

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
Facultad de Educación  
Departamento de Enseñanza de las Ciencias y las Artes

LA FORMACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LICENCIATURA EN EDUCACIÓN  
BÁSICA CON ÉNFASIS EN CIENCIAS NATURALES Y EDUCACIÓN AMBIENTAL  
EN LAS BASES NEUROFISIOLÓGICAS DEL APRENDIZAJE

Trabajo de Investigación realizado por:

CATALINA BAENA GÓMEZ

Dirigido por:

LUZ STELLA MEJÍA ARISTIZÁBAL

Para optar al título de Licenciada en Educación Básica con Énfasis en Ciencias Naturales  
y Educación Ambiental.

Medellín, 2010

## RESUMEN

La presente investigación se inscribe en el paradigma cualitativo y tiene como propósito analizar desde una perspectiva de la investigación documental los principales aspectos de la neurofisiología del aprendizaje, implicados en la construcción de saberes propios del área de ciencias naturales en la escuela, y que se constituyen en objeto de formación de maestros de la licenciatura en ciencias naturales de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia. Una entrevista y un análisis documental acerca de investigaciones que relacionan la neurofisiología con la educación, son los instrumentos a partir de los cuales se proponen elementos teóricos y propuestas pedagógicas alternativas que pueden contribuir a mejorar la calidad de las prácticas pedagógicas de los maestros de ciencias naturales.

Palabras clave: Neurofisiología del aprendizaje, Formación de maestros, aprendizaje de las ciencias naturales.

**TABLA DE CONTENIDO**

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Formulación y descripción del problema	4
1.2 Antecedentes	
1.3 Justificación	
2. OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo general	11
2.2 Objetivos específicos	11
3. MARCOS DE REFERENCIA	13
3.1 Marco conceptual	13
3.2 Marco teórico	14
3.2.1 Generalidades	14
3.2.2 Definición de aprendizaje	15
3.2.3 Tipos de aprendizaje	16
3.2.4 El sistema nervioso humano y sus funciones	17
3.2.5 Bases anatómicas y neurofisiológicas del aprendizaje	20
4. DISEÑO METODOLÓGICO	29
4.1 Enfoque y metodología de la investigación	29
4.2 Conformación del corpus y criterios de selección	30
4.3 Técnicas de recolección de la información	31
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	34
5.1 Entrevistas	34
5.2 Análisis documental	75
6. CONCLUSIONES	108
7. OPCIONES DE PROFUNDIZACIÓN QUE ABRE LA INVESTIGACIÓN	113
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
9. ANEXOS	117

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Formulación y descripción del problema**

Pensar en la enseñanza de las ciencias naturales en la escuela, implica pensar no solamente en las formas más pertinentes de integrar en un espacio de conceptualización, las teorías, las actividades, los problemas, las preguntas, los modelos, la historia y los hallazgos de la ciencia para que los alumnos lo aprendan y lo apliquen a su vida cotidiana. En este marco de ideas, pensar la enseñanza de las ciencias implica realmente pensar en la estructura de la ciencia y la manera como ésta se puede articular a otra estructura aún más impactante, la del maravilloso sistema de la cognición de los seres humanos y concretamente de los niños, en quienes suelen presentarse variaciones mucho más asombrosas de dicho sistema.

Poder comprender entonces la clase de ciencias naturales, no solo en términos de alumno, saber y maestro, sino también en términos de moléculas, neurotransmisores, sinapsis, enzimas e interacciones celulares, y poder así prever un poco lo que puede suceder al interior del cerebro de los alumnos, cuando de pronto mencionamos la palabra "átomo" o presentamos el modelo celular de mosaico fluido o incluso pretendemos que los alumnos comprendan el proceso de la fotosíntesis, nos confiere a los maestros la posibilidad de planificar la enseñanza con una conciencia más amplia del impacto de nuestro discurso y de las actividades de aprendizaje en las mentes de los que aprenden.

En la actualidad, la enseñanza de las ciencias naturales presenta dos grandes problemas que subyacen también en la formación de los maestros y a los que parece nos hemos acostumbrado. Estos problemas están directamente relacionados con las concepciones de los maestros sobre la ciencia y sobre las formas como los alumnos aprenden ciencias.

Uno de los problemas es la brecha que se produce entre el lenguaje cotidiano y el lenguaje científico erudito y las dificultades que presentan los alumnos para memorizar este lenguaje y aplicarlo adecuadamente en diversos contextos científicos. Esta afirmación, parte de la certeza de que la ciencia es un lenguaje total e infragmentable que se puede adaptar a determinados niveles de complejidad para hacerse enseñable en diversos contextos, pero que no se puede reducir, ni transmutar para efectos de didactización. Dicha brecha produce desencuentros y sin sentidos en la clase.

El segundo problema, tiene que ver con las grandes diferencias que existen entre las diversas representaciones idiosincráticas que construyen los estudiantes acerca del

mundo natural (cotidiano) y las correspondientes representaciones científicas. La diferencia entre los modelos mentales involucrados en uno y otro extremo de la comunicación entre profesor y alumno involucra tanto aspectos lingüísticos (semánticos y sintácticos), como representacionales, pero cuando el maestro no es consciente de esta diferencia, ni de los procesos mentales que debe realizar el alumno para superar el obstáculo que lo separa de la representación científica, aniquila todas las posibilidades de hacer del aprendizaje un proceso significativo, en la medida en que acude a la única estrategia posible en estos casos, bien la reducción del contenido disfrazada de didactización o bien hacer que los alumnos memoricen los contenidos que no entienden para que puedan "ganar el área".

Bajo estas circunstancias, merece la pena repensar no solo la enseñanza de las ciencias, sino también la formación de los maestros de ciencias de la facultad de Educación de la Universidad de Antioquia, teniendo en cuenta que estos deben desarrollar la capacidad de dar respuesta a las necesidades de aprendizaje de los alumnos, haciendo de dicho aprendizaje un proceso que cobre sentido en sus vidas, que potencie su inteligencia, su creatividad y su capacidad de tomar decisiones, resolver problemas y ser activos en el proceso de construcción y producción del conocimiento.

En el marco de la tradición de pensamiento pedagógico que en la que he sido formada como estudiante de la facultad de educación de la Universidad de Antioquia, me es claro que es función del maestro, ser recontextualizador de su práctica pedagógica, leerse permanentemente a sí mismo en el ejercicio de su práctica, investigarla, problematizarla, potenciarla y perfeccionarla a la luz de sus propias investigaciones para producir saber pedagógico. Es por eso, que aunque mi formación científica se ha desarrollado por fuera de lo que hoy concibo una condición sine qua non de la enseñanza, a saber, su planificación a la luz de los elementos neurofisiológicos que permiten entender el aprendizaje, pienso que se convierte para mí en un reto y en una responsabilidad, poder sustentar desde mi experiencia como estudiante, como maestra y desde las teorías en neurofisiología del aprendizaje y en didáctica de las ciencias naturales, el enorme potencial que puede representar la neurofisiología del aprendizaje en la formación de maestros de ciencias naturales de la facultad de educación de la Universidad de Antioquia.

En la medida en que el maestro sea consecuente con las demandas neurofisiológicas del aprendizaje al momento de planificar la enseñanza y orientar el aprendizaje de las ciencias en la escuela, posibilitará, no solamente hacer del aprendizaje una experiencia más exitosa y significativa, sino también que los alumnos se percaten de la formas como pueden aprender mejor. Así, tanto el maestro como la ciencia habrán cumplido

bien su función: dejar aprender, enseñar a aprender, y preparar el cerebro a pensar, no solo para "resolver problemas de la vida cotidiana", sino también para descubrir las cosas que no figuran en ningún manual. Ya bien lo enunció Heidegger alguna vez, enseñar es más difícil que aprender, no porque el maestro deba poseer un mayor caudal de conocimientos y tenerlos siempre a disposición, es porque enseñar significa dejar aprender. Más aún, el verdadero maestro no deja aprender nada más que el aprender. Ahora bien, pretender enseñar a aprender, implica al maestro entre muchas otras cosas, una fundamental, saber cómo se aprende. Y eso es precisamente lo que me propongo investigar: cuáles son las bases neurofisiológicas del aprendizaje de las ciencias naturales y cómo el conocimiento de dichas bases puede contribuir a mejorar las prácticas pedagógicas de los futuros maestros de ciencias naturales.

## **1.2. Antecedentes**

Una revisión extensa por la literatura de la neurofisiología cognitiva y de la didáctica de las ciencias naturales, me ha llevado a la conclusión, de que son pocos los estudios y las reflexiones que se han realizado acerca de la neurofisiología del aprendizaje de las ciencias naturales y su relación con la formación de maestros de ciencias. Es más, podría afirmar, que ningún trabajo se centra en el abordaje de los procesos neurofisiológicos que realizan los estudiantes de básica primaria cuando se enfrentan al aprendizaje de las ciencias. Esta realidad, conlleva a pensar que prácticamente la enseñanza de las ciencias naturales en la escuela se ha llevado a cabo sin la conciencia de lo que acontece en las mentes de los alumnos, y de si eso que pasa es pertinente con la estructura de la ciencia y permite a los alumnos solucionar verdaderos problemas de la vida real. Este desconocimiento hace pensar en los diseños didácticos y metodológicos de los maestros de ciencias, como tareas profundamente descontextualizadas y en mi concepto lamentablemente absurdas: se intenta posibilitar la articulación de un saber en el sistema de cognición de los estudiantes, sin conocer cómo funciona ese sistema ni donde se hallan, ni cómo se estimulan esos puntos de articulación. Así las cosas, el trabajo del maestro de ciencias al margen de los elementos neurofisiológicos del aprendizaje de las ciencias se convierte en un experimento a ciegas, que sumado a todas las dificultades que habitan el acto pedagógico, hacen de la enseñanza una actividad prácticamente imposible.

Sin embargo, en la actualidad existen muchos estudios relacionados con la neurofisiología del aprendizaje en general que promueven la importancia de la formación de maestros en dicho saber, en pro de potenciar sus competencias pedagógicas y aumentar la calidad de la educación. Dichos estudios se orientan principalmente al abordaje de procesos que intervienen en el aprendizaje, a saber: la

memoria, las categorizaciones, los procesos afectivos, la conceptualización, las abstracciones, entre muchos otros.

Entre las investigaciones más recientes asociadas al tema de la neurofisiología del aprendizaje de las ciencias, que han inspirado muchos de los artículos fuente de esta investigación (ver marco teórico y análisis documental), figuran los aportes de Eric Jensen, científico norteamericano, dedicado a la investigación en neurociencia cognitiva desde 1983, miembro investigador de la *International Society for Neuroscience*, la *New York Academy of sciences*, la *American Psychological Association*, la *International Mind Brain and Education Society*, entre otras organizaciones encargadas de la investigación en neurociencia cognitiva. Gran parte de las investigaciones de Jensen han sido recopiladas en la obra "Brain-Based Learning" publicada en 2004, en la cual presenta estudios recientes sobre el cerebro y el aprendizaje humano aplicados a la educación. Algunos de sus tópicos más relevantes son: la interpretación pedagógica de investigaciones sobre el cerebro, la influencia del cerebro humano en el aprendizaje, la formación del aprendizaje duradero, la estimulación temprana del cerebro en el proceso de educar a los alumnos para aprender a aprender, la influencia del entorno en el proceso de aprendizaje, las vías y la química de la atención, las emociones vinculadas al aprendizaje, las relaciones entre desarrollo motor, ejercicio y aprendizaje, la biología del significado y el cerebro como elaborador de significados, la formación y la química de la memoria, entre otros.

Entre las conclusiones más interesantes derivadas de las investigaciones de Jensen, se destaca la idea de que a pesar de que en nuestra época no existe aún un modelo inclusivo y coherente de cómo funcionan la totalidad de las áreas del cerebro, la ciencia actual nos ofrece suficiente información para aplicar cambios significativos en el modo de enseñar. Por esa razón, plantea que los maestros tenemos la responsabilidad inminente de hacer parte de la investigación-acción en esta área del conocimiento para aportar a los nuevos descubrimientos y no simplemente esperar a que los neurocientíficos nos presenten la "pieza fundamental" para el aprendizaje".

Otro de los estudios al respecto de la neurofisiología del aprendizaje, relevante en la actualidad, es liderado por los científicos alemanes H.J Markowitsch, profesor de la Universidad de Bielefeld, el médico, profesor y científico Wolf Singer, miembro del Max-Planck-Institut fuer Hirnforschung, el Dr. Heinz Schirp, director del Landesinstitut fur Schule en Alemania. Ellos, entre otros investigadores son autores de diferentes estudios que conforman el proyecto "Lernen und Gehirn" (aprendizaje y cerebro), presentado en Alemania en el *Staatlichen Studienseminars Moenchengladbach* en 2004. Las actualizaciones periódicas de estos estudios, están en la actualidad

disponibles en la plataforma pedagógica virtual alemana *edyounet*. Dichas actualizaciones se presentan a manera de artículos de investigación, y constituyen estudios descriptivos de procesos neurofisiológicos asociados al aprendizaje fundamentados en descubrimientos recientes en neurociencia, avalados por la comunidad científica.

Entre los tópicos abordados en el proyecto "Lernen und Gehirn" se destacan: cómo aprenden los niños, el centro de aprendizaje del cerebro, el aprendizaje individual y en equipo, el aprendizaje en la cotidianidad y el aprendizaje en la escuela, aprendizaje y olvido, procesos conscientes e inconscientes del aprendizaje, fundamentos neuronales propios de la toma de decisiones, la neurodidáctica, el aprendizaje de las distintas formas de conocimiento, la plasticidad del cerebro, la influencia del aprendizaje en el sistema de la sinapsis, el significado de posibilitar el conocimiento desde la perspectiva neurofisiológica, las conexiones en el cerebro y las conexiones en la clase, elementos pedagógicos claves para el aprendizaje.

Las diferentes investigaciones del proyecto "Lernen und Gehirn" tienen como trasfondo una reflexión pedagógica sustentada en situaciones concretas de aprendizaje, analizadas tanto bajo un lente científico como pedagógico, que dejan ver cómo detrás de las actividades de aprendizaje que el profesor orienta en el aula acontecen un sinnúmero de procesos neurofisiológicos en las mentes de los alumnos, que no se ven, pero que son los que realmente determinan el desarrollo de las capacidades que se requieren para la vida. Y es precisamente en la medida en que el maestro desarrolle la habilidad para "ver lo invisible" que habita el proceso de aprendizaje y articularlo con la dinámica de la enseñanza, como podrá garantizar no solo la calidad y la eficacia de su función, sino también las habilidades y el potencial cognitivo y humano de sus alumnos en el futuro.

Otro grupo de neurocientíficos alemanes, liderado por los doctores Hubert R. Dinse, del *Institut fuer Neuroinformatik der Ruhr-Universitaet*, y Martin Tegenthoff, de la *Neurologische Universitaetsklinik der Ruhr-Universitaet*, adelantaron una investigación sobre el sistema nervioso y el aprendizaje. El estudio ha sido realizado con la participación de un grupo interdisciplinario de médicos, neurólogos, e ingenieros. A partir del análisis de tomografías de resonancia magnética consiguieron demostrar que las personas aprenden mejor a partir del trabajo en equipo. La coactividad, según el informe de la investigación conlleva la activación de complejas redes neuronales que se amplían masivamente durante la actividad mental. El estudio fue publicado en la revista norteamericana especializada NEURON en 2003.



Finalmente, es importante destacar algunos artículos de investigación que sitúan la neurociencia cognitiva como uno de los pilares sobre los cuales debe estar fundamentada la pedagogía y la formación de maestros. Ellos son:

- Neurociencias y su importancia en contextos de aprendizaje. Por de De la Barrera M et al (2009).
- Neuroeducación: uniendo las neurociencias y la educación en la búsqueda del desarrollo humano. Por Campos (2010).
- El aporte de la neurociencia para la formación docente. Por Francis (2005).
- Importancia del proceso de aprendizaje y sus implicaciones en la educación del siglo XXI. Por Duran (2010).

### **1.3. Justificación**

Investigar, en el marco de la formación de maestros en ciencias naturales, las bases neurofisiológicas que permiten comprender a fondo los diversos procesos asociados al aprendizaje de esta área en la escuela, responde a la necesidad de repensar la formación de maestros, a partir de elementos que puedan contribuir a mejorar permanentemente sus prácticas educativas, y a potenciar su calidad académica y profesional, orientando su proceso formativo hacia el aprendizaje de elementos científicos que permiten comprender mejor el acto pedagógico y la relación entre el saber, el profesor y los alumnos.

Visto así, este ámbito de investigación puede contribuir enormemente a mejorar la educación en ciencias, que según las cifras emanadas por el Ministerio de Educación Nacional de nuestro país, debe lidiar en la actualidad con la apatía y mortandad académica por parte de los alumnos de básica y media. Esta contribución se basa en la ampliación del bagaje intelectual de los maestros, en lo que respecta al proceso de aprendizaje visto desde una perspectiva neurofisiológica.

