados del aula en base en los procesos neuronales. Terigi (2016) manifestó que, aunque la investigación contemporánea en neurociencia ofrece varios elementos que permiten establecer una relación con la educación, se debe cuestionar la idea que tienen los docentes acerca de relación entre la cantidad de sinapsis que se puede dar en el cerebro y la inteligencia de las personas, y la idea que el envejecimiento del cerebro solo se da mediante el proceso de muerte neuronal.

Estos debates, que dan un punto de partida a establecer las relaciones y brechas entre la educación y la neurociencia, tienen dos puntos en común: *a)* socializar algunos hallazgos de la neurociencia cognitiva que permitan aportar algunos elementos a los procesos educativos, bien sea de forma directa o por medio de la psicología cognitiva y; *b)* el afán por establecer prácticas de aula centradas en la neurociencia, ha llevado a generar mitos

sobre el cerebro los cuales están basados en un conocimiento generalizado, y por tanto carecen de evidencia.

Aunque las posturas anteriores muestran un punto de vista escéptico a las relaciones estrechas entre la neurociencia y la educación, durante los últimos años esta inquietud de querer establecer estos puentes ha tomado más fuerza, buscando dar respuesta de diferentes estudios cognitivos en asociaciones con el desarrollo de distintas áreas corticales (Benarós, 2010). Algunos de los exponentes de esas relaciones son Goswami (2004) y Ansari & Coch (2006) sugiriendo la integración de forma directa entre la neurociencia cognitiva y la educación. Goswami (2004) expone como la comprensión de procesos complejos como el habla, el lenguaje, el pensamiento, el razonamiento, la lectura y las matemáticas, que se ha logrado por medio de la neuroimagen, abre la posibilidad a realizar implementaciones en cuestiones educativas. Lo cual es coherente con la postura de Ansari & Coch (2006), Marina (2012), y Falco & Kuz (2016) quienes parten de diferentes estudios del cerebro y de los diálogos que se han dado entre educadores, investigadores y profesionales-científicos, para construir múltiples puentes que permiten establecer conexiones entre educación y neurociencia cognitiva. Estas posturas aportan de forma directa a los proyectos educativos y la formación de profesores a partir de sugerir la capacitación docente con propuestas de neurocientíficos cognitivos, buscando la implementación de conceptos, metodologías y cambios en las propuestas de aula, que mejoren los procesos de aprendizaje.

Este debate por buscar relaciones entre la neurociencia cognitiva y los procesos educativos se han dado en ambas líneas, encontrando una preocupación por algunos docentes y directivos de instituciones educativas por hacer cambios en los currículos escolares, buscando que estos respondan a las necesidades actuales de los estudiantes en relación con

las exigencias del mundo actual. Como lo menciona De Zubiria (2013) se debe proponer escuelas que sean flexibles y creativas, y de esta forma se ajusten a una vida cambiante, dejando de lado los currículos tradicionales que se caracterizaban por ser inflexibles, descontextualizados y rutinarios. Desde aquí buscar currículos que permitan a los estudiantes aprender a pensar desde diferentes contextos desde las bases neurocientíficas que el cerebro aprende por medio de la integración de información de los diferentes sentidos (Llinás, 1996).

Es así como se pretende establecer puentes o relaciones entre la Neurociencia a la educación, y la necesidad de proponer currículos escolares que responda las características actuales de los estudiantes y de la sociedad, a través de identificar cómo la neurociencia cognitiva ha realizado propuestas de intervención basada en sus investigaciones, dando respuesta a la siguiente pregunta:

¿Cuáles han sido los aportes de la neurociencia cognitiva para mejorar el proceso de aprendizaje, desde la relación entre neurociencia cognitiva y la educación?

Objetivo general

Identificar los aportes que ha realizado la neurociencia cognitiva a la educación, alrededor del proceso de aprendizaje.

Objetivos específicos

1. Documentar los diferentes intentos por relacionar la neurociencia cognitiva y la educación.
2. Identificar los aportes de la neurociencia cognitiva en el proceso de aprendizaje.

- 3.** Identificar propuestas de intervención de la neurociencia cognitiva en la lectura y las matemáticas.

Marco de referencia

Ha sido grande el debate que se ha dado en busca de encontrar relaciones entre neurociencia cognitiva y educación: desde lo científico, lo psicológico y lo educativo. En él, se han encontrado diferentes líneas de trabajo entre los estudios y propuestas de la neurociencia cognitiva, lo cual ha permitido establecer puentes directos o indirectos entre estos dos campos de estudio.

Entre los principales expositores sobre la influencia de la neurociencia cognitiva en la educación encontramos a Ortiz (2019) quien nos muestra cómo la neurociencia ha dedicado esfuerzo y atención a realizar análisis entre el conocimiento de la educación y la medicina, o de la educación y la tecnología, buscando con ello algunas pistas que permitan guiar a los docentes para mejorar la práctica pedagógica en el aula, y proponer modelos de educación basados en las relaciones encontradas y los fundamentos educativos. También, se encuentran aportes de Mora (2013; 2016) quien presenta la neuroeducación como ese puente relacional que integra algunas funciones cognitivas y su desarrollo en las estructuras cerebrales, y cómo esta puede ponerse en práctica en las aulas de clase, y por tanto en los procesos educativos en general. Planteando la neuroeducación como un campo de trabajo sobre la educación con una visión basada en el funcionamiento del cerebro. La propuesta de Mora se centra en la importancia de la emoción, la curiosidad, y la atención para lograr aprendizajes adecuados; explicando las repercusiones en el cerebro a nivel físico y químico cuando se presentan estos elementos en el proceso de aprendizaje. Geake & Cooper (2003) describen un ejercicio de neuroplasticidad, generando cambios cerebrales que tienen directa influencia en el campo del aprendizaje, los cuales se deben revisar con cautela para poder identificar con claridad los aportes a la solución a problemas educativos hasta ahora

insolubles. Desde aquí podemos sentar las bases para poder empezar a estructurar propuestas o modelos de aprendizaje basado en el cerebro y que permeen poco a poco el aula de clase. Propuestas que pueden llegar a caracterizarse por responder a las necesidades y el desarrollo actual de los educandos.

Frente a los procesos que ocurren en el cerebro, Thomas & cols (2019) identifican el proceso de aprendizaje a partir de 8 sistemas que interactúan en momentos específicos del proceso de aprendizaje en el cerebro:

1. Memorizar momentos específicos: este sistema se encarga de producir memoria episódica o autobiográfica.
2. La creación de asociaciones entre información perceptual y respuestas motoras: Sistema encargado de nuestra capacidad para detectar patrones espaciales y temporales complejos y la creación de conceptos.
3. La creación de asociaciones inconscientes que involucran estructuras emocionales (límbicas) dentro del cerebro; este sistema está relacionado con la asociación entre estímulos y respuesta lo que usualmente se conoce como “condicionamiento clásico”.
4. Para aprender a controlar el contenido específico existe un sistema en la corteza posterior para que este tipo de contenido se active en contextos específicos.
5. El sistema basado en recompensas que se activa cuando realizamos acciones buenas y evitamos las malas; se activa cuando queremos obtener algo.
6. El sistema de aprendizaje procesal se activa cuando aprendemos actividades que realizamos de forma frecuente y de forma inconscientemente (atarnos los

zapatos, leer, etc). Estas son actividades que ya realizamos de forma automática, pero nos toma decenas o incluso cientos de horas de práctica.

7. En este sistema el cerebro usa su capacidad de crear conexiones entre diferentes circuitos para percibir y entender a otras personas, es decir que algunas habilidades las aprendemos con solo observar a los demás..

8. En este sistema el cerebro usa su capacidad de crear conexiones entre diferentes circuitos y el uso del lenguaje para construir nuevos conceptos y planes; con este sistema aprendemos habilidades a través de la instrucción.

Entre más uso hacemos de estos sistemas de aprendizaje, más automáticos se vuelven y con más facilidad adquirimos conocimientos y habilidades. Así mismo, entre menos los usemos los diferentes conocimientos y habilidades se van perdiendo en el tiempo No debemos olvidar que estos sistemas funcionan de manera integral, por lo que responden en diferente situaciones y a diferentes entrenamientos en el tiempo y son modulados y estimulados por otros factores como la motivación y la emoción (Thomas & cols, 2019).

Adicional a los 8 sistemas anteriores, Dehaene (2020) integra la perspectiva histórica, genética, fisiológica y cognitiva, que aterriza en cuatro pilares de aprendizaje: la atención, el compromiso activo o curiosidad, la detección y corrección de errores y la consolidación . Proponiendo estos pilares como aportes de la neurociencia para mejorar las experiencias de aprendizaje y enseñanza en el aula de clase; pilares que surgen como las consecuencias prácticas de sus investigaciones de los últimos años.

Otro aporte de la neurociencia cognitiva al estudio del proceso del aprendizaje es la importancia de tener hábitos saludables, los cuales se describirán a continuación.

Hábitos que impactan el rendimiento escolar

Los diferentes hábitos que se construyen en el hogar se llegan a extender hasta el aula de clase, implicando el estilo de vida que llevan los estudiantes en el ambiente social y en el familiar. Como lo exponen Lo & Col. (2016) y Maya & Rivero (2010) el rendimiento cognitivo del estudiante mejorará si se optimiza aspectos como la salud, el ejercicio físico, la alimentación y el sueño entre otros. También, se ha encontrado que factores ambientales como la polución y el ruido son influyentes en el rendimiento cognitivo; si las condiciones ambientales y personales son optimizadas el estudiante debería llegar al aula de clases en buenas condiciones para aprender. Un ejemplo de esto es que la cohibición del sueño en estudiantes tiene un impacto en el rendimiento cognitivo, generando fallas de sistemas atencionales, destrezas motoras, los diferentes tipos de memoria, planificación, ejecución de tareas, toma de decisiones y debilidad en el sistema inmune, produciendo así en el estudiante irritación y poca productividad durante la jornada escolar (Lo & col, 2016; Fernández-Mendoza & Puhl, 2014; García-Borreguero, 2016; Rasch & Born, 2013). Los niños en edad preescolar, mientras menos horas de sueño tengan, se verá afectada de forma significativa la salud y el desarrollo cognitivo, repercutiendo en todos los procesos involucrados en el aprendizaje (Del Valle, 2011).

La importancia del sueño en el aprendizaje es reforzada por diferentes investigadores (Guillen (2015), Maya & Rivero (2010), Fernández-Mendoza & Puhl (2014) & Acosta (2019)) quienes exponen que el dormir el tiempo adecuado permite consolidar la memoria, la comprensión de nuevos conocimientos, y favorece la neuroplasticidad en el fortalecimiento de circuitos cerebrales. Esto dado que durante el sueño se activan regiones utilizadas para llevar a cabo funciones cerebrales que permiten fortalecer la memoria, la

atención y la comprensión durante la vigilia. Existen diferentes investigaciones científicas que demuestran que el sueño REM permite mejorar la memoria procedimental y las habilidades cognitivas, mientras que por otro lado el sueño NREM, beneficia la memoria declarativa. (Born & Wilhelm, 2012).