El tópico de esta investigación, ha sido poco abordado en estudios pedagógicos, por lo que se constituye en un ámbito novedoso y atractivo para los maestros de oficio y maestros en formación, motivados por adquirir herramientas que les permitan desempeñar cada vez con más calidad su función en la sociedad.

Por otra parte, la estructura de esta investigación, plantea interrelaciones novedosas entre variables asociadas con los procesos de enseñanza y aprendizaje, que pueden contribuir a una comprensión y a un análisis más sustentado sobre las teorías que, a la fecha, se tienen acerca del aprendizaje de las ciencias.

Es una investigación, cuyas conclusiones e interrogantes pueden transferidas y adoptadas para futuras investigaciones en diversos contextos pedagógicos y científicos, pues está basada en los descubrimientos y los estudios más recientes en neurociencia cognitiva, los cuales a su vez plantean grandes interrogantes y demandan la investigación-acción en contextos reales de aprendizaje, donde el apoyo de los maestros puede ser determinante para el desarrollo de los estudios científicos.

A partir de los resultados de la investigación, será posible diseñar un espacio de conceptualización sobre bases *neurofisiológicas del aprendizaje de las ciencias naturales*, dirigido a estudiantes de la facultad de educación de la Universidad de Antioquia. Este diseño estaría constituido por una serie de elementos teóricos y propuestas de interrelación entre dichos elementos de manera que puedan ser aplicables en escenarios concretos de aprendizaje de las ciencias, y contribuyan a potenciar la formación de maestros, ampliando sus perspectivas en torno a los procesos que median el aprendizaje de las ciencias y las formas de enseñanza mas pertinentes para potenciar dichos procesos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Analizar los principales aspectos de la neurofisiología del aprendizaje que intervienen directamente en la construcción de saberes propios del área de ciencias naturales en la escuela, y que se constituyen en objeto de formación de maestros de ciencias naturales de la facultad de Educación de la Universidad de Antioquia.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Aportar elementos teóricos para el diseño de un espacio de conocimiento sobre *Fundamentos neurofisiológicos del aprendizaje de las ciencias naturales* dirigido a los estudiantes de la licenciatura en ciencias naturales de la facultad de Educación de la universidad de Antioquia, que posibilite un acercamiento a los estudios más recientes en neurociencia cognitiva y brinde información útil y aplicable en contextos reales de enseñanza, acerca de los procesos que atraviesan el aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela.
- Proponer perspectivas pedagógicas alternativas que puedan derivarse a partir del estudio de las bases neurofisiológicas del aprendizaje de las ciencias naturales, y que sirvan de base para el mejoramiento de la calidad de las prácticas pedagógicas de los estudiantes de licenciatura en ciencias naturales de la facultad de educación de la Universidad de Antioquia.

*¿Qué contribuciones puede hacer la neurofisiología del aprendizaje de las ciencias naturales a la formación de los maestros de la facultad de educación de la Universidad de Antioquia?*

¿Qué nuevas perspectivas didácticas podría ofrecer a los maestros en formación, la inclusión de elementos de neurofisiología asociados a los procesos de aprendizaje de las ciencias naturales (en la escuela) en el pensum de la licenciatura en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental de la facultad de educación de la Universidad de Antioquia?

¿Qué herramientas pedagógicas en pro del mejoramiento de las prácticas educativas, podrían adquirir los maestros en formación a partir del estudio de las bases neurofisiológicas asociadas al aprendizaje de las ciencias naturales (en la escuela)?

### **3. MARCOS DE REFERENCIA**

#### **3.1. Marco Conceptual**

La idea de formar a los estudiantes de licenciatura en educación básica con énfasis en ciencias naturales de la facultad de educación de la Universidad de Antioquia en las bases neurofisiológicas del aprendizaje de las ciencias se enmarca en una concepción de la formación que se nutre de la tradición alemana, para entenderla tal como sugiere Jorge Larrosa (Citado en Documento PRAE Escuela Normal Superior María Auxiliadora, 2008), como el proceso temporal por el que algo alcanza su propia forma. Su estructura básica es un movimiento de ida y vuelta que contiene un momento de salida de sí, seguido por otro momento de regreso a sí. El punto de partida es siempre lo propio, lo cotidiano, lo familiar o lo conocido que se divide y se separa de sí mismo para ir hacia lo ajeno, lo extraño y lo desconocido y regresar después, formado o transformado, al lugar de origen. Lo esencial de ese viaje de ida y vuelta es que constituye una auténtica experiencia. Y la experiencia no es otra cosa que ese encuentro de lo mismo con la otredad que lo resiste, lo pone en cuestión y lo transforma". Desde esta perspectiva, la formación no se trata principalmente de la anexión de cosas externas, sino más bien de una auténtica transformación. Así las cosas, formarse como maestro es poner el rostro como referente para el otro, formarse como sujeto de saber pedagógico y cultivar la capacidad de asumir la autoformación y la formación de otros a través de la relación con el discurso de la pedagogía y a través del ejercicio crítico de la investigación y la producción de saber pedagógico.

Otro de los conceptos que enmarca esta investigación es el concepto de espacio de conocimiento. El espacio de conocimiento que se propone aquí a través de la idea de un curso dirigido a estudiantes de la licenciatura de ciencias naturales de la facultad de educación, constituye un escenario de formación, y por ende de construcción de experiencias formativas en el cual se combinan no solo la tradición crítica del saber pedagógico, los saberes científicos implicados en el proceso formativo de los estudiantes, sino también un saber distinto que permite conjugar el saber pedagógico y el saber científico en una concepción más holística de la formación en ciencias naturales (no solo en una esfera teórica, sino también práctico-moral y estética), a través de la comprensión de la manera como aprende el sujeto y como se construye el sentido de la ciencia en la cotidianidad del aula de clase.

Dicha concepción acerca de la formación en ciencias naturales no constituye un sistema teórico cerrado o totalizante, pero propone encontrar coherencia, consistencia y sentido crítico en los diseños y las orientaciones didácticas que soportan la enseñanza de las ciencias. Todo esto, a través de la reflexión pedagógica que debe realizar el

maestro acerca de las necesidades de aprendizaje del sujeto y las formas como se puede potenciar dicho aprendizaje a través del acto pedagógico y adquirir mayor trascendencia para el sujeto.

El hecho de que el aprendizaje de las ciencias sea uno de los focos de esta propuesta investigativa, hace que este se convierta en otro de los conceptos centrales de esta investigación (Ver marco teórico).

### **3.2. Marco Teórico**

#### **3.2.1. Generalidades**

El psicólogo británico Ian Creese, en una entrevista concedida al diario El Espectador de Bogotá, el 2 de diciembre de 2009, dijo que los recientes descubrimientos en neurología podrían ayudar a los maestros a mejorar la enseñanza, considerando que en la actualidad se sabe que hasta los últimos años de la adolescencia, hasta los 21 ó 22, el cerebro está continuamente madurando; que la corteza prefrontal, responsable de tareas como tomar decisiones, es muy inmadura hasta esa época. Asimismo, afirmó que hoy se conoce acerca de la plasticidad del cerebro y como esta puede cambiar. Según el científico, los humanos podemos construir nuevas memorias toda la vida y aprender nuevas tareas. Expresó que se ha demostrado que en ciertas áreas del cerebro se forman nuevas neuronas y muchas cosas pueden afectar ese proceso, sobre todo el estrés, y que es importante controlar el nivel de dificultad de la tarea según el individuo. Explicó además, que para aprender una nueva tarea, es necesario repetirla una vez tras otra y recibir retroalimentación cuando se hace bien, en otras palabras, individualizar la educación. Durante la entrevista, el científico se refirió a uno de los últimos adelantos en el campo de la neurología, que consiste en un programa computacional denominado *scientific learning*, desarrollado especialmente para potenciar distintas áreas del cerebro de estudiantes de todas las edades, de acuerdo con sus necesidades de aprendizaje. Los componentes de dicho programa emplean los principios de repetición, adaptación individual, refuerzo y gratificación.

Las ideas expresadas por este científico, de alguna manera recogen las generalidades de lo que en la actualidad la neurología da por sentado acerca del proceso de aprendizaje humano y las variables que lo determinan. Sin embargo, para entender mejor las concepciones actuales, se hace necesario abordar las teorías y los conceptos científicos que le han permitido a la ciencia construir explicaciones acerca del aprendizaje humano.

### 3.2.2. Definición de Aprendizaje

De acuerdo a Cruz y De la O ( 2005), el aprendizaje es un proceso biológico que tiene origen en la evolución, es decir, la capacidad de aprender comenzó en algún nivel filético y se desarrolló a través de la evolución de las especies animales como una ventaja adaptativa de la conducta de algunos organismos. Hoy se sabe que existen relaciones íntimas entre el proceso de aprender y la evolución de las especies, la anatomía y la fisiología de los organismos. El aprendizaje es, entre otras, una forma que adoptó la conducta de los organismos para resolver los problemas de supervivencia frente a los ambientes complejos y cambiantes.

Según Tarpy (2000), para que los seres humanos puedan aprender es necesario de un sistema nervioso apto para el aprendizaje. De hecho, muchas investigaciones sostienen que el aprendizaje tiene implícitos cambios estructurales y químicos en el sistema nervioso. En relación con dichos cambios, Mora (2008) plantea que el aprendizaje implica cambios en la cantidad de neurotransmisores liberados por las neuronas, y cambios en las conexiones interneuronales, de ahí que según el autor, la enseñanza debería constituir el arte de inducir adecuadamente transformaciones significativas en el cerebro.

Mora (2008) también hace referencia a cambios morfológicos que se producen durante el aprendizaje, los cuales están relacionados con el aumento en las conexiones sinápticas en el cerebro, dependientes de la exploración de ambientes enriquecidos. Dicho aumento se inhibe tras la falta de estimulación y el estrés.

Tal como lo menciona Anderson (2001), el aprendizaje humano implica la recepción de estímulos diversos y su procesamiento a través de vías nerviosas aferenciales, medulares, subcorticales, corticales y eferenciales. Dichos estímulos son explicitados a través de sistemas psicosensomotores, perceptivos, pensamiento-lenguaje, imaginativos, afectivos y volitivos.

La capacidad de aprendizaje está íntimamente ligada a la capacidad de memorizar información, incluso, para muchos neurofisiólogos, no es posible hacer una distinción entre estos dos procesos. Sin embargo, Londoño (2008) plantea que el aprendizaje es un proceso mucho más duradero que la memoria, pues en él, los cambios se mantienen con el paso del tiempo, lo que no sucede siempre con la memoria. De cualquier forma, el autor no desconoce que si se ha aprendido algo, la única evidencia del aprendizaje es el recuerdo.

Anderson (2001, citado en Londoño, 2008) sostiene que el aprendizaje se puede definir a partir de términos relevantes, que son: Duradero, porque permanece en el tiempo siempre que no se induzcan modificaciones voluntarias; Conductual, porque se expresa en conductas evidenciables aunque también es posible verificarlo a través de registros nerviosos; Potencial, porque puede derivar en conductas y transformaciones que potencian la individualidad del sujeto; Experiencia, porque es una de las formas más potentes que conducen al aprendizaje, dado que posibilita cambios en el potencial para el comportamiento y la forma de pensar.

### **3.2.3. Tipos de Aprendizaje**

Téllez (2002, citado en Londoño, 2008) propone distinguir entre dos tipos de aprendizaje, de acuerdo con el modo en que se aprende la información y la forma en que se recupera, a saber:

- Aprendizaje de procedimientos, que implica el aprendizaje de los pasos requeridos para la consecución de algún objetivo.
- Aprendizaje declarativo, que hace referencia a toda aquella información adquirida conscientemente y está transversalizado por el lenguaje.

En relación con el aprendizaje procedimental, resulta interesante la idea de Pozo et al (1998) acerca de que los procedimientos, por su naturaleza como contenidos de aprendizaje poseen rasgos específicos que deben considerarse para poder enseñarse correctamente. Anderson (1983, citado en Pozo et al, 1998 ) clarifica dicha distinción, cuando afirma que el conocimiento declarativo, que es claramente verbalizable, puede adquirirse por exposición verbal y suele ser consciente, mientras que el conocimiento procedimental, que no siempre puede ser verbalizado se adquiere más eficazmente a través de acciones y se ejecuta de modo automático. Es a través de estos argumentos, como Anderson llega a la conclusión de que el conocimiento procedimental es más difícil de evaluar que el declarativo, ya que su dominio es de tipo gradual y es difícil discriminar entre sus diferentes niveles de dominio.

En esta línea de ideas, Pozo et al (1998) considera importante distinguir entre el aprendizaje de técnicas y el aprendizaje de estrategias, pues según el autor, mientras que las técnicas son rutinas automatizadas aprendidas a través de la practica repetida, las estrategias implican procesos de planificación y toma de decisiones acerca de los pasos a seguir. Así las cosas, las estrategias estarían constituidas de técnicas implicando un uso deliberado de las mismas a fin de conseguir el objetivo de la tarea. El autor



sugiere un ejemplo: Para formular y comprobar una hipótesis sobre la influencia de la masa en la velocidad de caída de un objeto requiere dominar técnicas más simples como aislar variables y dominar los instrumentos necesarios para medir la masa y la velocidad.

Por otro lado, Pozo et al (1998) plantea que para poder dominar el conocimiento procedimental es necesario un dominio de los conocimientos temáticos específicos sobre el área relacionada con la estrategia, pues entre mayor sea la comprensión de los temas, más éxito podría alcanzar la estrategia diseñada.

Téllez (2002, citado en Londoño, 2008, p.90) considera aparte del aprendizaje declarativo y procedimental, otros tipos de aprendizaje, a saber:

- Aprendizaje asociativo: implica la asociación entre eventos.
- Aprendizaje no asociativo: Implica experiencias con estímulos que no tienen una relación entre sí.
- Perceptual: "Implica que al presentarse simultáneamente dos estímulos en repetidas ocasiones, uno de ellos puede llegar a provocar cambios neurales en el otro".
- Simbólico: Relacionado con la utilización de símbolos específicos.

#### **3.2.4. El Sistema Nervioso Humano y sus Funciones**

Anderson (2001) hace una descripción del sistema nervioso en la que destaca los aspectos más relevantes que deben considerarse en el contexto de un estudio sobre cognición humana. Los aspectos que se retoman a continuación están basados en la descripción aportada por dicho autor.

El sistema nervioso humano puede estudiarse dividiéndolo en dos componentes principales, a saber: el sistema nervioso central (SNC) y el sistema nervioso periférico (SNP). El SNC está formado por el encéfalo (que involucra cerebro, cerebelo y médula oblongada), encerrado en una estructura ósea que es el cráneo, y por un órgano alargado, la médula espinal, encerrada en la columna vertebral.

En el SNC se integra y relaciona la información sensitiva, se generan los pensamientos y emociones y se forma y almacena la memoria.

La información entra y/o sale del encéfalo y de la médula espinal a través de los nervios, que se pueden dividir en craneales y en periféricos. Los craneales son doce pares de nervios que salen desde el cráneo e inervan las áreas correspondientes a la cabeza y el cuello. Los periféricos por su parte salen de la médula espinal y se encargan de la inervación de las extremidades, el tórax y el abdomen.

La mayoría de los impulsos nerviosos para las contracciones musculares y las secreciones glandulares se originan en el SNC. El SNC está conectado con los receptores sensitivos, los músculos y las glándulas de las zonas periféricas del organismo a través del SNP. Este último formado por los nervios craneales, que se relacionan con el encéfalo y los nervios raquídeos, que se relacionan con la médula espinal. Una parte de estos nervios lleva impulsos nerviosos hasta el SNC, mientras que otros transportan los impulsos que salen del SNC.

La parte del encéfalo que es responsable de las funciones intelectuales del ser humano es el cerebro, y éste está organizado en hemisferios cerebrales que están separados por un espacio profundo en la línea media en cuya profundidad está el cuerpo calloso que conecta a los dos hemisferios.

Para aumentar el área de la superficie de la corteza cerebral al máximo, la superficie de cada hemisferio cerebral forma pliegues que están separadas por surcos. Para facilitar la descripción se acostumbra a dividir cada hemisferio en lóbulos que se denominan de acuerdo a los huesos craneanos debajo de los cuales se ubican. Así se describen los lóbulos frontales, parietales, temporales y occipitales.

Cada hemisferio está formado por dos estructuras: la corteza cerebral y la sustancia blanca. La primera está formada por el cuerpo y las prolongaciones delgadas de las neuronas (células principales del sistema nervioso) y la segunda por las prolongaciones gruesas o axones. Ninguno de estos dos elementos pueden funcionar de manera aislada.