Desde los hallazgos encontrados por Poe, Walsh, & Bjorness (2014) es importante tener presente que a los niños les da sueño después de cumplir sus compromisos escolares, ya que se realiza un esfuerzo en memoria al realizar ejercicios matemáticos, largas lecturas, y ensayos que evoquen el recuerdo de una lectura. Por ello, se debe dar espacio para recompensar y descansar, buscando así activar nuevamente la memoria procedimental y las habilidades cognitivas. Además, se resalta que los niños tengan una hora fija y adecuada a la hora de dormir, buscando cubrir el tiempo de sueño según la edad.

Ruiz & col (2017) & Guillen (2015) afirman que el ejercicio físico intenso tiene un rol importante en la disminución del estrés y en la mejora del rendimiento cognitivo, la alerta, la atención y la motivación de los estudiantes, al generar neurotransmisores como la serotonina, noradrenalina, y dopamina. . Por eso se recomienda su práctica durante la jornada escolar típica. El rol del ejercicio en el rendimiento cognitivo es objeto de diferentes estudios enfocados no solo en reducir el estrés, sino también en mejorar habilidades ejecutivas y la regulación emocional. Por ello, se sugiere introducir prácticas de ejercicio físico como en la rutina diaria escolar o como una clase básica dentro de los programas de estudio (Ruiz & col, 2017, & Guillen 2015).

Por último, el correcto funcionamiento también se encuentra influenciado por los ácidos grasos, agua y glucosa. Es por ello importante incluir en la alimentación diaria una

adecuada hidratación, ácidos grasos como el omega 3 y 6, y glucosa, aspectos importantes para el desarrollo del cerebro y por tanto en el proceso de aprendizaje. Una nutrición adecuada y un rendimiento cognitivo adecuado están fuertemente relacionados durante toda la vida, es decir que una nutrición inadecuada causa bajos niveles de atención, concentración, bajo rendimiento cognitivo en edades tempranas y en la vejez. (Banjari & cols, 2014, Maya & Rivero, 2010).

Cuando hablamos de aprendizaje, Banjari & Cols (2012) aseguran que los neurotransmisores que se ven afectados tanto en su nivel de actividad como de producción en el cerebro por una mala alimentación son: acetilcolina, glutamato, ácido gamma-aminobutírico, glicina, serotonina, dopamina, norepinefrina, epinefrina e histamina. La actividad de estos neurotransmisores en el aprendizaje depende directamente de los componentes nutricionales en nuestra dieta (Grasas insaturadas, carbohidratos, aminoácidos, ácidos grasos) y un desequilibrio o cambio en los niveles nutricionales de nuestra dieta afecta significativamente nuestro comportamiento, sueño, niveles de energía y, por consiguiente, nuestro rendimiento cognitivo, en especial la atención y la memoria. (Gustafson, 2008, Maya & Rivero, 2010)

Para lograr este equilibrio de nutrientes en nuestro cuerpo, Banjari (2012) propone que desde edades tempranas se use la dieta mediterránea la cual consiste en el consumo de frutas, cereales, verduras, pescado, consumo de carnes variadas con alto contenido en fibra, vitamina, minerales y grasas insaturadas y usando como fuente principal de grasa saturada el aceite de oliva. Desde aquí es importante proponer siempre un buen desayuno que contenga un aporte de glucosa adecuado. Una alimentación saludable mezclada con

actividad física intensa constante y un ciclo adecuado del sueño muestra inmenso potencial en el mantenimiento adecuado del cerebro y en su funcionamiento.

Propuestas de intervención en asignaturas y en el aula, a partir de la investigación en la neurociencia cognitiva

Otros aportes de la neurociencia cognitiva a la educación son propuestas en el proceso de aprendizaje de diferentes asignaturas, donde se exponen estrategias, intervenciones de aula, recomendaciones y hábitos basados en evidencias científicas, como se verá a continuación.

Neurociencia cognitiva y lectura

Se encuentra variedad de trabajos relacionados con el desarrollo de habilidades de lenguaje donde se proponen las bases para que intervenga estos procesos de una mejor forma, logrando así un desarrollo adecuado. Dichos trabajos se han centrado en el desarrollo fonológico, la comprensión y expresión del lenguaje (Dehaene, 2014, Mora, 2020, Maluf & Sargiani, 2013). Aunque la mayoría de los trabajos han surgido desde la psicología cognitiva o desde estudios en fonoaudiología. Desde la neurociencia cognitiva hemos identificado dos propuestas en los últimos 10 años que dan bases de cómo y en qué momento se debería dar el proceso de lectura en los niños, teniendo presente el desarrollo del cerebro y el recorrido a seguir para lograr un buen proceso.

Dehaene (2014, 2015) & Mora (2020) convergen que el proceso de lectura no es un proceso natural o espontáneo como el habla, sino es resultado de un invento o necesidad cultural muy reciente, y que ha llevado a que el cerebro deba crear nuevos circuitos neuronales que se especialicen en la lectura. Algunos cambios identificados en el cerebro para el proceso de la lectura se sitúan en el hemisferio izquierdo dentro del sistema ventral, en la región

denominada área visual formadora de palabras (VWFA) o caja de letras- región que incrementa su respuesta neuronal a medida que se fortalece el aprendizaje y el ejercicio de la lectura-.

Otro punto de análisis es la edad más conveniente para el principio de la enseñanza de la lectura. El cerebro se encuentra preparado para el ejercicio de la lectura entre los 5 a los 6 años., ya que se ha observado que el proceso de mielinización de las zonas involucradas, y la transformación de la caja de letras se encuentra lista alrededor de esta edad (Dehaene, 2014, Mora, 2020). Frente a esto, Mora (2020) afirma que las áreas involucradas en este proceso tienen diferentes tiempos de maduración para la organización sináptica y la mielinización de los axones, tiempo que puede variar dependiendo del niño. En las áreas involucradas, el proceso de mielinización no termina sino hasta los 7 años de edad, salvo los casos que presente disfunciones cerebrales. Por lo que se propone iniciar el proceso de lectura a los 5 años e irlo desarrollando hasta que el cerebro se encuentre maduro. O, como establece Dehaene (2015), seguir el ejercicio de la mayoría de los países, donde la lectura se inicia a los 6 años, momento en el que el niño tiene una fluidez completa en su habla.