La corteza cerebral forma un revestimiento completo y externo del hemisferio cerebral. Está compuesta aproximadamente por 100,000 millones de neuronas. El área de superficie de la corteza está aumentada por su plegamiento en giros separados por surcos. El espesor varía de 1,5 a 4,5 mm.

La corteza está organizada en unidades de actividad funcional conocidas como áreas:

- Área Frontal: localizada en el lóbulo frontal o en la parte más anterior del cerebro. En ella se encuentran representados todos los músculos del cuerpo y su función consiste en diseñar los movimientos individuales de éstos, almacena programas de actividad motora reunidos como resultado de la experiencia pasada. Produce la formación de palabras y está vinculada con la constitución de la personalidad del individuo. Regula la profundidad de los sentimientos y está relacionada con la determinación de la iniciativa y el juicio del individuo.
- Área Parietal: se localiza en la superficie laterales del cerebro. Su principal función consiste en recibir e integrar diferentes modalidades sensitivas. Por ejemplo reconocer objetos colocados en las manos sin ayuda de la vista, es decir maneja información de forma y tamaño relacionándola con experiencias pasadas.
- Área Occipital: ubicada en la parte posterior del cerebro. Su función consiste en relacionar la información visual recibida por el área visual primaria con experiencias visuales pasadas, lo que permite reconocer y apreciar lo que se está viendo.
- Área Temporal: ubicada también en las partes laterales del cerebro. En esta área a su vez se encuentran las áreas auditivas que se vinculan con la recepción e interpretación de sonidos. También se encuentra el área de la comprensión del lenguaje o área de Wernicke, que permite la comprensión del lenguaje hablado y de la escritura.
- Área del gusto: que almacena e interpreta las sensaciones gustativas.
- Área vestibular: que coordina el equilibrio de nuestro cuerpo.

Existen además de las anteriores muchas otras áreas corticales definidas, cuya función es desconocida, pero está perfectamente comprobado que ninguna de ellas funciona sola, sino que todas se interconectan entre sí y que ante un estímulo por simple que sea responden como un todo.

A pesar de que los dos hemisferios son casi idénticos, ciertas actividades nerviosas son realizadas predominantemente por uno de los dos. La destreza manual, la percepción del lenguaje y el habla están controladas por el hemisferio dominante (en 90% de la población el izquierdo). Por el contrario la percepción espacial, el reconocimiento de las caras y la música por el no dominante.

Una parte importante del sistema nervioso localizada en un lóbulo independiente (lóbulo de la Ínsula) es el sistema límbico, cuyo papel es primordial en el aprendizaje, dado que se encarga de la coordinación de las emociones y de su relación con la memoria y el comportamiento.

### **3.2.5. Bases Anatómicas y Neurofisiológicas del Aprendizaje**

Afifi et al (2006) describe anatómica y fisiológicamente las estructuras y los procesos que están relacionados con el aprendizaje humano. La descripción que se presenta de dichos aspectos se basa en los aportes de dicho autor en la segunda edición del texto *Neuroanatomía funcional: Texto y atlas*.

La base anatómica y funcional del aprendizaje la constituye el mecanismo de acción e interrelación de las neuronas que componen el sistema nervioso. Las neuronas se intercomunican a través de áreas especializadas de contacto neuronal llamadas sinapsis, y es precisamente la complejidad de dichas relaciones sinápticas entre miles de millones de neuronas, lo que forma la base de la complejidad conductual y cognitiva del ser humano.

La sinapsis requiere dos neuronas: una sensorial (receptora) y una motora (efectora). Los botones terminales de las neuronas sensoriales entran en contacto con dendritas, cuerpos celulares y axones de las neuronas efectoras. Estas pequeñas estructuras contienen vesículas sinápticas que guardan en su interior el neurotransmisor acetilcolina, el cual facilita la transferencia de impulsos nerviosos de una neurona a otra y a órganos efectores no neuronales, como glándulas o músculos.

Cuando llega un potencial de acción a la terminal de un axón, la membrana de la terminal se despolariza para que puedan penetrar iones de calcio y se promueva la fusión de vesículas sinápticas con la membrana presináptica. El neurotransmisor contenido en las vesículas sinápticas se libera por exocitosis hacia la brecha o espacio sináptico, de donde se difunde hacia el exterior, para unirse a receptores en la membrana postsináptica, y conducir a la despolarización de la membrana, y con ello, a la generación de un potencial de acción de la célula blanco.

Todo el proceso sináptico es dependiente de proteínas y sustancias transmisoras como: acetilcolina, monoaminas, glicina, ácido glutámico y GABA.

Una neurona se conforma con un pericarion o cuerpo celular y por sus procesos: axón y dendritas. En los axones tiene lugar el transporte axónico, que puede ser de dos tipos: anterógrado y retrógrado.

El sistema de transporte retrógrado es importante en el reciclamiento de proteínas, y neurotransmisores intraaxónicos, así como en el movimiento de sustancias extraneurales, desde terminaciones nerviosas hasta la neurona. Este tipo de transporte es mucho más rápido que el anterógrado.

Las sustancias que son transportadas viajan contenidas en las mitocondrias o vesículas del retículo endoplasmático liso. Dichas sustancias constituyen enzimas metabólicas de neurotransmisores.

Existen métodos neuroanatómicos que permiten estudiar la conectividad neural. Ellos se basan en la incorporación de marcadores radiactivos en proteínas del pericarion neuronal.

La membrana celular desempeña una función determinante en la transmisión neural. Dicha transmisión cambia de acuerdo con el tipo de fibras nerviosas implicadas (mielínicas y amielínicas). En las fibras amielínicas el impulso eléctrico se conduce gracias al movimiento de iones a través de la membrana celular iónica desestabilizada. Dicha membrana permite la entrada de iones de sodio y la salida de iones de potasio dando como resultado una reversión localizada de la carga de la membrana celular. Seguidamente se genera una desestabilización de los segmentos adyacentes a la membrana, lo que genera la propagación de un potencial de acción. A continuación se restablece la diferencia entre el potencial de reposo afuera y adentro del axón de la membrana antes permeable.

Las fibras mielinizadas, por su parte, cuentan con el efecto aislante de la mielina, que impide la propagación del potencial de acción a lo largo del axón. Este tipo de conducción es más rápida.

Gracias a la microscopia electrónica se sabe que casi todos los axones mayores de un micrómetro de diámetro están mielinizados. La mielinización en el SNC está a cargo de células nerviosas de tipo oligodendrogiales.

Hoy se sabe que muy probablemente el SNC no es estático o rígido y que pueden crearse o reorganizarse los circuitos neuronales tras lesiones neurológicas. Esta

propiedad del sistema nervioso se conoce como plasticidad neuronal. Durante este proceso, los axones no afectados, desarrollan brotes axónicos que crecen y forman otros contactos sinápticos para reemplazar a los que se perdieron.

Desde la neurofisiología, el aprendizaje se entiende como una función multimodal del cerebro, dado que implica la interacción de múltiples áreas corticales de manera simultánea. Así las cosas, se sabe que la corteza cerebral puede estudiarse dividida (según la clasificación de Brodmann) en 52 áreas citoestructurales, de las cuales seis son sensoriales primarias (somestésica, visual, auditiva, gustativa, olfatoria y vestibular); tres son motoras (primaria, suplementaria y premotora); dos están vinculadas con la función del lenguaje (áreas de Wernicke y de Broca en el hemisferio izquierdo). Las demás áreas cumplen funciones de asociación. Es importante destacar, que las áreas situadas en la corteza prefrontal actúan en la función ejecutiva, la emoción y la conducta social. En el proceso de aprendizaje, dicha corteza es determinante, dado que permite al sujeto exteriorizar el aprendizaje y tomar decisiones al momento de enfrentarse a la solución de problemas.

La corteza cerebral recibe fibras de procedencia interna y externa. Las fibras de origen interno incluyen la corteza del mismo hemisferio y el hemisferio contralateral. En cambio, las aferencias externas comprenden el tálamo y fuentes subcorticales no talámicas.

Las aferencias talámicas están relacionadas directamente con la respuesta de despertamiento y de vigilia.

Las aferencias extratalámicas fueron descritas recientemente y se dividen en:

- Aferencia monoaminérgica: Que a su vez involucra las aferencias:
  - Serotoninérgica: Procedente del mesencéfalo, y relacionada con el control del dolor, la emoción y el sueño e inhibición de la actividad espontánea.
  - Noradrenérgica: Procedente del puente de Varolio, y asociada con el procesamiento de la información del orden más alto y el estado de despertamiento.
  - Histaminérgica: Procedente del hipotálamo, y de función desconocida.

- Colinérgica: Importante en la acción de despertamiento y en la motivación. Vinculada con el inicio de la pérdida de la memoria en la enfermedad del Alzheimer.
- Aferencia gabaérgica: Tiene su origen en el área de Broca y termina en el hipocampo.

La corteza cerebral también presenta un sistema de eferencias que son:

- Vía corticoespinal: Relacionada con el movimiento volitivo. Se dirige hacia la medula espinal en su región dorsal.
- Vía corticoreticular: Se proyecta hacia la formación reticular del tallo cerebral. Participa en funciones autónomas.
- Vía corticobulbar: Se proyecta a los núcleos motores de los pares craneales (nervios): trigémino, facial, glosofaríngeo, vago, accesorio e hipogloso. Aportan a la función motora en las áreas inervadas por dichos nervios.
- Vía corticopontina: Implicada en la coordinación y regulación del movimiento.
- Vía corticotalámica: Es en si misma un mecanismo de retroalimentación, mediante el cual influye la corteza cerebral en la actividad del tálamo.
- Vía corticohipotalámica: Conecta fibras que surgen en la corteza prefrontal, el giro del cíngulo, la amígdala (estructura del sistema límbico encargada principalmente del control de las emociones) y otras estructuras cercanas al tálamo.
- Vía corticoestriada: Relacionada con el sistema límbico y las áreas corticales de asociación.

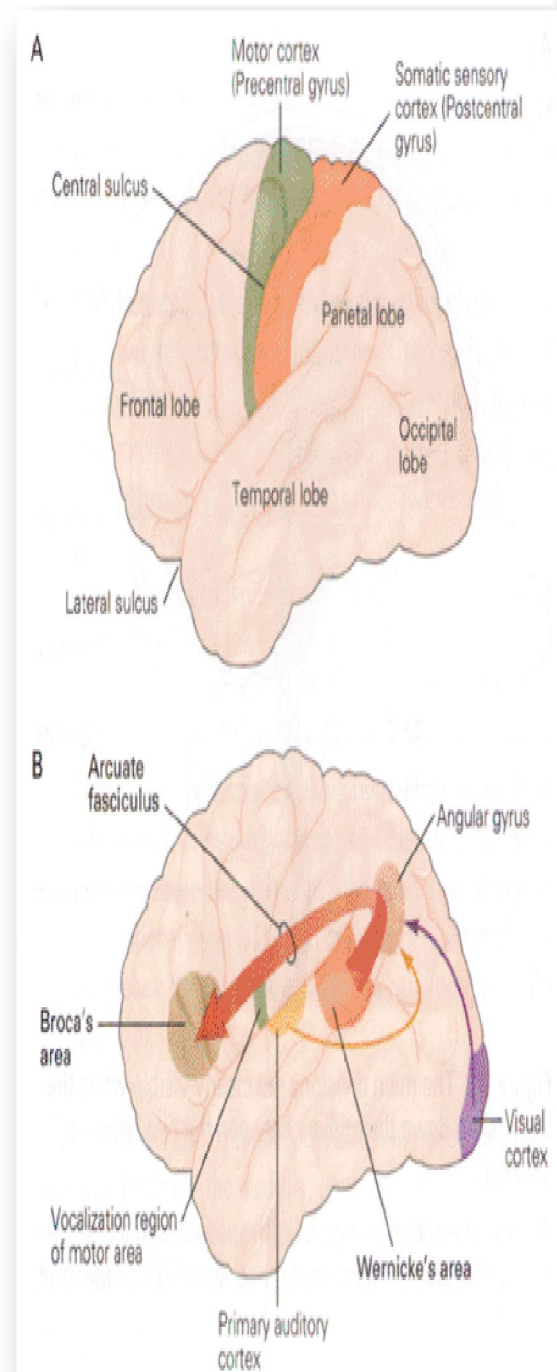
Neurofisiológicamente, el lenguaje constituye un medio arbitrario y abstracto para representar procesos de pensamiento mediante frases y formular conceptos o ideas por medio de palabras, de ahí, que el lenguaje se entienda como eje transversal del proceso de aprendizaje.

Casi todos los componentes del sistema del lenguaje se sitúan en el hemisferio izquierdo, que es el hemisferio dominante del lenguaje en el 95% de los seres humanos. Las estructuras implicadas en el sistema del lenguaje interactúan, haciendo posible comprender y programar los símbolos necesarios para la comunicación. Como ya se ha mencionado, son las áreas de Wernicke y Broca, los elementos corticales más relevantes a nivel lingüístico.

El área de Wernicke está alojada en la parte posterior del giro temporal superior (área 22 de Brodmann) incluido el giro angular de esta región cortical (área 39 de Brodmann). La función de esta área es la comprensión del lenguaje hablado y escrito. El lenguaje hablado se percibe inicialmente en el área auditiva primaria (41 y 42 de Brodmann) y luego se transmite a Wernicke, donde se comprende.

El área de Broca se sitúa en la parte posterior del giro triangular y el giro opercular adyacente en el giro frontal inferior del hemisferio dominante (áreas 44 y 45 de Brodmann). El área de Broca se comunica con el área de Wernicke a través del fascículo arqueado, cuyo deterioro deriva en la incapacidad para repetir patrones de lenguaje hablado.

Figura 1. Tomado de Kandel, et al. (2000)





El funcionamiento de Broca, depende de un sistema de coordinación para la vocalización, que se proyecta a la cara, la lengua, las cuerdas vocales y áreas faríngeas de la corteza motora para la articulación del habla.

Estudios recientes han demostrado que la función de Broca también se relaciona con el reconocimiento de señas manuales.

Implicada en el aprendizaje, también se encuentra la corteza prefrontal, la cual se activa en la conducta afectiva, el juicio y el raciocinio, además de la toma de decisiones, la priorización y la planeación. Además, en esta corteza se aloja la memoria de trabajo o a corto plazo, se asigna la atención y se controla la velocidad de procesamiento.

La corteza prefrontal se interconecta con las cortezas de asociación de otros lóbulos, con el hipotálamo, el tálamo y la amígdala. Así, puede recibir información sobre todas las modalidades sensoriales y estados motivacionales y emocionales.

Hablar de aprendizaje, implica también hablar de sistema límbico, un sistema sumamente complejo en el que se interconectan una multiplicidad de vías y circuitos recíprocos.

Los principales componentes del sistema límbico son: la formación hipocámpica, la amígdala, el área septal y la corteza entorrinal. Ellas se conectan de manera tal que pueden integrar información exteroceptiva e interoceptiva para conservar la estabilidad emocional, la capacidad de aprendizaje y la función de la memoria. Entre las conexiones más importantes de este sistema, se destaca la conexión con la corteza prefrontal, lo que permite la articulación de las emociones con el inicio de la conducta.

El hipocampo es una estructura que contiene millones de neuronas y que cuenta con un sistema de vías aferentes y eferentes, entre las que se destacan:

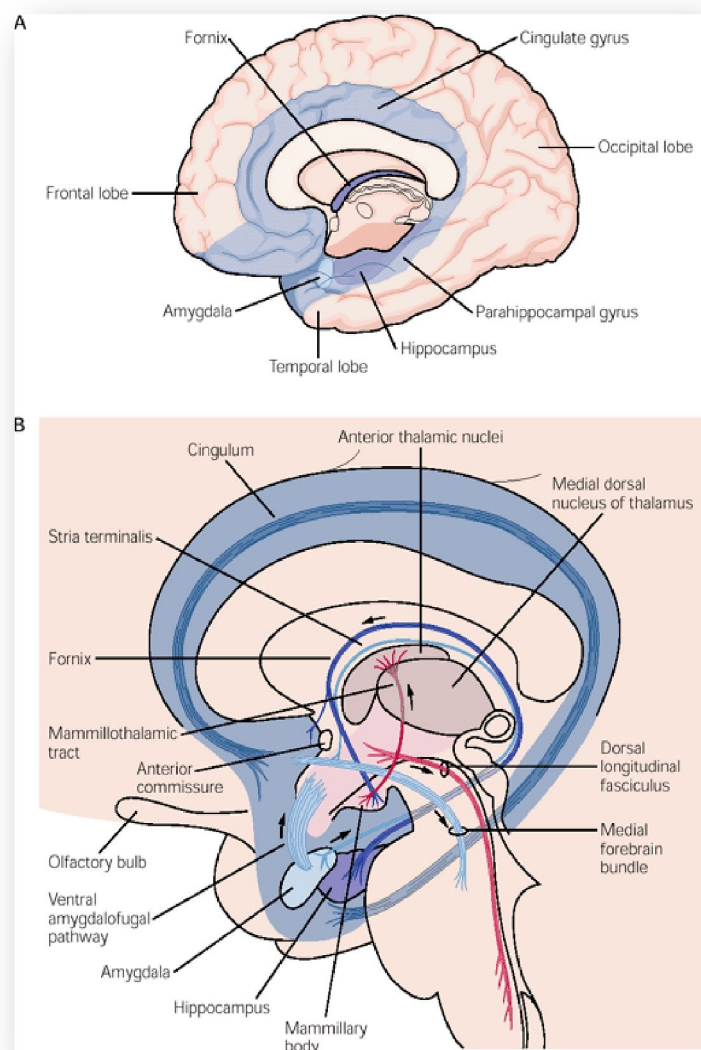
- Vías aferentes: Provenientes de:
  - Área septal
  - Giro dentado
  - Tálamo e hipotálamo
  - Corteza límbica
  - Amígdala (esta vía constituye la base anatómica para el efecto de la emoción en la función de la memoria).

- Locus ceruleus, nucleos del Rafe (a través de esta vía, llegan al hipocampo vías serotoninérgicas y dopaminérgicas que ejercen un efecto modulador en la función de la memoria).
- Vías Eferentes: Dirigidas hacia:
  - Área entorrinal
  - Cuerpo mamilar
  - Tálamo
  - Subículo
  - Núcleos septales
  - Corteza frontal

Todas estas conexiones hacen posible que el hipocampo desempeñe un papel importante en el proceso de atención y alerta, aunque su función más importante tiene que ver con la memoria. Hoy se sabe que el hipocampo es importante para la memoria declarativa, la memoria de hechos, palabras y datos que pueden traerse a la mente y analizarse conscientemente.

La memoria declarativa implica el reconocimiento episódico, semántico y basado en la familiaridad. La memoria episódica, por su parte tiene que ver con el recuerdo de acontecimientos pasados con una sensación de familiaridad personal. El hipocampo izquierdo se especializa en la memoria verbal, y el derecho en la no verbal.

Otras dos estructuras también implicadas en el aprendizaje que se consideran parte del sistema emocional o límbico son la amígdala y el área septal.



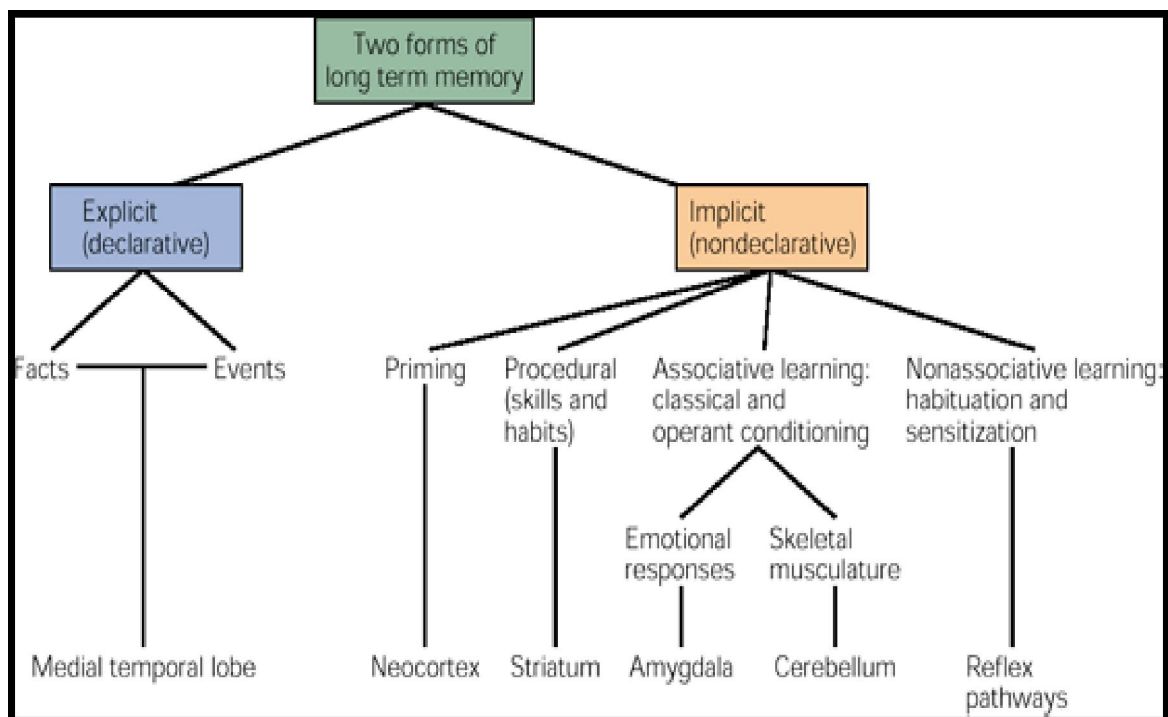


Figura 3: Tomado de Kandel, et al. (2000)

La amígdala se localiza en la punta del lóbulo temporal y presenta una complicada conectividad neuronal que permite vincularla con las siguientes funciones:

- Efectos autónomos: frecuencia cardíaca, respiración, motilidad gástrica, entre otras.
- Respuesta de orientación: Adaptación del cuerpo y la conducta hacia situaciones nuevas.
- Conducta emocional y consumo de alimentos: Control del miedo, la tristeza, la agresión, felicidad, entre otras.
- Expresión facial: Enlaza la percepción de la cara con la reintegración del reconocimiento de su significado individual y social.
- Reacción de despertamiento: Facilita la actividad de despertar.
- Actividad motora: Relacionada con movimientos rítmicos complejos asociados especialmente a la alimentación.

El área septal, por su parte se ubica cerca al hipocampo. Se conecta con el hipocampo, el hipotálamo, el giro del cíngulo (estructura del sistema límbico donde se origina la motivación) y el tálamo. A esta área se le atribuyen funciones como:

- Conducta emocional: Control de la furia y el grado de expresión de las emociones.

- Consumo de agua: Permite mantener el equilibrio hídrico, determinante en la regulación de todas las funciones metabólicas del organismo.
- Aprendizaje: Regula el tiempo de aprendizaje y está implicada en la aplicación efectiva de las tareas aprendidas.
- Recompensa: Gracias al área septal es posible experimentar sensaciones placenteras tras el logro de algún objetivo.

## **4. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **4.1. Enfoque y Metodología de la Investigación**

La investigación está orientada desde un enfoque cualitativo cuyo principal objetivo, en palabras de Catalina Blanco y Martha Barreto (2001), consiste en la obtención de un conocimiento organizado de la realidad social; realidad que comprende todos los objetos y sucesos dentro del mundo socio-cultural tal como es experimentado por el pensamiento del sentido común de los hombres que viven su existencia cotidiana entre sus semejantes, con quienes los vinculan múltiples relaciones de interacción. El objeto central de esta investigación, como lo he expuesto en capítulos anteriores, son los procesos neurofisiológicos que intervienen en el aprendizaje de las ciencias, sin embargo, es claro que la esencia académica de este esfuerzo investigativo es trascender las teorías y los saberes que circulan alrededor de dichos procesos y posicionarlos en un contexto social real, el de los estudiantes que aprenden ciencias naturales y el de los maestros que pretenden enseñarla.

De esta manera apunté a contribuir al mejoramiento de esa realidad social, delimitando y adaptando un cuerpo de conocimientos para que los futuros maestros de ciencias naturales lo apropien crítica y reflexivamente comprendiendo su impacto en el proceso de enseñanza de las ciencias. Así mismo, he pensado en la transformación de la realidad de los alumnos que aprenden ciencias, considerando que a través de las acciones pedagógicas que realicen sus maestros, ellos podrían tomar consciencia de los elementos que condicionan y potencian su proceso de aprendizaje, y hacer de éste, una experiencia más exitosa y significativa para sus vidas.

El alcance de este propósito exige no solamente retomar los conocimientos científicos del área de la neurofisiología que abordan los procesos de aprendizaje humano, sino que se hace también necesario auscultar entre quienes han pensado los contextos, los procesos y las dinámicas relacionadas con el aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela, aquellos elementos articuladores que en consonancia con las descripciones neurofisiológicas, y con las ideas y los interrogantes más comunes de los maestros en formación acerca de cómo aprende el sujeto y cómo se puede potenciar el aprendizaje de las ciencias, permitan darle vida a un espacio de conceptualización que pueda servir para problematizar, reforzar y ampliar los saberes en torno al aprendizaje y proponer otras formas de enseñanza más pertinentes con el sentido del aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela

y con las dinámicas neurofisiológicas que transversalizan y determinan dicho aprendizaje.

Por lo anterior, la metodología de este trabajo de investigación se centró en el paradigma de la *teoría Fundamentada* (A. Strauss, B. Glasser) basada en el *interaccionismo simbólico* (Conceptos retomados de Rodríguez et al, 1999). Este paradigma permite *construir una teoría* (en este caso, cómo el sujeto en términos generales aprende ciencias naturales en la escuela en el contexto de la educación colombiana actual) *a partir de las interpretaciones de las propias personas* (es decir, las asociaciones que como futura maestra de ciencias y estudiante de medicina puedo establecer entre las teorías neurofisiológicas generales del aprendizaje y los procesos concretos asociados al aprendizaje de las ciencias). Este paradigma es característico de investigaciones de corte teórico como es el caso de esta investigación.

#### **4.2. Conformación del corpus y criterios de selección**

Para la determinación del corpus de esta investigación, planteo un *muestreo intencional- teórico* que, Según Ruíz (2003) generalmente se utiliza para generar teorías en donde el analista colecciona, codifica y analiza sus datos y decide qué datos coleccionar en adelante y dónde encontrarlos para desarrollar una teoría mejor a medida que la va perfeccionando.

Así las cosas, el corpus está integrado por:

- Teorías neurofisiológicas del aprendizaje.
- Teorías en educación asociadas al aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela.
- Características, opiniones y problemas asociados al aprendizaje de las ciencias en el marco del sistema educativo colombiano.
- La formación de maestros de la facultad de educación de la U de A en los procesos neurofisiológicos que circulan alrededor del aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela.

La selección de dichos datos estará sujeta a criterios igualmente escogidos en forma deliberada. Ellos son:

- Tiempo: Dados los grandes avances que se han presentado en los últimos años en el campo de la neurofisiología, y el interés de diseñar un espacio de conceptualización que brinde a los futuros maestros de ciencias naturales la

información de punta acerca de los procesos neurofisiológicos que transversalizan el proceso de aprendizaje, se empleará únicamente información publicada en los 10 últimos años y con previo aval por la comunidad científica. Igualmente, en lo que respecta a las teorías en educación y a las consideraciones particulares asociadas al aprendizaje de las ciencias naturales en el marco del sistema educativo colombiano, se tendrán en cuenta únicamente los planteamientos teóricos y las discusiones que en la actualidad continúan teniendo eco en el discurso educativo en el cual son formados los maestros de ciencias naturales en Colombia, y concretamente en la Facultad de Educación de la UdeA.

- Personas: La información del tipo opinión que tendrá lugar en la investigación provendrá de estudiantes de la facultad de Educación de la Universidad de Antioquia, dado que constituyen la población hacia la cual se focalizan los resultados finales de la investigación.
- Lugar y contexto: Aunque para efecto de objetividad y riqueza teórica y conceptual, la investigación contará con teorías e ideas pensadas en y para contextos diversos de aplicabilidad, los análisis y las discusiones centrales de la investigación estarán focalizados al contexto del sistema educativo colombiano y de la facultad de educación de la universidad de Antioquia, concretamente a los estudiantes de Lic. en ciencias naturales y Ed. ambiental.

#### **4.3. Técnicas de recolección de la información**

El proceso de recolección de información se llevará a cabo a partir de las siguientes técnicas:

- Análisis documental: Según Quintana, et al (2006), el análisis documental constituye el punto de entrada a la investigación. Está basado en los documentos fuente de la investigación, los cuales pueden ser de naturaleza diversa: personales, institucionales, grupales, formales e informales. A través de ellos es posible obtener información valiosa para lograr describir los acontecimientos rutinarios, así como los problemas y reacciones más usuales de las personas o cultura objeto de análisis, asimismo, para lograr revelar los intereses y las perspectivas de comprensión de la realidad, que caracterizan a quienes han escrito los documentos. Para dicho propósito, se considerarán los manuales recientes de neurofisiología, algunas producciones de corte educativo que abordan aspectos relacionados con los procesos de aprendizaje de las ciencias en la escuela, algunos documentos oficiales del Ministerio de Educación Nacional que describen los fundamentos de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en las Instituciones Educativas de nuestro país que sirvan como referente para el diseño del espacio

de conceptualización "Bases neurofisiológicas del aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela" dirigido a estudiantes de la facultad.

El abordaje de dichos textos será realizado con base en las 5 acciones que Quintana define para el análisis documental, a saber:

- Rastreo e inventario de los documentos existentes y disponibles.
  - Clasificación de los documentos inventariados.
  - Selección de los documentos más pertinentes para los propósitos de la investigación.
  - Lectura en profundidad del contenido de los documentos seleccionados, para extraer elementos de análisis.
  - Lectura en forma cruzada y comparativa de los documentos en cuestión, ya no sobre la totalidad del contenido de cada uno, sino sobre los hallazgos previamente realizados. Este proceso, de acuerdo con Quintana (2006), permite construir una síntesis comprensiva total sobre la realidad humana analizada.
- Entrevistas individuales estructuradas: Siguiendo con Quintana (2006), esta técnica se caracteriza por la preparación anticipada de un cuestionario guía que se sigue, en la mayoría de las ocasiones, de una forma estricta aun en su orden de formulación. El cuestionario busca proteger la estructura y objetivos de la entrevista. Aun así, con cada una de las respuestas a las preguntas del cuestionario, el investigador puede explorar aspectos derivados de las respuestas proporcionadas por el entrevistado.

Se realizarán entrevistas a estudiantes y profesores de la facultad de Educación, que arrojen información relacionada con las concepciones que tienen los maestros y los maestros en formación de nuestro contexto más cercano (la facultad de educación) en torno a los procesos neurofisiológicos relacionados con el aprendizaje de las ciencias naturales, y la opinión que les merece la inclusión en el pensum de la licenciatura, de un espacio de conceptualización que posibilite el abordaje, de teorías, concepciones, propuestas e interrogantes asociados con la temática de esta investigación y el posible impacto que podría tener dicho espacio en sus futuras prácticas pedagógicas.



Para efectos del análisis de las entrevistas, se consideraran, como recomienda Quintana (2006), no solamente las ideas registradas, sino también el contexto de lenguaje no verbal en el que estas ideas aparecen.

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1. Entrevistas

La entrevista fue aplicada a trece estudiantes y profesores de la Licenciatura en ciencias naturales y educación ambiental de facultad de educación de la Universidad de Antioquia. Se seleccionaron estudiantes que cursaban los últimos semestres de la carrera (octavo semestre en adelante) y profesores que tuvieran a su cargo cátedras afines al tema de la investigación. La identidad de todas las personas que tomaron parte en la entrevista se mantiene bajo reserva.

La entrevista constaba de ocho preguntas clasificadas así: 3 preguntas de noción que buscaban permear el nivel de conocimiento de los estudiantes y profesores acerca de la neurofisiología del aprendizaje de las ciencias, y 5 preguntas de opinión, a través de las cuales fue posible medir hasta que punto estaban de acuerdo con la importancia de formar a los futuros maestros de ciencias en la neurofisiología del aprendizaje, como estrategia para potenciar sus competencias pedagógicas, y en ese sentido, incluir un curso de bases neurofisiológicas del aprendizaje de las ciencias orientado a su aplicación en la práctica pedagógica, en el pensum de la licenciatura en ciencias naturales. Dichas preguntas apuntaban a las siguientes categorías de análisis:

- Estructuras biológicas implicadas en el aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela.
- Procesos cognitivos que realiza el sujeto durante el aprendizaje de las ciencias naturales.
- Condiciones neurofisiológicas implicadas en el aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela.
- Posibilidad del maestro de potenciar los procesos cognitivos asociados al aprendizaje de las ciencias a partir de sus diseños didácticos.
- El acceso de los estudiantes de la licenciatura en ciencias naturales de la facultad de educación al conocimiento sobre los procesos neurofisiológicos asociados al aprendizaje de las ciencias en la escuela.
- Impacto de la formación de los futuros maestros de ciencias en las bases neurofisiológicas del aprendizaje en sus prácticas pedagógicas.
- Inclusión en el pensum de la licenciatura de un espacio de formación que posibilite el abordaje de las bases neurofisiológicas del aprendizaje de las ciencias y propuestas didácticas asociadas.