Un tercer punto de convergencia entre las propuestas lo encontramos en la importancia que tiene la atención, la memoria, el entrenamiento explícito y consciente, y la emoción en lo que se lee. Mora (2020) nos muestra como el recorrido cerebral que se debe hacer para realizar la lectura involucra diferentes estructuras del cerebro límbico que tiene funciones emocionales, y desde allí establece como la emoción que genera el proceso de leer puede desarrollar mejores lectores, ya que enriquece de significado lo que se lee. Mientras que Dehaene (2014) puntualiza en la importancia que tiene el ejercicio explícito y consciente al leer, buscando un ejercicio de automatización la lectura para que el niño centre su atención

en lo que lee y de esta forma otra de nuevos significados, en contexto, cada palabra y frase, permitiendo así llegar a aprender nuevas cosas para su propia diversión.

Desde los puntos identificados anteriormente, Dahan (2015) hace una propuesta para el aprendizaje de la lectura partiendo que para leer en español la correspondencia entre grafema y fonema permite la lectura de todas las palabras y pseudopalabras. Su propuesta de trabajo parte de los siguientes elementos claves para desarrollar el proceso: atención selectiva, movimiento de los ojos, memoria, revisado de las letras de izquierda a derecha, recordar correspondencia con los fonemas, ensamblar los fonemas en la memoria para formar las palabras, lenguaje hablado y la visualización. Se estructura en 7 principios para lograr buenos lectores, los cuales inician por la importancia de enseñar al niño como las palabras están formadas por letras que se van ensamblando para darle sentido al texto, pasando por la importancia de la motivación de la lectura, la progresión de fonemas o control de símbolos, la participación activa del niño en medio de la relación entre lectura y escritura, y la buena elección de ejemplos, los cuales deben ser claros y ricos (CITA). Finaliza destacando que el aprendizaje de la lectura no se debe dar de forma mecánica, sino que debe proponer desafíos y sorpresas a los estudiantes.

Desde esta propuesta se reafirma la efectividad del método fonético para el proceso de aprendizaje de la lectura, con algunas modificaciones en el orden de introducción de las consonantes basada en la evidencia científica del funcionamiento del cerebro.

Neurociencias cognitivas y matemáticas (representaciones simbólicas y no simbólicas)

Los niños tienen una habilidad natural para manipular y entender los números. Esta habilidad se vuelve primordial y esencial para desarrollar el pensamiento numérico (Vant'Noordende & cols, 2020), siempre que estas habilidades de base no estén afectadas por ningún factor interno o externo. Cuando el niño joven empieza la escuela ya se encontrará equipado con un conocimiento suficiente para empezar su aprendizaje en matemáticas (Fritz & Col, 2010). Sin embargo, para el aprendizaje de diferentes áreas académicas como matemáticas, álgebra, cálculo, etc., es necesario el uso del modelo de triple código, el cual asume que los números se procesan en un código análogo, arábigo y un formato verbal. Para Vant'Noordende & cols (2020) el código análogo es la habilidad que adquirimos para manipular cantidades “no-simbólicas”, por ejemplo un grupo de objetos; el arábigo y el formato verbal es la habilidad adquirida para leer cantidades en sus diferentes expresiones “simbólicas”, es decir, desde las palabras numéricas (ejemplo: cuatro, cinco, seis) hasta los números arábigos (ejemplo: 4 - 5 - 6). Cabe aclarar que, a pesar de la habilidad natural de los niños para manipular y entender los números, el triple código o las representaciones simbólicas - no simbólicas no vienen integradas en el niño pequeño y es esencial que aprendan estas representaciones lo más pronto posible en el proceso de enseñanza de las matemáticas para tener un buen entendimiento y aprendizaje numérico, (Branker & cols, 2014).

Desde la neurociencia cognitiva, se hace un esfuerzo sustancial para entender el rol fundamental del desarrollo de las habilidades simbólicas y no simbólicas en la adquisición de habilidades formales para las matemáticas (Howards, 2004). Por ejemplo, por medio de estudios de neuroimagen o imágenes cerebrales a niños entre los 5 y 10 años. Dehaene

(2016) y Dehaene & Cols (1999) vieron cómo se activaba una zona específica del lóbulo parietal cuando se les pedía que calculan aproximaciones haciendo uso del sistema no simbólico y cuando se les solicitaba cambiar al sistema simbólico para calcular las mismas cantidades se veía un mayor consumo de energía en todo el lóbulo parietal. Cuando se integran estos dos sistemas para la resolución de diferentes operaciones matemáticas básicas se ve una mayor actividad cerebral en la región surco parietal y en la región inferior del lóbulo parietal (Fernandez, 2010).

Frente a la estimulación temprana de las habilidades matemáticas se encuentran recursos a base de tecnología y no-tecnológicos. The number race es un videojuego que busca estimular los vínculos entre las representaciones simbólicas y no-simbólicas de los números, el entendimiento de procesos de adición y sustracción básicos y la relación entre números y ubicación espacial. (Wilson, 2006) El juego consiste en conducir un vehículo con las flechas del teclado durante 20 millas evitando carros y recogiendo los números que la regla solicite, ejemplo: Iguales a 10, menores a 10, sumados den 50, etc. Para comprobar la efectividad de esta herramienta, Räsänen & cols (2009) decidieron aplicar la con una intensidad de 10 a 15 minutos diarios por un periodo de tres semanas en donde los sujetos de prueba eran 30 niños con bajas habilidades numéricas. El resultado fue una mejora en el reconocimiento de números arábigos (Simbólicos) y en operaciones matemáticas básicas pero no en otras áreas u operaciones matemáticas que conlleva más dificultad es decir, el objetivo para el que fue diseñado este videojuego se cumple.