- Relevancia (en el marco del sistema educativo colombiano) de un maestro que comprende como aprende el sujeto, planea, ejecuta y reflexiona su práctica basado en dicha comprensión.

El proceso de análisis de las entrevistas siguió el curso que se presenta a continuación:

- Inicialmente se sistematizaron las respuestas de los entrevistados en un cuadro que las relacionaba con su categoría de análisis correspondiente.
- A continuación se analizaron diferencias y similitudes en las respuestas. A partir de dicho análisis fue posible agrupar algunas respuestas en subcategorías en las que podían convivir por su nivel de similitud.
- Posteriormente se realizaron gráficos estadísticos que relacionaban las categorías de análisis, las subcategorías de respuestas y los entrevistados.
- Finalmente se analizó cada una de las subcategorías de respuestas a partir de un proceso de triangulación con: el marco teórico, la postura de otros entrevistados (instrumento mismo), el análisis documental (otro instrumento de recolección información considerado dentro de la investigación) y la postura personal de la investigadora.

### SISTEMATIZACION DE LAS RESPUESTAS A LA ENTREVISTA

CATEGORÍAS	RESPUESTAS
<b>Estructuras biológicas implicadas en el aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela (Noción)</b>	<p>"Creo que todas las estructuras están implicadas en el aprendizaje, solo que unas más que otras, aparte del razonamiento que se debe hacer (hablamos del cerebro), algunos sentidos como el oído y la vista requieren mayor utilización en las clases, puesto que casi todo el conocimiento se adquiere por dichos sentidos".</p>
	<p>"Las estructuras neuronales y todas sus subestructuras, los sentidos y todas las estructuras corporales que permiten manipulación".</p>
	<p>"Desde la parte instrumental encuentro que los niños necesitan sus cinco sentidos, ellos ayudan a identificar su ambiente que los rodea, y de esa forma el docente puede guiar al estudiante de una forma adecuada, recordemos que cada sujeto se pregunta sobre lo que él tiene a la mano. Si el docente le da un objeto a un niño y el hace preguntas, desde ahí, esos cinco sentidos se convierten en las estructuras que necesita para el aprendizaje, estimulando su mente para interrogarse más".</p>
	<p>"En primer lugar hablamos del cerebro en general, los lóbulos, especialmente el frontal, las estructuras biológicas encargadas de la visión, la audición y de las funciones motoras, dada su importancia en la percepción del mundo exterior".</p>
	<p>"Las estructuras son: los órganos de los sentidos, a través de las funciones que cumple el cerebro".</p>
	<p>"Las estructuras son el cerebro y los órganos de los sentidos"</p>
	<p>"Cerebro".</p>
	<p>"Sistema nervioso central".</p>
	<p>"Las estructuras biológicas implicadas en el aprendizaje de las ciencias naturales pueden ser: los órganos de los sentidos, las neuronas implicadas en la percepción de estos órganos y el trabajo cerebral en general".</p>
	<p>"Cerebro, órganos de los sentidos, ya que estos son los que permiten la entrada de información para que se del aprendizaje".</p>
	<p>"Los sentidos y todos los órganos que los conforman".</p>
	<p>"Las estructuras cerebrales, en especial la corteza".</p>
	<p>"El encéfalo en su totalidad. Las vías de carácter sensorial que</p>

	<p>proviene de distintas regiones del cerebro convergen en el tálamo que es el centro desde el que se distribuye la información. El lóbulo frontal se encarga del procesamiento de la información e interviene en procesos como: resolución de problemas, razonamiento, formación de conceptos y representación. El sistema límbico también está implicado, y trabaja junto con el hipocampo en procesos de asociación, memoria y motivación".</p>
--	--

<p><b>Procesos cognitivos que realiza el sujeto durante el aprendizaje de las ciencias naturales (Noción)</b></p>	<p>"El aprendizaje requiere de voluntad, además se debe tener concentración. Es bueno conectar el aprendizaje obtenido en clase con la vida cotidiana y con otras áreas del conocimiento".</p>
	<p>"La interacción neuronal".</p>
	<p>"En primer lugar el sujeto necesita sus sentidos para preguntarse qué es lo que tiene al frente, segundo, la pregunta estructurada de que puede ser, tener argumentos sólidos, ya sea de parte de su guiador o sus conceptos previos y por último, resolución de su problema".</p>
	<p>"Entiendo el aprendizaje como un proceso cognitivo complejo, donde intervienen funciones como la ejecutiva, la audición, la visión, la planeación, la ejecución de proyectos e incluyen procesos como la atención, etc".</p>
	<p>"Memoria, lectura, análisis, comprensión".</p>
	<p>"Lectura, escritura, oratoria, escucha".</p>
	<p>"Generación de hipótesis, comprensión, clasificación, verificación".</p>
	<p>"Involucra a todos los sistemas".</p>
	<p>"La experimentación, el análisis de su entorno y la comprensión de ello".</p>
	<p>"Observación, argumentación, formulación de hipótesis, correlación de información, cambios conceptuales, asociación</p>

	de conceptos”
	“Escritura, observación, lectura de contexto”.
	“Asimilación de ideas, relación con conocimiento relacionado y construcción de conceptos”.
	“Los procesos cognitivos básicos (atención selectiva y observación) y superiores (comprensión, razonamiento, inferencia y pensamiento analógico). Los primeros son indispensables para realizar caracterizaciones, establecimiento de diferencias y relaciones en contextos científicos, especialmente, en aquellos que involucran asuntos de conocimiento con carácter perceptible; los segundos Se entienden en el marco de la relación pensamiento-lenguaje. Son indispensables en el aprendizaje de asuntos científicos de carácter teórico. Estos procesos determinan y dan sentido a la memoria, que es igualmente determinante en el aprendizaje de las ciencias.

Condiciones neurofisiológicas implicadas en el aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela (Noción)	"Se deben tener estructuras completas, sanas y funcionales a nivel biológico. En muchos casos se presentan obstáculos en el aprendizaje debido a malformaciones en el cerebro, patologías, desnutrición, malnutrición, etc."
	"No sé".
	"No sé"
	"Neurofisiologicamente considero que la parte encargada de la visión es muy importante para el aprendizaje de las ciencias. Igual sucede con el lóbulo frontal, encargado de la función ejecutiva y la planeación. Igual considero que la parte emocional y anímica es muy importante a nivel de las actitudes frente a la ciencia".
	"El cuerpo humano y su relación con lo físico y lo social"
	"Memoria, atención, percepción"
	"No sé".
	"Funciones cognitivas superiores: percepción, memoria, razonamiento analógico, generalización, inferencia deductiva, producción del discurso, etc. Requiere además voluntad, significado lógico y psicológico".

	"El buen funcionamiento tanto mental como físico a nivel general, que permita que el estudiante pueda captar la información de forma adecuada".
	"El interés. Según Ovide Decroly, el aprendizaje de cualquier concepto esta en relación directa con el interés".
	"Funcionamiento adecuado de todos los sentidos".
	"Como la ciencia es una construcción, casi siempre, lógica, una mayor capacidad espontanea o desarrollada en el hemisferio encargado de la lógica posibilita de mejor manera el aprendizaje de las ciencias".
	"Condiciones de maduración del sistema nervioso central. No todo es enseñable en cualquier etapa de la vida. Cada etapa implica exigencias distintas para que pueda producirse el aprendizaje de las ciencias. Por ejemplo: no se trata a los 7 años de que los niños comprendan las explicaciones de la ciencia, sino que se dejen impactar por ella. Contextos de aprendizaje que favorecen la potencialización de las habilidades del pensamiento de los niños determinan la maduración del sistema nervioso, así como el moldeamiento y la preparación de las estructuras biológicas al aprendizaje de las ciencias. Contextos culturales ricos a nivel de conocimiento que impliquen buen acompañamiento familiar, recursos adecuados para el aprendizaje, buenas orientaciones pedagógicas y acceso a la información favorecen el desarrollo intelectual de los estudiantes.

Posibilidad del maestro de potenciar los procesos cognitivos asociados al aprendizaje de las ciencias a partir de sus diseños didácticos (Opinión)	"Si, incluso creo que es el mayor factor que facilita u obstaculiza el aprendizaje, puesto que según la voluntad y las estrategias didácticas que utilice el profesor en diferentes situaciones se da un mal o buen resultado".
	"Si, a través de diferentes actividades que permitan actividad constante de diferentes estructuras que fortalecen el conocimiento, como la memoria".
	"Claro, es lo que debe hacer cada docente en su labor, llevando al estudiante a preguntarse y resolver".
	"Si, diseños didácticos donde se incluyan la planeación y ejecución de prácticas de laboratorio influyen en el correcto

	funcionamiento de estas partes neurofisiológicas. De este mismo modo, diseños didácticos innovadores pueden potenciar la atención, gracias a las nuevas experiencias que presentan”.
	“Si, porque el estudiante puede aprender más fácil a través de un modelo físico que de un simple texto o teoría”
	“Si, por estrategias que posibiliten los procesos cognitivos, como repetición, gráficos, etc.”
	“Si, porque hace que se comprendan y se trabajen mejor”.
	“Si, tiene que contar con el deseo de los estudiantes y con el conocimiento anterior. Después se puede aplicar cualquier estrategia que sea pertinente”.
	“Si, el papel del maestro es fundamental en los procesos cognitivos del estudiante, pues puede hacer diversas actividades que puedan potenciar el aprendizaje significativo, como por ejemplo, encontrar la forma de que el estudiante pueda conectar lo aprendido con su entorno”.
	“Se puede decir que hay una relación proporcional entre el buen desempeño de los estudiantes (procesos cognitivos) y la planeación didáctica, en el sentido que mediante la programación de actividades intencionadas, secuenciadas y en orden a los procesos cognitivos que regularmente desarrollan los estudiantes se puede contribuir al logro de competencias”.
	“Si, respondiéndose a sí mismo la pregunta ¿Cómo aprende el otro?”.
	“Se puede decir que la mayor dificultad a la hora de enseñar las ciencias es la poca claridad en la expresión de los conceptos. Los modelos didácticos-no escueleros-son la mejor forma de despertar interés y de transmitir una aproximación de las ideas”.



"Si, siempre y cuando se conciba la didáctica como una producción autóctona, donde el maestro analiza la pertinencia del discurso e intenta ponerlo en el lenguaje de lo "enseñable", dinamizando el conocimiento para potenciar los aprendizajes. El maestro puede a través de sus diseños didácticos potenciar el aprendizaje de las ciencias, siempre y cuando tenga en cuenta que el aprendizaje no se produce como consecuencia de la enseñanza, sino que es un proceso individual que se construye con base en las habilidades del sujeto y que se puede fortalecer propiciando ambientes de aprendizaje pensados desde y hacia las necesidades del sujeto que aprende".

El acceso de los estudiantes de la licenciatura en ciencias naturales de la facultad de educación de la UdeA al conocimiento sobre los procesos neurofisiológicos asociados al aprendizaje de las ciencias en la escuela (Opinión)	"No, creo que se da más evidente en educación especial, y dichas particularidades le conciernen a todos los maestros en formación".
	"No sé".
	"No tengo buen conocimiento".
	"No, creo que la información que ofrece la carrera no es suficiente para dar cuenta del proceso de aprendizaje basado en las estructuras neurofisiológicas"
	"Si, porque tenemos acceso a las cátedras de neuropsicología, procesos cognitivos, entre otras".
	"Si, por los cursos ofrecidos en el pensum".
	"Es insuficiente, solo se retoma en neuropsicología".
	"No, ya que a pesar de que se brindan elementos, no son relacionados, interiorizados a su aplicación en la escuela, en general es un conocimiento aislado".
	"Si, por ejemplo procesos cognitivos, etc."
	"En realidad las nociones abordadas con respecto a los procesos neurofisiológicos en materias como desarrollo cognitivo, neuropsicología y procesos cognitivos, se limitan a estudiar procesos más de tipo fisiológico que cognitivo, además se desliga casi en totalidad del contexto educativo colombiano, al no incluir investigaciones realizadas en nuestro medio".
	"Si, porque es una licenciatura muy completa".
"No, en la licenciatura en ciencias naturales es considerado más	

importante el cambio psicológico que el neurofisiológico".

"Los cursos que se ofrecen en la carrera brindan algunas herramientas conceptuales para entender el aprendizaje desde la perspectiva de la neurofisiología, sin embargo no son relacionados a su aplicación en la escuela, o al diseño de propuestas didácticas. Las herramientas conceptuales que se brindan, no solo no consiguen articularse a la didáctica y a la práctica, sino que además no están enmarcadas en referentes que dejen ver claramente la relación entre la enseñanza y el aprendizaje. No hay unicidad en las concepciones al respecto. Además, los profesores de los cursos que abordan este tipo de conocimiento generalmente tienen una formación en la didáctica, pero por fuera de la profundidad al respecto del aprendizaje".

<b>Impacto de la formación de los futuros maestros de ciencias en las bases neurofisiológicas del aprendizaje de las ciencias, en sus prácticas pedagógicas. (Opinión)</b>	"Creo que aumentarían las estrategias a la hora de enseñar, aparte de los valores (como la comprensión) que obtiene el maestro conllevando a mejor formación académica y personal".
	"Sería favorable, pues harían parte del conocimiento que permite implementar estrategias que facilitan el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias".
	"No tengo mucho conocimiento, pero si vemos la palabra fisiología, trata de la neuropsicología y como hacer que el estudiante lo relacione con su entorno"
	"Pienso que la investigación de los docentes y futuros docentes en cuanto al proceso de aprendizaje de las ciencias, teniendo en cuenta sus bases neurofisiológicas sería un buen paso para entender el aprendizaje como proceso biológico, y no solo como proceso cognitivo , es decir, esta inclusión puede traer como consecuencia un proceso complejo entendido desde perspectivas del conocimiento".
	"El impacto sería positivo porque es necesario conocer en esas bases a la hora de estar al frente de un grupo de estudiantes cuando vamos a compartir nuestro conocimiento".
	"Con el conocimiento de los procesos y la experiencia con alguno de los trastornos cognitivos".
	"Seríamos más inteligentes".

	"No la involucran porque las desconoce en articulación".
	"Impactaría de forma positiva en el aprendizaje de los estudiantes, pues el maestro estaría mucho más capacitado para ayudar a desarrollar los procesos cognitivos del estudiante".
	"El mayor aporte sería contribuir a mejorar la planeación de las clases en torno a potenciar los procesos cognitivos y un mejor aprendizaje.
	"Empezando practicas desde los primeros semestres".
	"Considero positivo el impacto de formar maestros en el campo neurofisiológico porque así es más fácil identificar las fortalezas y debilidades del método didáctico a utilizar en cada campo de las ciencias".
	"La formación de los futuros maestros en las bases neurofisiológicas del aprendizaje de las ciencias, aplicadas a la práctica pedagógica, permitiría transformar sus estructuras cognitivas y desarrollar una mayor capacidad metacognitiva, a partir de la comprensión real y funcional del conocimiento, y acerca de cómo aprende el sujeto. Esto podría permitir el esclarecimiento de las relaciones entre la enseñanza y el aprendizaje, posibilitando la realización de diseños didácticos más efectivos y pertinentes, no solo desde el punto de vista de las teorías neurofisiológicas, sino también pedagógicas".

Inclusión en el pensum de la licenciatura de un espacio de formación que posibilite el abordaje de las bases neurofisiológicas del aprendizaje de las ciencias y propuestas didácticas asociadas. (Opinión)

"Sería muy buena e importante la inclusión de dichas temáticas".

"Sería adecuado afianzar y fortalecer algunas que ya están y se refieren a dichos aspectos, tendiendo a crear complementos teóricos y prácticos".

"Es muy interesante, sobretodo como tomar de diferentes medios o formas el análisis docente sobre los estudiantes, me gustaría saber más. Necesitamos saber más a fondo el comportamiento mental de nuestros estudiantes".

"Creo que es una buena alternativa, no solo por las consecuencias didácticas en el aula de clase, sino, también por las innovadoras perspectivas que presenta en el ámbito de la investigación".

	“Es buena porque es necesario tener un espacio para adquirir y compartir conocimientos acerca del desarrollo intelectual”.
	“Es fundamental, pues en procesos de investigación se logra una mejor exploración de la temática y unas posibles opciones como resultados para las practicas pedagógicas”.
	“Muy interesante, porque es un tema que cada día se incluye mas en el medio del conocimiento”.
	“Si, si hay una comprensión real y funcional del conocimiento”.
	“Opino que la inclusión de estos espacios de formación en el pensum de la carrera sería muy positivo y con mucho impacto en el desarrollo de las futuras practicas docentes”.
	“Muy pertinente, siempre y cuando parta de las realidades contextuales del sistema educativo colombiano”.
	“Una muy buena opción, porque nos forma más completamente y hace que tengamos en cuenta la posibilidad de retroalimentar nuestros conocimientos. Además nos hace profesionales más completos”.
	“Considero que para un maestro debe ser tan importante lo que aprende su estudiante, como la manera como lo aprende”.
	“La inclusión sería absolutamente pertinente y necesaria, y permitiría hacer mas explicita la relación entre enseñanza y aprendizaje”.