Otra herramienta tecnológica es un videojuego llamado “Rescue Calcularis” diseñado por Kucian & cols. (2011) Esta herramienta consiste en aterrizar una nave espacial en una línea con un número específico. este número se obtiene completando operaciones matemáticas

básicas o por un número que da el mismo juego. Según Kucian & cols. (2011), el juego fue creado para ayudar al desarrollo de habilidades matemáticas simbólicas y no simbólicas en niños con diagnóstico de discalculia. Para probar la efectividad de su juego Lucian & cols (2011) hicieron un programa de intervención de 5 semanas con 16 niños (entre los 8 y 10 años) con diagnóstico de discalculia y 16 niños sin diagnóstico quienes debían jugar en sus casas 15 minutos todos los días; los resultados fueron evaluados usando diferentes tests matemáticos, comportamentales y estudios de neuroimagen. Ambos grupos mostraron una mejora en la resolución de operaciones matemáticas básicas, ubicación espacial de los números y representaciones simbólicas de los mismos, y la neuroimagen mostró incremento de actividad en áreas específicas del cerebro.

No todo el mundo tiene la oportunidad de tener acceso a las herramientas tecnológicas por muchos factores sociales, económicos entre otros. Por esto, investigadores se han dedicado a usar herramientas no tecnológicas para estimular estos procesos simbólicos y no-simbólicos. Gabriel & Cols. (2012) enseñaron a representar y manipular fracciones a niños entre los 9 y 10 años con discos pequeños de madera que representan la fracción y una baraja de cartas clásica (52 cartas) representando la unidad, este proceso se realizó durante 30 minutos, 2 veces a la semana durante 10 semanas; al seguir las instrucciones del juego y de las fracciones los niños demostraron mejora conceptual en el entendimiento de fracciones y en su habilidad para incluir fracciones en magnitudes numéricas.

Estos estudios, con herramientas tanto tecnológicas como no-tecnológicas sugieren que el entrenamiento en estudiantes que demuestran bajas habilidades matemáticas es bastante beneficioso a corto y largo plazo. Los estudiantes que son entrenados para mejorar sus habilidades matemáticas obtienen mejores notas en ingeniería y las diferentes ciencias y

mantienen un buen progreso en sus estudios comparado con los que no participan en el entrenamiento (Sorby,2009).

Metodología

Con el fin de establecer los aportes que hacen las neurociencias cognitivas a la educación, y buscar las relaciones entre estas dos áreas de estudio, el presente trabajo se realizó bajo una metodología de revisión de literatura entre el periodo de 1996-2020 sin hacer discriminaciones de tipo de artículo o investigación realizada. Este periodo seleccionado se dividió en 2: un primer periodo de revisión entre 1996 a 2006, donde se identifica esos primero intentos por establecer relaciones entre la neurociencia y la educación, y un segundo periodo del 1999 al 2020 donde se encuentran aportes de la neurociencia cognitiva, al aprendizaje en general, y de forma específica a las matemáticas y la lecto-escritura.

La búsqueda literaria se efectuó en un tiempo de 6 meses recopilando 105 documentos, entre artículos y libros como unidades de análisis cuyo criterio de investigación estaba basado en neurociencia cognitiva y algún tema específico del proceso educativo, como lo es aprendizaje, neuroeducación, matemáticas, y lectoescritura entre otros. Con el propósito de organizar la información, se creó una matriz en la que se iba revisando la profundidad de los temas en los artículos, y se iba descartando aquellos que tenían información muy generalizada o vaga sobre el tema a investigar, dejando una base de análisis de 53 artículos. De los artículos finales, se buscaron relaciones en la identificación de los aportes que había dado la neurociencia cognitiva a la educación los cuales se reportan en el presente documento.

Resultados

Durante la recopilación de la información sobre los puntos de encuentro entre la Neurociencia Cognitiva y la educación, encontramos dos líneas relacionales. La primera de ellas mencionaba que se debía pasar por la psicología cognitiva como punto de encuentro entre Neurociencia Cognitiva y Educación, mientras que la segunda propone una relación directa entre estas dos áreas del saber. Aún así, los documentos analizados sobre aportes de la Neurociencia Cognitiva no reflejaban esa primera línea relacional, encontrando aportes directos sobre elementos que debe tener en cuenta la educación para potenciar los aprendizajes o propuestas de intervención en asignaturas como la matemática y la lectura, que surgen del conocimiento de las áreas cerebrales que se activan al realizar diferentes procesos que intervienen en estas dos asignaturas.

Desde esta relación directa se encuentran diferentes investigaciones que permitieron caracterizar el proceso de aprendizaje de las personas a partir de cómo funciona el cerebro. En ese ejercicio se encontraron como puntos de encuentro elementos básicos para el aprendizaje como la motivación, la atención, y la memoria, hasta identificar hábitos saludables que ayudan al correcto desarrollo y funcionamiento del cerebro y por tanto al aprendizaje. Desde estos elementos que convergen, podemos identificar recomendaciones para tener en cuenta no solo para docentes y escuelas, sino también para padres y cuidadores, por lo que se pueden plantear diferentes propuestas de trabajo desde el mesosistema de los estudiantes. Los diferentes puntos de encuentro identificados, y el

buscar intervenir los procesos educativos a partir del conocimiento del cerebro llevaron al origen de la neuroeducación.