Relevancia (en el marco del sistema educativo colombiano) de un maestro que comprende como aprende el sujeto, planea, ejecuta y reflexiona su práctica, basado en dicha comprensión.  
(Opinión)

"Si, puesto que esto incumbe a todos los maestros de todas las áreas".

"Si, y va de acuerdo a los intereses individuales".

"Considero que el gobierno no tiene en cuenta esto".

"Pienso que un maestro que comprende el aprendizaje desde una perspectiva neurofisiológica cobraría gran relevancia en lo concerniente a la práctica pedagógica y a la investigación".

"Es necesario que los maestros tengan las bases psico-sociales relacionadas con el aprendizaje de cada estudiante".

"No, el sistema educativo colombiano minimiza la labor del maestro a un simple instructor, sin tener en cuenta su formación y capacidad pedagógica en torno a las diferentes temáticas".

"Es muy difícil detectarlo, porque las normas impuestas legalmente requieren resultados sin importar como fue el proceso y si en algunos alumnos el aprendizaje es diferente y se logra en tiempos diferentes".

"Si, si se elabora una práctica consciente".

"Si. Todavía hace falta que muchos maestros adopten o incluyan este perfil en su práctica docente".

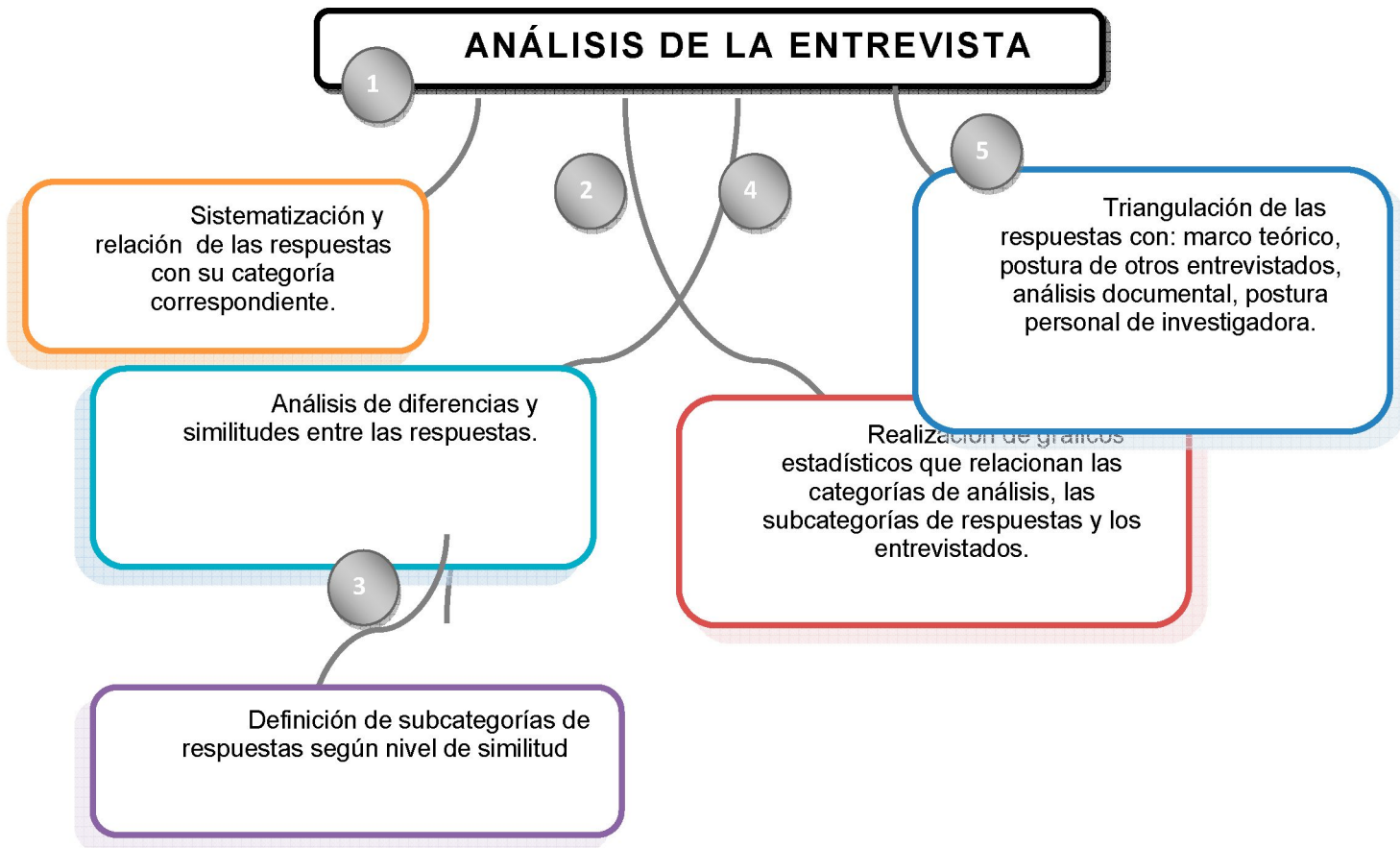
"El sistema educativo colombiano en su parte legal promueve la formación por competencias, lo que deja de lado el interés por los procesos neurofisiológicos y cognitivos del aprendizaje

"No, porque la figura del maestro en el marco de los referentes legales aparece como un administrador del conocimiento, porque la escuela es tomada como una gran empresa".

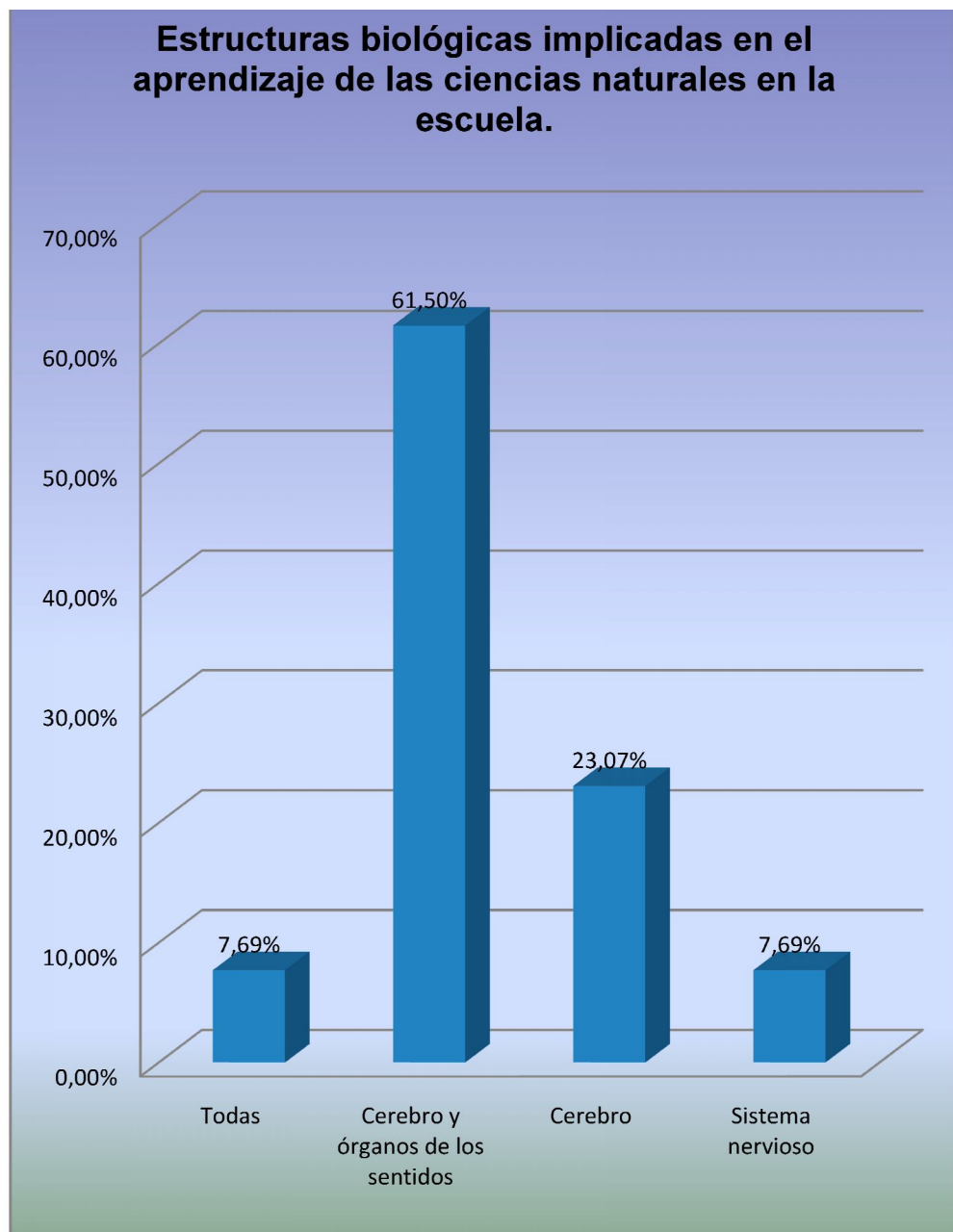
"En algunos casos, todavía existe el caso de que muchos profesores se creen maestros".

"Los referentes hacen mucho énfasis en lo cognitivo. Se plantea en los lineamientos el hecho de que es necesario que el maestro pueda considerar el desarrollo cognitivo al momento de diseñar ambientes de aprendizaje, lo cual debe ser también un obligado en la formación pedagógica que se brinda en la facultad, y en las líneas de investigación de la práctica pedagógica".

## ANÁLISIS DE LA ENTREVISTA



Categoría I: Estructuras biológicas implicadas en el aprendizaje de las ciencias en la escuela



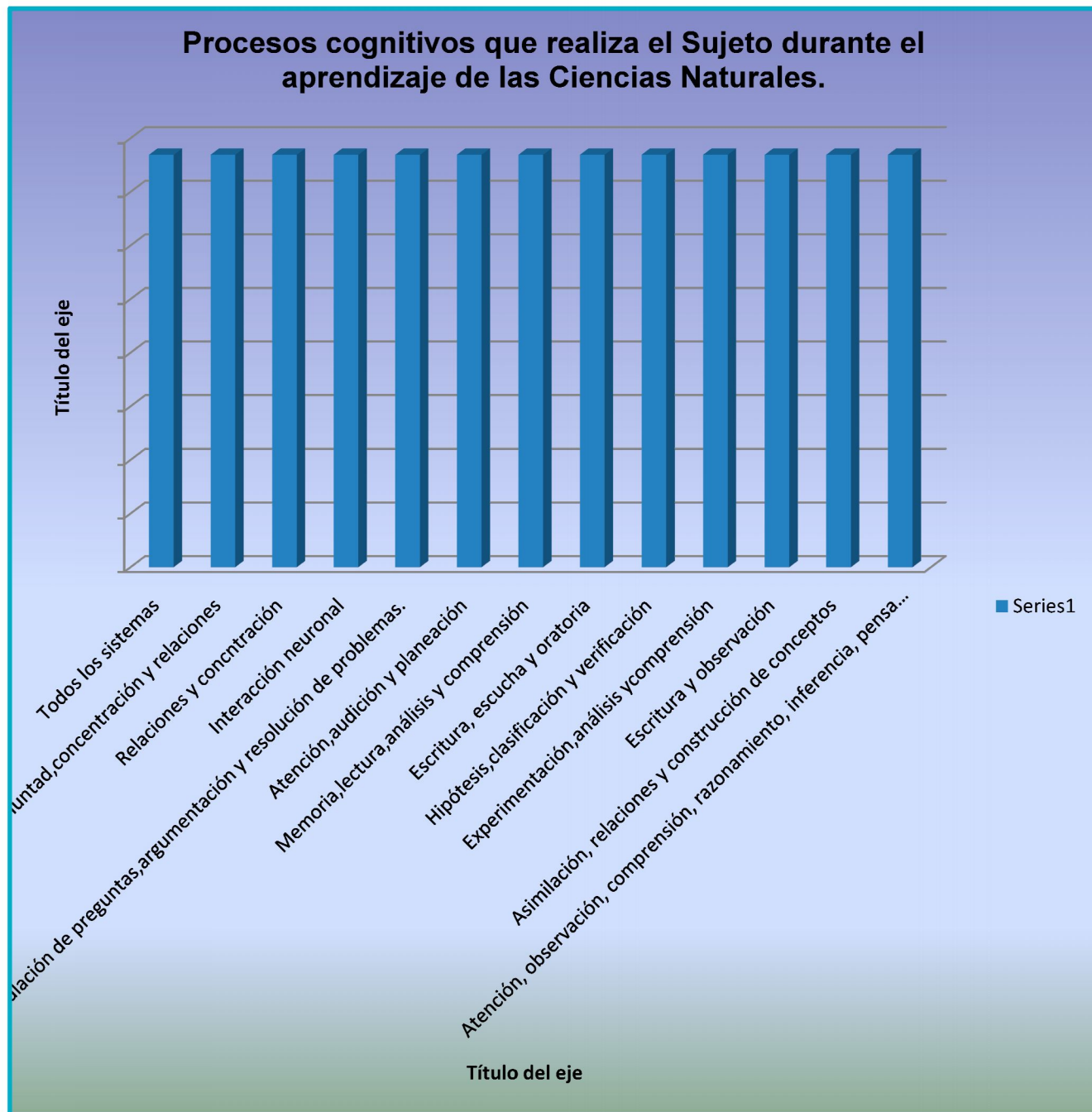
El 61,50% de los profesores y estudiantes de la licenciatura en ciencias naturales de la facultad de educación que fueron entrevistados, asumen que las estructuras biológicas implicadas en el aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela corresponden al

cerebro y a los órganos de los sentidos. Tras esta afirmación es posible deducir que hay una comprensión acertada por parte de los entrevistados acerca de que los órganos de los sentidos actúan de manera complementaria con el cerebro captando la información del mundo exterior que ha de ser decodificada en el cerebro.

El 23,07 % por su parte asumen el cerebro como única estructura biológica responsable del aprendizaje de la ciencia. En esta postura puede coexistir un desconocimiento acerca de la complementariedad de estructuras neuroanatómicas, tales como la medula espinal, y los plexos nerviosos que de ella se derivan, que conducen la información aferente hacia la corteza cerebral, y que se sustentan entre sí para llegar a aprehender la información proveniente del exterior. El resto de los participantes entrevistados (15,3%) aproximadamente, aportan respuestas muy generales a la pregunta que no dejan entrever mucho acerca de su nivel de comprensión al respecto: El 7,69 % responde que la estructura biológica implicada en el aprendizaje de las ciencias es "el sistema nervioso", lo cual puede parecer ruidoso a simple vista, teniendo en cuenta que el sistema nervioso no es una estructura biológica como tal, sino un conjunto de estructuras que interaccionan entre sí a través de conexiones neuronales y vías de conducción nerviosa. Sin embargo, queda claro que hay una comprensión acerca de que el aprendizaje de las ciencias está relacionado con procesos fisiológicos de tipo neuronal. El último 7,69 restante de la población plantea que todas las estructuras biológicas están implicadas en el aprendizaje de la ciencia, lo cual puede ser igualmente cierto, si se tiene en cuenta que en el proceso de aprendizaje de la ciencia en la escuela, la interacción con el mundo exterior a través de las sensaciones y la experiencia física son un componente fundamental. Sin embargo, no deja de ser una respuesta amplia que dificulta el proceso de interpretación.



Categoría II: Procesos cognitivos que realiza el sujeto durante el aprendizaje de las ciencias naturales



*Frente a la pregunta por los procesos cognitivos que realiza el sujeto durante el aprendizaje de las ciencias naturales, todos los entrevistados aportaron respuestas diferentes que dejaron ver sus nociones acerca de la fisiología del aprendizaje. Dichas respuestas pueden sintetizarse en lo siguiente:*

"Todos los sistemas": En este caso es posible que el entrevistado no haya comprendido adecuadamente la pregunta, o bien que confunda los términos "proceso cognitivo" con "sistema", pues no responde en forma lógica a la pregunta por los procesos cognitivos implicados concretamente en el aprendizaje de las ciencias naturales.

"Voluntad, concentración y establecimiento de relaciones": En esta respuesta se evidencia que no hay una comprensión muy clara por parte del entrevistado acerca del significado de "proceso cognitivo".