En el momento de empezar a identificar los aportes a las diferentes áreas de estudio que se encuentran en los proyectos curriculares, se encontraron mayor cantidad de artículos de la Neurociencia Cognitiva y las Matemáticas, y la Neurociencia Cognitiva y la lectura. En los estudios encontrados se ve como la neuroimagen ha aportado al conocimiento del cerebro en relación a las redes neuronales que se activan al realizar diferentes ejercicios de lectura o ejercicios matemáticos, en especial en relación al pensamiento numérico. Desde aquí se puede evidenciar el gran interés de los neurocientíficos por aportar a estas dos asignaturas, así como la poca investigación en otras áreas como la Ciencias Naturales o las Ciencias sociales, quedando un gran campo de estudio por desarrollar.

Los hallazgos encontrados y mencionados se organizan en la siguiente tabla. En ella mostramos las 5 áreas de trabajo encontradas, las convergencias y la cantidad de artículos que mencionan estas áreas, bajo los artículos seleccionados y referenciados en el presente documento.

Área o aspecto de estudio de la educación relacionados con neurociencia cognitiva	Hallazgo	Cantidad de artículos relacionados
Relaciones de la educación en general e inicios de la Neuroeducación	Se identifica una línea relacional directa entre el estudio del funcionamiento del cerebro, a partir de los aporte de la neurociencia cognitiva, y propuestas para intervenir en el proceso educativo.	23
Aprendizaje	En los artículos seleccionados se identifica la importancia de la motivación, la emoción, la	13

	atención y la memoria, para activar redes neuronales en el proceso de aprendizaje.	
Hábitos de vida saludable	Se identifica la importancia de tener hábitos adecuados en nutrición, sueño y ejercicio físico para mejorar el proceso de aprendizaje, en especial para la estimulación de la memoria y la atención.	15
Lectura	Los artículos encontrados convergen en la importancia de desarrollar este proceso alrededor de los 6 años de edad para lograr un adecuado ejercicio de comprensión. Además, dan una serie de herramientas que permitirán intervenir las experiencias de aula basadas en las redes neuronales que se activan en el momento de leer.	5
Matemáticas	Se plantea una línea de intervención donde se desarrollan mecanismos que profundicen habilidades que son necesarias para un aprendizaje efectivo, a partir de los hallazgos de cómo se desarrolla el pensamiento matemático en el cerebro.	12

Tabla 1. Resumen de los hallazgos encontrados

Conclusiones

La estimulación es parte del proceso de aprendizaje en las diferentes etapas, y es por ello importante unas intervenciones adecuadas para lograr los resultados esperados de la estimulación. Las instituciones, como el mismo educador, que se encuentra encargado de este proceso de manera grupal e individual, pueden llegar a desconocer qué métodos son útiles durante el proceso de aprendizaje para que se dé el interés, participación, curiosidad y sea enriquecedor tanto para el educador como para el estudiante. Lo que posiblemente impide el desempeño completo del estudiante a nivel cognitivo en diferentes materias en las que se premia la repetición sobre el aprendizaje, y no es por falta de capacidades de los

estudiantes, sino por falta de actividades y métodos de enseñanza que tengan componentes estimulantes, creativos o como los vistos en el presente artículo, que permiten a la neurociencia intervenir en el proceso educativo tanto fuera como dentro del aula.

Resulta necesario crear un vínculo entre los educadores y los neurocientíficos que durante años han estudiado cómo el cerebro se comporta en diferentes procesos mentales y específicamente en este texto, la atención, memoria, lenguaje y matemáticas. Los neurocientíficos no intervienen directamente en el aula de clase y por eso deben apoyarse en el educador para demostrar cómo sus herramientas creadas para estimular el cerebro en sus diferentes procesos mejoran el aprendizaje y así mismo los educadores se apoyen en estas herramientas para lograr un mejor aprendizaje.

Este reto de relacionar el aprendizaje escolar en diferentes áreas o materias y cómo optimizarlo fue asumido desde la neurociencia cognitiva; explicando los procesos que suceden en el cerebro durante la adquisición del conocimiento o aprendizaje. Esto ha permitido tener herramientas que no solo pueden ser usadas por los educadores sino también por los padres o acudientes, para mejorar el aprendizaje. En los estudios revisados en el presente artículo no solo se identificó la necesidad de técnicas estimulantes en los procesos cognitivos que se quieren potenciar sino también la necesidad de crear hábitos saludables para el correcto desarrollo de estos mismos, así estimular habilidades necesarias en el aprendizaje como la atención, la motivación y la memoria. Desde allí se visibiliza una importancia porque estos estudios lleguen a los diferentes sistemas del proceso educativo, permeando el día a día del niño y logrando cambios significativos en su entorno, y de esta forma en su aprendizaje. Desde allí la relación y cercanía familia-docente permitirá desarrollar en el alumno un máximo desempeño en el aula.

Por otro lado, los aportes encontrados en lectoescritura y matemáticas, muestran la posibilidad de empezar un línea de intervención en aula, donde se pueden generar acciones intencionadas por parte del docente para optimizar los procesos de aprendizaje de estas asignaturas, basadas en qué forma se aprende mejor por las observaciones que se han realizado sobre el cerebro. Mejorando así los resultados de los estudiantes en su proceso académico, así como en el uso de conceptos y habilidades en diferentes contextos educativos y no educativos.

Esta revisión documental se podría seguir ampliando con la búsqueda de otros aportes al proceso educativo, a otras asignaturas, así como a los diferentes elementos de los proyectos curriculares, para luego pasar a identificar propuestas actuales de intervención en las aulas de clase. En nuestra revisión intentamos identificar esas intervenciones en proyectos pedagógicos, encontrando muy poca información sobre ellos.