En esta investigación se entiende por proceso cognitivo, (coincidiendo con Gallegos, et al.) aquellas actividades mentales organizadoras que influyen en la interpretación de la información, en la configuración con la que se fija y evoca la información en la memoria de largo plazo, determinando en parte la respuesta conductual. Desde esta perspectiva no puede considerarse la voluntad como un proceso cognitivo, pero si como una condición para el proceso de cognición. El establecimiento de relaciones y la concentración si corresponden a acciones medidas por procesos neurofisiológicos conducentes a facilitar la fijación de información en la memoria a largo plazo.

"Interacción neuronal": El entrevistado a través de su respuesta demuestra que asocia los procesos cognitivos con procesos de tipo neurofisiológico, sin embargo, no logra especificar a qué tipo de acciones conlleva la interacción neuronal y cuáles son sus implicaciones en el aprendizaje de las ciencias. La interacción neuronal no puede equipararse con un proceso cognitivo, dado que es un aspecto común a muchos otros procesos fisiológicos diferentes de la cognición. De ahí que pueda afirmarse que no hay una comprensión clara por parte del entrevistado acerca de los procesos cognitivos implicados en el aprendizaje de la ciencia en la escuela.

"Formulación de preguntas, argumentación y resolución de problemas": La argumentación y la resolución de problemas corresponden efectivamente a procesos cognitivos importantes implicados en el aprendizaje de la ciencia, especialmente la argumentación, entendida como la capacidad de relacionar datos y conclusiones, de evaluar enunciados teóricos a la luz de los datos empíricos o procedentes de otras fuentes. El razonamiento argumentativo es relevante para la enseñanza de las ciencias, ya que, de acuerdo con Jimenez et al. (2000) uno de los fines de la investigación científica es la generación y justificación de enunciados y acciones encaminados a la

comprensión de la naturaleza. La intención de que los estudiantes aprendan a argumentar en clase de ciencias, no es solamente que logren una lógica discursiva al momento de presentar sus ideas o hipótesis, sino también, que se ejerciten en la toma de decisiones, y que tomen conciencia de los procesos implicados en la elaboración de los razonamientos científicos. De esta manera la instrucción en ciencias habrá cumplido su objetivo fundamental, el de posibilitar al sujeto la participación en la sociedad, no simplemente como un reproductor de ideas y realidades, sino como un creador de condiciones que potencien su calidad de vida y que redunden en pro de los procesos de humanización y transformación de la realidad que habita.

Una propuesta importante a este respecto es la que plantea Jiménez, et al. (2000), de promover en el marco del desarrollo de habilidades argumentativas, la cultura científica dentro del aula, es decir, que el estudiante construya sus argumentos no en base a los estereotipos de la cultura escolar, sino que haga uso de los métodos y los razonamientos propios de la ciencia, y de esta manera aumente sus niveles de comprensión acerca del sentido de la ciencia en el desarrollo social.

Es importante tener en cuenta, que cuando se plantea que el estudiante debe ser capaz de argumentar sus ideas e hipótesis científicamente, no quiere decir necesariamente que tenga que utilizar el lenguaje científico en toda su holística, sino que, debe ser capaz de poner en la palabra unas formas de razonamiento y de discernimiento entre teorías que den cuenta de una apropiación y de una comprensión científica de los fenómenos.

"Atención, audición y planeación": Nuevamente en esta respuesta se hace evidente la confusión acerca del concepto de proceso cognitivo. La audición, si bien es un factor importante que interviene en la captación de información hablada por parte del sujeto, no se asume como un proceso cognitivo porque en sí misma no conduce al aprendizaje. La atención, por su parte (coincidiendo nuevamente con Gallegos, et al.), si es un proceso cognitivo importante que permite anular estímulos del exterior y centrar procesos mentales en un foco específico. Se define como la capacidad de seleccionar la información sensorial y dirigir los procesos mentales.

En relación con la planeación, no queda muy clara la posición del entrevistado acerca de lo que según él, debe planear el sujeto en el proceso de aprendizaje de las ciencias naturales. Como tal, no constituye un proceso cognitivo, pero en términos neurofisiológicos, según Afifi, et al (2006) es una función que realiza el cerebro, concretamente la corteza cerebral en la región prefrontal, y donde también cumple una función el área de Wernicke, que se encarga de la comprensión del lenguaje (lo que va a ser dicho), para que pueda transmitirse un patrón comprendido a través del

fascículo arqueado hacia el área de Broca, desde donde se modula el componente motor del lenguaje.

"Memoria, lectura, análisis y comprensión": Si bien, estos procesos están involucrados en el aprendizaje de la ciencia, también lo están en el proceso de aprendizaje de otros saberes. La lectura, más que considerarse como un proceso cognitivo, debe entenderse como una acción que puede fortalecer o potenciar procesos cognitivos durante el aprendizaje de las ciencias. En el cerebro, según León (2010), la lectura involucra diferentes áreas corticales. Dichas áreas se encuentran en el lóbulo occipital, siendo responsables del reconocimiento visual de letras y palabras, y también en zonas parieto-temporo-occipitales que participan en las asociaciones entre información visual y auditiva. Igualmente están implicadas áreas del lóbulo temporal responsables del reconocimiento de las palabras. El análisis y la comprensión son procesos cognitivos superiores hacia los cuales se orienta la enseñanza de la ciencia en la escuela. La memoria por su parte es determinante en el aprendizaje de la ciencia, aunque claramente no constituye el objetivo de la enseñanza de la misma en la escuela primaria. Al respecto de la memoria, Luria (1979) plantea que es importante la formación de hábitos (repetición continua y duradera de una misma señal) ya que el cerebro entre sus múltiples funciones es capaz de registrar no solo un hecho mismo de producción de una señal, sino que también la frecuencia con que esta aparece, de esta manera el cerebro conserva huellas precisas de estímulos.

La comprensión del lenguaje está asociada con el área de Wernicke; el componente del giro temporal superior del área de Wernicke está relacionado con la comprensión del lenguaje hablado, mientras que el giro angular está vinculado con la comprensión del lenguaje escrito. En relación con el análisis, entendido también como un proceso cognitivo superior, es necesario resaltar que involucra una gran cantidad de conexiones neuronales, pero que tiene como requisito los procesos de asociación y de memoria. Aquí el hipocampo juega un papel determinante, pues es la estructura encargada de la memoria declarativa, la memoria de hechos, palabras y datos que pueden traerse a la mente y analizarse de modo consciente.

"Escritura, escucha y oratoria": Estos tres aspectos no se consideran como procesos cognitivos, sin embargo, pueden potenciarse durante la enseñanza de las ciencias, cuando se emplean para apoyar procesos de análisis, interpretación de información y proposición de ideas al respecto de los conceptos y los problemas científicos.

"Hipótesis, clasificación y verificación": No constituyen procesos cognitivos, pero sí formas de acceso al conocimiento científico. En el proceso de aprendizaje de las ciencias el planteamiento de hipótesis, la clasificación de información y la verificación,

no solo permiten acercar al estudiante a las formas de producción del conocimiento científico, sino que además apoyan de manera importante la construcción de análisis y argumentaciones científicas en el aula. Sin embargo, a este respecto, es importante tener en cuenta que estos procesos tienen sentido siempre y cuando estén enmarcados en una perspectiva sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en la que la funcionalidad de los trabajos prácticos se enfoque hacia el desarrollo de la capacidad crítica y reflexiva del estudiante y no hacia la simple reproducción de experimentos e información.

La práctica científica en la actualidad se ve afectada por la enseñanza memorística que se imparte en el aula y que se reproduce en el laboratorio. La clase la hace el maestro, las preguntas las hace el maestro, los problemas los plantea el maestro, las respuestas "acertadas" las da el maestro, los diseños experimentales los hace el maestro (en el mejor de los casos); al alumno solo le toca repetir y obedecer. La experiencia y los saberes previos del estudiante, no se conciben como recursos para el aprendizaje, y por eso no se le brinda la posibilidad de plantear hipótesis propias, reflexionar en torno a ellas, ponerlas en consideración a través de la experimentación. Esto no permite hacer de los trabajos prácticos en la escuela elementos mediadores de los procesos de aprendizaje, sino que los convierte, en actividades "complementarias" que finalmente terminan asemejándose a clases de culinaria o muchas veces a un show de magia tan deprimente, en el que el estudiante ni siquiera se sorprende, porque no posee un referente racional en el que se prohíba que un fenómeno se comporte de una u otra forma en el laboratorio.

Estas situaciones no involucran la capacidad de razonamiento de los estudiantes; no les permiten construir un significado individual del conocimiento científico. En términos neurofisiológicos, la iniciativa, la creatividad y la motivación que están en la base del planteamiento de hipótesis, la indagación y la verificación están asociadas a un sistema importante denominado sistema límbico y también con la corteza prefrontal.

El lóbulo, según Afifi (2006) límbico media los efectos de la emoción en la función motora, tiene una influencia en la integración de la información exteroceptiva e interoceptiva, sirviendo como un enlace entre las áreas corticales de asociación sensorial, centros subcorticales autónomos y endocrinos, y la corteza prefrontal de asociación. Este sistema modulador de las respuestas a las emociones está conectado con el giro del cíngulo donde se produce la motivación, lo cual explica el hecho de que cuando los estudiantes tienen la posibilidad de experimentar y crear hipótesis acerca de las ciencias, pueda alcanzar mayores niveles de motivación y aprender, en términos de Ausubel, de manera significativa.

"Experimentación, análisis y comprensión": Como se menciono anteriormente, la experimentación, no constituye un proceso cognitivo, mientras que el análisis y la comprensión representan dos de los procesos cognitivos superiores más importantes en el proceso de aprendizaje de las ciencias naturales que le permiten al estudiante, no solo, apropiarse de los conocimientos científicos, sino también aprender a pensar científicamente, esto es, aprehender las formas de abordar los problemas y las teorías científicas bajo los parámetros metodológicos y simbólicos, y las formas de razonamiento propias de la ciencia.

"Escritura y observación": La escritura no constituye en sí misma un proceso cognitivo, pero es necesario afirmar, que la escritura con sentido implica procesos como la atención, la concentración, el análisis, la conceptualización y la reflexión, todos ellos muy importantes en el proceso de aprendizaje de las ciencias. Por su parte la observación guarda una estrecha relación con los hechos y las teorías científicas. Ella tiene como condiciones la atención, la sensación, la percepción y la reflexión. Es por esto que la verdadera observación científica involucra prácticamente la totalidad de la corteza cerebral en la medida en que implica un alto grado de conciencia y el empleo de diversas funciones mentales. Durante la observación, el cerebro no registra en forma simultánea todos los estímulos para su interpretación, por lo cual el observador está obligado a escoger los estímulos que le interesan. En este proceso el nivel de motivación por el objeto agudiza la capacidad de observar de manera más inquisitiva.

La percepción de lo observado consiste en la capacidad de relacionar lo que se está sintiendo con alguna experiencia pasada que le otorga algún significado a la sensación, por eso aquí la memoria y la capacidad de asociación desempeñan también un papel fundamental. Pero finalmente es la reflexión la que logra articular los hechos observados en una estructura lógica, pues es ella, la que permite formular conjeturas de lo que ocurre para superar las limitaciones de la percepción. Cabe resaltar finalmente, que la observación, parafraseando a Labarca, en el proceso de aprendizaje de las ciencias cobra sentido en la medida en que sirva a un objeto ya formulado en la investigación, sea planificada en forma sistemática, se busque relacionarla con proposiciones más generales y esté sujeta a comprobaciones y a controles de validez y confiabilidad.

"Asimilación, relaciones y construcción de conceptos": Teniendo en cuenta las teorías en la actualidad validas en cognición, no es posible pensar la asimilación como un proceso cognitivo, sino como una etapa del desarrollo cognitivo, según Piaget. Pero también puede entenderse como un principio en el marco de la teoría del aprendizaje significativo según Ausubel. Dentro de esta ultima teoría, la esencia de la asimilación se

encuentra en la idea de que los nuevos significados se adquieren mediante la interacción de ideas nuevas y potencialmente significativas con conceptos y proposiciones previamente adquiridas. Dicha interacción, según Ausubel (1983), se produce como resultado una modificación, tanto del significado potencial de la nueva información como del significado de los conceptos o proposiciones a los que se ancla, y también crea un nuevo producto ideacional que se constituye en un nuevo significado para el estudiante. Dos procesos importantes median esta transformación: el olvido y la retención. Desde el punto de vista neurofisiológico la manera de transformar o reemplazar un concepto o una idea ya fijada en la estructura cognitiva es a través de la repetición de la idea nueva que hace que las conexiones neuronales que remitían a las ideas previas se vayan perdiendo paulatinamente hasta que quede en el olvido.

El establecimiento de relaciones, si constituye un proceso cognitivo, y tiene que ver precisamente, con la capacidad ya mencionada de articular experiencias pasadas con la realidad presente, lo cual se logra gracias a los procesos de percepción o interpretación sensorial que tienen lugar en la corteza cerebral.

Finalmente la construcción de conceptos no es un proceso cognitivo, aunque implique la gran mayoría de ellos. A este respecto, Vigotsky (1964) afirma que los conceptos no descansan en la mente infantil como "los guisantes en una vaina", sin ningún enlace entre ellos. Si este fuera el caso, no sería posible ninguna operación intelectual que requiriera coordinación de pensamiento, ni siquiera cualquier concepción general del mundo; no podrían existir los conceptos separados, como tales, puesto que su verdadera naturaleza presupone un sistema. De acuerdo con las bases teóricas presentadas en esta investigación, sería más adecuado pensar que realmente el proceso de construcción de los conceptos científicos es, más bien un proceso de desarrollo de dichos conceptos en la mente del estudiante, que se van moldeando y ampliando paulatinamente hasta alcanzar una forma cercana a la que tienen los conceptos derivados de la ciencia pura. Esto podría entenderse, considerando que la mente para alcanzar el grado de abstracción de los conocimientos científicos, requiere no solo una, sino muchas experiencias de tipo sensorial que le permitan construir la lógica de un determinado concepto enmarcado en una forma particular de razonamiento.

"Atención, observación, comprensión, razonamiento, inferencia, pensamiento analógico": Esta respuesta aportada por una docente de la facultad de educación, rescata muchos de los procesos cognitivos que mas debería realizar el sujeto para alcanzar un aprendizaje adecuado de las ciencias naturales en la escuela. Muchos de

estos procesos ya se han analizado en las respuestas anteriores. Vale la pena entonces rescatar aquí el razonamiento, la inferencia y el pensamiento analógico.

Con respecto al razonamiento, Toulmin asegura que resulta ilógico definirlo de una única manera, pues en él se entiende que todo tipo de razonamiento, todo tipo de frase, e incluso toda frase individual posee su propio criterio lógico, que cobra sentido cuando se examinan sus usos individuales y peculiares. Por eso, según este autor, es más adecuado hablar de modos de razonar, que se derivan del referente del imaginario lógico de un sujeto en un contexto determinado. Desde esta perspectiva, ninguna respuesta que se ofrezca desde la ciencia puede ser inequívoca, pues siempre estará ligada a una teoría que perfectamente puede ser controvertida por otra que explique el mismo fenómeno considerando otras condiciones u otros ángulos de la realidad y cambie el sentido de la interpretación sobre el fenómeno. Es en este sentido como se entiende la importancia de formar a los estudiantes en la capacidad de intuir las mejores formas explicativas que les permitan solucionar los problemas en un contexto dado.

Pero para eso, deben aprender que la ciencia no posee explicaciones únicas ni estandarizadas para los fenómenos que abarca, sino que esas explicaciones adquieren diferente connotación, de acuerdo al contexto donde adquieran funcionalidad.

En síntesis, puede afirmarse que un razonamiento es entendido desde Toulmin, como conjunto de proposiciones enlazadas entre sí que dan apoyo o justifican una idea, la cual pretende estar encaminada a la verdad, distanciándose de las apariencias y acercándose a las realidad (no absoluta). El razonamiento se corresponde con la actividad verbal de argumentar. En otras palabras, un argumento es la expresión verbal de un razonamiento.

En relación con el pensamiento analógico, es importante destacar que juega un papel muy importante cuando se trata de acercar las representaciones científicas a representaciones cotidianas que poseen los estudiantes. Desde la perspectiva constructivista de Pittman (1999), cabe considerar que el razonamiento analógico es la llave que permitiría el acceso a los procesos de aprendizaje, ya que todo nuevo conocimiento incluiría una búsqueda de aspectos similares entre lo que ya se conoce y lo nuevo, lo familiar y lo no familiar. Es aquí donde existiría la posibilidad de construir juegos del lenguaje que podrán ser interpretados por el profesor y los estudiantes, de manera tal que se produzca el discernimiento necesario y las habilidades de pensamiento que hacen a los estudiantes científicamente creativos y competentes.



El uso de analogías puede jugar, entonces, un papel muy importante en la reestructuración del marco conceptual de los alumnos, puede facilitar la comprensión y visualización de conceptos abstractos, puede despertar el interés por un tema nuevo, y puede estimular al profesor a tener en cuenta el conocimiento previo de los alumnos.