Aunque los aportes de la neurociencia cognitiva han sido amplios, y permiten poder hacer intervenciones concretas en aula para mejorar los proceso de aprendizaje queda un largo camino por seguir en términos de relaciones en áreas del saber, y los diferentes elementos del currículo, así como acciones intencionadas de aula basadas en el funcionamiento del cerebro.

Por último, nos quedan muchas puertas abiertas de revisión en relación con los aportes de la neurociencia cognitiva en la educación que pueden surgir de responder algunas de las siguientes preguntas ¿Qué aportes ha realizado la neurociencia cognitiva a áreas como la Ciencias Sociales y la Ciencias Naturales? ¿Qué influencia ha tenido la neurociencia en la

reestructuración o creación de proyectos educativos? ¿Qué aportes de la neurociencia cognitiva se han tenido en cuenta en proyectos educativos en Colombia?

Referencias

- Acosta, M. (2019) Sueño, memoria y aprendizaje. *Artículo especial de Medicina*, 79. 29-32.
- Aldana, E., Chaparro, L., García, G., Gutiérrez, R., Llinás, R., Palacios, M., Patarroyo, M., Posada, E., Restrepo, A., Vasco, C. (1996) Colombia al filo de la oportunidad. Informe de la misión de los sabios. Bogotá: Colciencias.
- Ansari, D. & Coch, D. (2006) Bridges over troubled waters: education and cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(4), 146-151, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364661306000556>
- Bain, K. (2007) Lo que hacen los mejores profesores universitarios. Valencia: Ediciones de la Universidad de Valencia.
- Banjari, I., Vukoje, I., Mandić, M. (2014). Brain Food: How nutrition alters our mood and behaviour. *Hrana u zdravlju i bolesti*, 3 (1), 13-21, https://www.researchgate.net/publication/263620765_BRAIN_FOOD_HOW_NUTRITION_ALTERS_OUR_MOOD_AND_BEHAVIOUR
- Benarós, S., Lipina, S., Segretin, M., Hermida, M., Colombo, J. (2010) Neurociencia y educación: Hacia la construcción de puentes interactivos. *Revista de Neurología* 50(03). 179-186, <https://www.neurologia.com/articulo/2009191>
- Born, J. & Wilhelm, I. (2012) System consolidation of memory during sleep. *Psychological Research*. 76 (2),192-203, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21541757/>
- Brankaer C, Ghesquiere P, De Smedt B (2014) Children's Mapping between Non-Symbolic and Symbolic Numerical Magnitudes and Its Association with Timed and Untimed Tests of Mathematics Achievement. *PLoS ONE* 9(4), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093565>

- Bruer, J. (1997) Education and the brain: A bridge too far. *Educational Researcher* 26 (2), 4-16.
- Campos, A. (2010) Neuroeducación: uniendo las neurociencias y la educación en la búsqueda del desarrollo humano. *La educación. Revista digital* 13 (143). 1-14.
- De Zubiria, J. (2013) El maestro y los desafíos a la educación en el siglo XXI. *Redipe virtual* (825), 6-17.
- Dehaene S, Spelke E, Pinel P, Stanescu R, & Tsivkin S. (1999) Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence. *Science* 284(5416). 970-974,
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10320379/>
- Dehaene, S. (2014) El cerebro lector. Últimas noticias de las neurociencias sobre la lectura, la enseñanza, el aprendizaje y la dislexia. Buenos Aires: Siglo veintiuno editores.
- Dehaene, S. (2015) Aprender a leer. De las ciencias cognitivas al aula. Buenos aires: Siglo veintiuno editores.
- Dehaene, S. (2016) El cerebro matemático. Cómo nacen, viven y a veces mueren los números en nuestra mente. Buenos Aires: Siglo veintiuno editores.
- Dehaene, S. (2020) How we learn. The New Science of Education and the Brain. Westminster: Penguin Books.
- Del valle, M. (2011) El sueño en la edad preescolar y su repercusión en el desarrollo, la conducta y el aprendizaje. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 50(2), 198 - 204,
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032012000200008#.YDmHhHoClaM.link
- Falco, M. & Kuz, A. (2016) Comprendiendo el aprendizaje a través de las neurociencias, con el entrelazado de las TICs en Educación. *Revista iberoamericana de tecnología en educación y educación en la tecnología* 17(3), 43-51.

- Fernández, J.(2010) Neurociencias y Enseñanza de la Matemática. Prólogo de algunos retos educativos. *Revista Iberoamericana De Educación*, 51(3), 1-12,
<https://doi.org/10.35362/rie5131832>
- Fernández-Mendoza, J. & Puhl, M. (2014) Sueño y arousal. En: Redolar, D. (ed.)
Neurociencia Cognitiva. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Fritz, A. (2013) Development of mathematical concepts as basis for an elaborated mathematical understanding. *South African Journal of Childhood Education*, 3(1). 1 -30,
<https://doi.org/10.4102/sajce.v3i1.31>
- Gabriel, F., Coché, F., Szucs, D., Carette, V., Rey, B., Content, A. (2012) Developing Children's Understanding of Fractions: An Intervention Study. *Mind, Brain, and Education* (6). 137-146, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1751-228X.2012.01149.x>
- García - Borreguero, D. (2016) Principales retos en la investigación sobre hábitos del sueño. *Revista de Neurología* 63(2). 1-24, <https://ses.org.es/wp-content/uploads/2016/12/rev-neurologia2016.pdf>
- Geake J, Cooper P. (2003) Cognitive neuroscience: implications for education? *Westminster Studies in Education* 26(1), 7-20, [Cognitive Neuroscience: implications for education?: Westminster Studies in Education: Vol 26, No 1 \(tandfonline.com\)](https://doi.org/10.1080/02643758.2003.10561953)
- Gómez, J.(2004) Neurociencia educativa y educación. Chiclayo: Fachse.
- Goswami, U. (2004) Neuroscience and education. *British Journal of Educational Psychology* (74). 175 - 183,
<https://bpspsychub.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1348/000709904322848798>
- Guillén, J. (2015) ¿Qué materias son las importantes? En: Forés A & col (Ed.) Neuromitos en educación. El aprendizaje desde la neurociencia. pp. 17-34. Barcelona: Plataforma actual.

- Guillén, J. (2015) El sueño: una dulce necesidad cerebral. En: Forés A & col (Ed.) Neuromitos en educación. El aprendizaje desde la neurociencia. pp. 143-158. Barcelona: Plataforma actual.
- Gustafson, E. (2008) Nutrition and mental health. In: Gale encyclopedia of mental health. Detroit: Thopmson gale.
- Hirs-Pasek, K., & Bruer, J. T. (2007) The brain/education barrier. *Science* 317(5843). 1289 - 1295, <https://science.sciencemag.org/content/317/5843/1293.full>
- Howards-Jones, P. (2010) Investigación neuroeducativa. Neurociencia, educación y cerebro: de los conceptos a la práctica. Madrid: Editorial la Muralla, SA.
- Kucian K., Grond U., Rotzer S., Henzi B., Schönmann C., Plangger F., Gälli M., Martin E., & Von Aster M. (2011) Mental number line training in children with developmental dyscalculia. *Neuroimage* 57(3), 782 - 795, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1053811911001066?via%3Dihub>
- Lo, J., Ong, J., Leong, R., Gooley, J., & Chee, M. (2016) Cognitive performance, sleepiness and mood in partially sleep deprived adolescents: The need for sleep study. *Sleep*. 39(03), 687 - 698, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26612392/>
- Lobo, M. (2012). La neurociencia en la formación inicial de educadores: Una experiencia innovadora. *Revista del consejo escolar de estado. La investigación sobre el cerebro y la mejora de la educación* (1), <http://www.educacionyfp.gob.es/mc/cee/publicaciones/revista-participacion-educativa/sumario-n1.html>
- Maluf, M., Sargiani, R. (2013). Lo que la Neurociencia tiene que decir sobre el aprendizaje de la lectura. *Revista de Psicología de Arequipa* 4(3). 11-24, <https://www.researchgate.net/publication/298022710> [Lo que la Neurociencia tiene que decir sobre el aprendizaje de la lectura](https://www.researchgate.net/publication/298022710)

- Marina, J. (2012) Neurociencia y educación. *Revista del consejo escolar del estado*.
<https://www.joseantoniomarina.net/articulo/neurociencia-y-educacion/>
- Maya, N. & Rivero, S. (2010) Conocer el cerebro para la excelencia en la educación. Vizcaya: Ed. Innobasque.
- Michael, T., Ansari, D., & Knowland, V, (2019). Annual Research Review: Educational neuroscience: progress and prospects. *The journal of Child Psychology and Psychiatry* 60(4), 477-492, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30345518/>
- Mora, F. (2013). Neuroeducación. Madrid: Alianza editorial.
- Mora, F. (2016). Cuando el cerebro juega con las ideas. Madrid: Alianza editorial. 13-43.
- Mora, F. (2020) Neuroeducación y lectura. De la emoción a la comprensión de las palabras. Madrid: Alianza editorial.
- Ortiz, T. (2009) *Neurociencia y educación*. Madrid: Alianza editorial.
- Poe, G., Walsh, C., Bjorness E.(2014) Cognitive Neuroscience of Sleep. *Progress in Brain Research* 9 (185), 1-19, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4180265/>
- Räsänen, P., Salminen, J., Wilson, A. J., Aunio, P., & Dehaene, S. (2009). Computer-assisted intervention for children with low numeracy skills. *Cognitive development* 24(4). 450-472, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0885201409000641?via%3Dihub>
- Rasch, B. & Born, J. (2013) About sleep's role in memory. *Physiological Reviews* 93(2). 681-766, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3768102/>
- Royal Society (2011). Brain Waves module 2: Neuroscience implications for education and lifelong learning. United Kingdom: Excellence in science.
- Ruiz, A., Grao, A., Loureiro, N., & Martínez, E. (2017) Influence of physical fitness on cognitive and academic performance in adolescents. *International Review of Sport and*

Exercise Psychology 10(1). 108-133,

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1750984X.2016.1184699>

Sorby, S. (2009) Educational Research in Developing 3-D Spatial Skills for Engineering Students. *International Journal of science education* 31(3). 480-495,

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09500690802595839>

Terigi, F. (2016). *Sobre aprendizaje escolar y neurociencia*. Buenos Aires: Propuesta Educativa.

Tomas, O. (2009). *Neurociencia y educación*. Madrid: Alianza editorial

Van 't Noordende, J., Kroesbergen, E., Leseman, P., & Volman, M (2020): The Role of Non-symbolic and Symbolic Skills in the Development of Early Numerical Cognition from Preschool to Kindergarten Age. *Journal of Cognition and Development* 22(1). 68-83,

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15248372.2020.1858835>

Wilson, A., Dehaene, S., Pinel, P., Revkin, K., Cohen, L., & Cohen, D. (2006). Principles underlying the design of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and brain functions*. 2(19), 2-19, [https://doi.org/10.1186/1744-](https://doi.org/10.1186/1744-9081-2-19)

[9081-2-19](https://doi.org/10.1186/1744-9081-2-19)