Sin embargo, se observa que en muchos casos en los que se enseña la ciencia a través de analogías, son los profesores los que generan la analogía porque conocen el tema desde la perspectiva científica y, al simplificarlo, pretenden transmitir sus propiedades relevantes a objetos o situaciones cercanas al sentido común. El profesor decide qué aspectos puede o quiere simplificar del concepto científico referente; interpreta sus alcances, aplicaciones y limitaciones, y el grado de distancia entre el concepto científico propiamente dicho y su analogía. Pocos, pero interesantes, son los casos en los que se permite que los alumnos generen analogías a partir de haber estudiado un tópico científico.

De acuerdo con Pittman (1999), el alumno pasivo en la recepción de una analogía puede llegar a percibirla como una información que facilita la comprensión del tema pero, a menudo, reclama que es más información a estudiar, porque la analogía es complicada o porque no ha comprendido las similitudes que guarda con el modelo científico; otras veces, sólo ha comprendido la analogía inicial pero no el contenido científico meta.

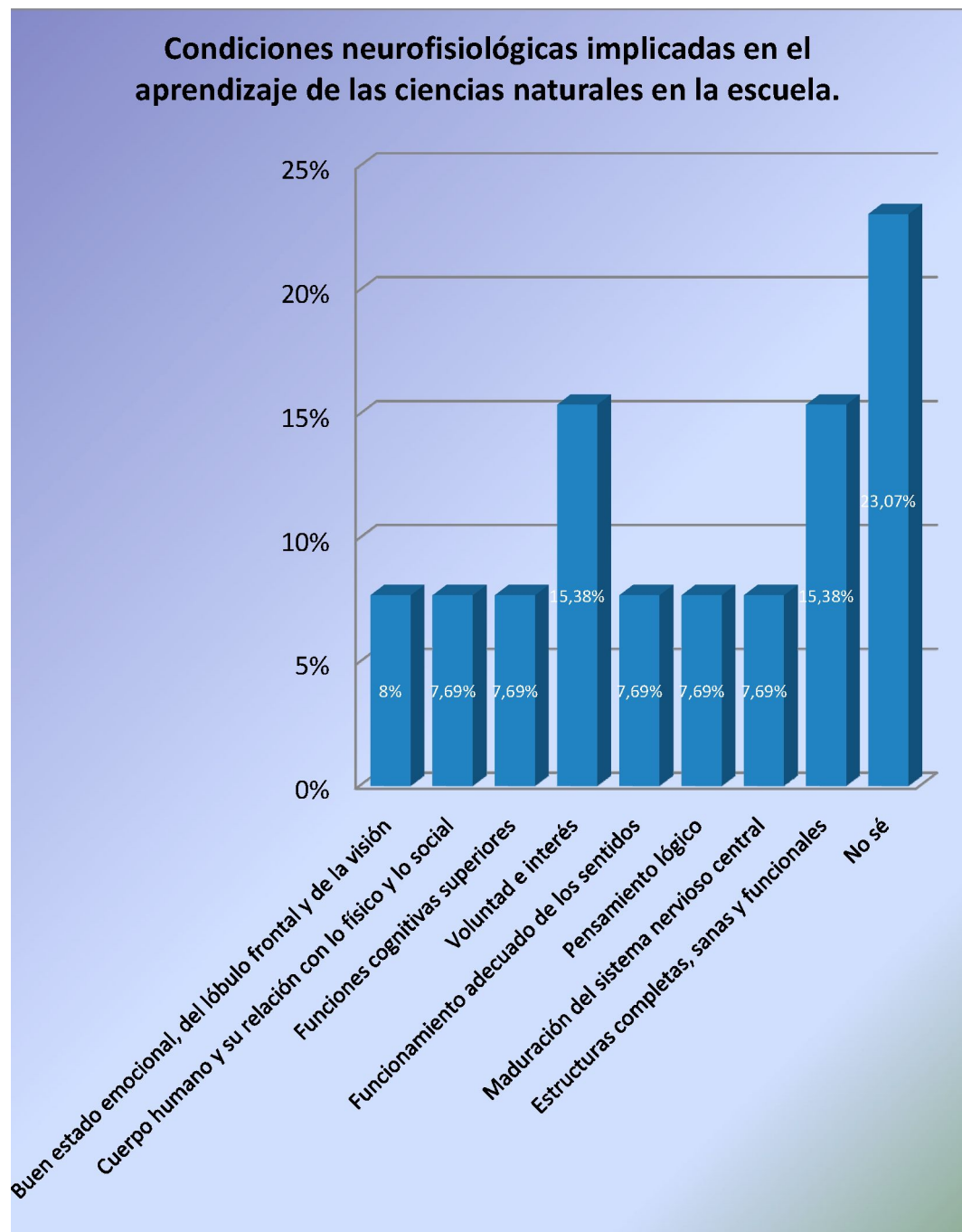
La idea básica para construir un modelo didáctico analógico es conocer profundamente el tema que se quiere enseñar, abstraer sus conceptos nucleares y las relaciones funcionales entre dichos conceptos y traducir todo a una situación, lo más inteligible posible para el alumno, proveniente de la vida cotidiana, de la ciencia ficción o del sentido común.

Finalmente, en lo que respecta a la inferencia, merece la pena aclarar que ella misma se entiende como la construcción de una relación entre dos conceptos previamente construidos. La dificultad de los estudiantes para realizar inferencias, según Rendón, et al. (2009), incide en los niveles de aprendizaje que alcanzan dentro o fuera del aula de clases.

La realización de inferencias constituye una destreza para activar el conocimiento ya almacenado y utilizarlo para analizar e interpretar la nueva información entrante a través de complejas relaciones abstractas no provenientes de los estímulos. Ellas son fundamentales porque tienen un altísimo valor adaptativo para predecir conductas, entender la realidad y comprender mensajes abstractos. Estudios neurofisiológicos han señalado al hemisferio derecho como responsable de la realización de inferencias,

así como de la interpretación de bromas o chistes. Otras áreas implicadas en la realización de inferencias, según León (2009), son el área de Broca ,el área bilateral de la zona frontal media, que se relaciona con el control de los estados mentales y el área de Wernicke, implicada en los procesos de integración de textos y de la activación semántica automática.

Categoría III: Condiciones neurofisiológicas implicadas en el aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela



La pregunta por las condiciones neurofisiológicas implicadas en el aprendizaje de las ciencias fue quizá la más crítica de responder para los estudiantes y profesores que participaron de la entrevista. Los entrevistados manifestaron incomprensión del enunciado y algunos no comprendían las implicaciones del concepto neurofisiología. Tal como indica la grafica, las respuestas, aunque en parte pudieron agruparse en

subcategorías, fueron muy diversas y en general denotaron un conocimiento somero acerca de la neurofisiología del aprendizaje, aplicada concretamente a las ciencias naturales.

De las trece respuestas presentadas por los entrevistados, resultaron las 9 categorías que se amplían a continuación:

"Buen estado emocional, del lóbulo frontal y de la visión": Esta respuesta es en esencia acertada, pues aporta un elemento clave, que en términos neurofisiológicos determina la calidad de los procesos mentales y es el buen estado de estructuras y funciones implicadas en el aprendizaje, tales como el sistema límbico, el lóbulo frontal y la visión. Sin embargo, la respuesta deja de lado no solo muchas otras estructuras y funciones determinantes para el aprendizaje de las ciencias, sino además otras condiciones neurofisiológicas importantes para tal efecto.

Es importante que los maestros de ciencias naturales, sean conscientes de que el aprendizaje es un proceso multimodal, por lo cual implica la interacción de gran cantidad de zonas corticales que desempeñan funciones diversas. Sin embargo, "el buen estado emocional", que bien podría significar un equilibrio en el funcionamiento sistema límbico, así como la presencia de niveles adecuados de motivación frente al aprendizaje, es quizá una de las condiciones neurofisiológicas más importantes. Como ya se ha mencionado, el sistema encargado de las emociones es el sistema límbico que involucra estructuras que intervienen no solo en la conducta emocional, sino también en la memoria, la atención y el estado de alerta. Más concretamente, el área septal que involucra al septum pellucidum y al septum verum, es una región del sistema límbico que tiene una función importante en el aprendizaje y en la recompensa. La conexión entre estas funciones determinadas por el sistema límbico, explican el hecho de que el aprendizaje pueda potenciarse a través de estímulos o acciones de recompensa que permitan al estudiante sentirse valorado positivamente en su proceso de aprendizaje. No puede perderse de vista que como parte del sistema límbico, la formación reticular del tallo cerebral está implicada en el buen funcionamiento de los procesos mentales cargo de este sistema, Dicha formación reticular esta directamente implicada con la fijación de las proteínas de memoria durante el sueño, de ahí que pueda concluirse que el sueño es una condición sine qua non para el aprendizaje.

Según el entrevistado el buen estado del lóbulo frontal es también una condición neurofisiológica para el aprendizaje, lo cual es cierto, teniendo en cuenta que la mayor parte de este lóbulo, corresponde a la corteza prefrontal, la cual tiene una función importante en la conducta afectiva así como en el juicio y el raciocinio. En esta área cortical se encuentran las funciones ejecutivas que permiten tomar decisiones,

priorizar y planear, que son entre otras cosas procedimientos indispensables durante el abordaje de contenidos científicos. Alteraciones en esta zona conllevan al deterioro de la memoria a corto plazo, en la asignación de la atención y en la rapidez de procesamiento. Así mismo, dependiendo de la región específica del daño, pueden alterarse la emoción, la motivación y el inicio de la conducta. Otro aspecto importante a considerar es que es precisamente en este lóbulo donde se encuentra ubicada el área de Broca, que como se mencionó anteriormente controla el componente motor del lenguaje.

Finalmente, en relación con el sentido de la visión, puede afirmarse que su carácter de condición neurofisiológica para el aprendizaje, no puede desligarse de otras funciones, como la audición, la percepción, la maduración adecuada de las estructuras neurológicas, y los estímulos externos adecuados que potencien la motivación, las representaciones mentales pertinentes y que estimulen el almacenamiento de la memoria en el hipocampo. Al respecto Kandel (2000) plantea que precisamente cuando se escuchan palabras se activa el área de Wernicke; pero cuando las palabras solo se ven, pero no se hablan ni se escuchan, esta área no se activa, sino que la información visual proveniente de la corteza occipital converge directamente al área de Broca sin ser previamente transformada en una representación auditiva en la corteza temporal. Esto demuestra claramente que el maestro debe utilizar estrategias diversas de enseñanza que potencien de manera adecuada las distintas facultades mentales, tendiendo a favorecer un almacenamiento más eficaz de la información por parte del estudiante.

"Cuerpo humano y su relación con lo físico y lo social": Esta respuesta denota claramente una marcada incompreensión acerca de las implicaciones del término neurofisiología del aprendizaje. Sin embargo es buena la ocasión para resaltar que como afirman Posner y Rothbart, (2005, citados por Donolo, et al., 2009), la experiencia y la practica incrementan el aprendizaje, pues en el cerebro, existe una relación similar entre la cantidad de experiencia en un ambiente complejo y el monto de cambio estructural.

Doetsch y shinder, (2005 y 2002 respectivamente, citados por Donolo, et al., 2009) afirman que durante el desarrollo de nuevas vías neurales las sinapsis que se producen en el cerebro cambian todo el tiempo, gracias a lo cual es posible recordar una y otra experiencia o vivencia.

"Funciones cognitivas superiores": La neurofisiología del aprendizaje hace referencia al funcionamiento de las estructuras neurobiológicas durante el aprendizaje, que no es simplemente una conexión entre estímulo y respuesta, sino que es un proceso

complejo que está relacionado con el comportamiento cerebral del individuo y que incluso puede llegar a cambiar la estructura física del cerebro. Por eso las funciones cognitivas superiores pueden entenderse como condiciones neurofisiológicas del aprendizaje en la medida en que se tenga en cuenta que si bien el razonamiento analógico, la producción del discurso, la generalización acompañan los procesos de aprendizaje y pueden potenciarlo, ellas no son la única garantía de que el estudiante consolide e interiorice la información, pues el hecho de que el estudiante pueda emplear las funciones cognitivas superiores no implica necesariamente que lo haga a partir de una comprensión real del objeto de enseñanza. Dicha comprensión real involucra cientos de procesos neurofisiológicos que deben ser canalizados de manera pertinente por el maestro.

"Voluntad e interés": Estos dos aspectos son claves en el proceso de aprendizaje y pueden resumirse en la motivación. Bastante razón tenía quien afirmó que no es posible aprender si no existe de por medio un verdadero deseo de saber. Como ya se mencionó, la motivación tiene también una localización en el sistema límbico, concretamente en el giro del cíngulo y de ella depende la activación de otras áreas corticales implicadas en el aprendizaje.

Parafraseando a Day y a Leitch, (2001, citados por Donolo, et al., 2009), es a través de nuestro mundo emocional y subjetivo que podemos desarrollar un constructo y significado personal de la realidad externa, y otorgarle sentido a las relaciones y al lugar que se ocupa en el mundo, y que esas emociones ejercen una mediación entre pensamiento y sentimiento, y entre sentimiento y memoria. Según la directora general del centro iberoamericano de Neurociencias, educación y desarrollo humano, Anna Lucia Campos, los estados de ánimo, los sentimientos y las emociones pueden afectar la capacidad de razonamiento, la toma de decisiones, la memoria, la actitud y la disposición para aprender. De ahí, que de la inteligencia del maestro, de su capacidad para despertar el interés en los estudiantes y del ambiente del aula, dependa en gran medida la calidad de los procesos de aprendizaje de los estudiantes. Las ciencias naturales, ofrecen muchas posibilidades para despertar la motivación en los estudiantes, en la medida en que pueden aprenderse en gran parte a partir de la experiencia con la naturaleza y con los fenómenos cotidianos.

"Funcionamiento adecuado de los sentidos"- "No se": Aunque ha quedado claro en párrafos anteriores que los sentidos cumplen un papel importante en el aprendizaje, no puede afirmarse que ellos sean la única condición neurofisiológica para el aprendizaje, tal como afirma el autor de esta respuesta, pues es evidente que aunque un estudiante tenga habilitados la visión, el olfato, la audición, el gusto y el tacto, esto

no garantiza que alcance una apropiación adecuada y real de los contenidos de enseñanza de las ciencias. Una vez más se hace evidente que hay estudiantes de los últimos semestres de la licenciatura en ciencias naturales de la facultad de educación de la universidad de Antioquia que no dimensionan las implicaciones de los procesos neurofisiológicos que dan lugar al aprendizaje de las ciencias, lo cual podría llevar a prácticas reduccionistas de enseñanza que limiten los procesos de aprendizaje a la captación de información a través de los órganos de los sentidos, sin considerar los cientos de procesos que pueden potenciarse a partir de las orientaciones didácticas del maestro, cuando este conoce los fundamentos biológicos del aprendizaje. El 23,07% de los entrevistados definitivamente no conoce ni intuye en absoluto las condiciones neurofisiológicas del aprendizaje de las ciencias, lo cual podría parecer ilógico, dado que son estudiantes de los últimos semestres de la licenciatura que han pasado por los cursos de desarrollo cognitivo, neuropsicología y algunos, por procesos cognitivos y creativos de las ciencias. Surge entonces la pregunta acerca de si dichos cursos realmente ofrecen a los estudiantes la posibilidad de reflexionar en profundidad acerca de los fundamentos del aprendizaje de las ciencias o si los estudiantes aun no comprenden la trascendencia de dicho saber y por ende no logran consolidarlo adecuadamente en su estructura cognitiva y aplicarlo en sus reflexiones y practicas pedagógicas.

Pensamiento lógico: No puede entenderse el pensamiento lógico como la condición neurofisiológica exclusiva del aprendizaje, pues este tipo de pensamiento tiene en su base muchas condiciones neurofisiológicas. Sin embargo es menester recatar algunos aspectos relevantes del pensamiento lógico, que entre otras cosas desempeña un papel importante durante el aprendizaje de las ciencias al lado de otros procesos como la interpretación, la toma de decisiones y la resolución de problemas.

Fodor (1983, citado por Blanco, et al., 2002) afirma que los procesos centrales de pensamiento son equipotenciales, y por ende difusamente representados en la corteza cerebral.

Sin embargo, Blanco, et al. (2002) reporta que se han realizado recientemente trabajos experimentales con el fin de establecer localizaciones diferenciales de los procesos intelectuales y de pensamiento. Estos estudios han demostrado que el pensamiento lógico está relacionado con el hemisferio izquierdo del cerebro y que aparecen activaciones significativas en la en la circunvolución frontal inferior izquierda durante actividades de pensamiento deductivo, mientras que durante el razonamiento inductivo las activaciones se presentan en la circunvolución frontal superior y la región del cíngulo izquierdo.

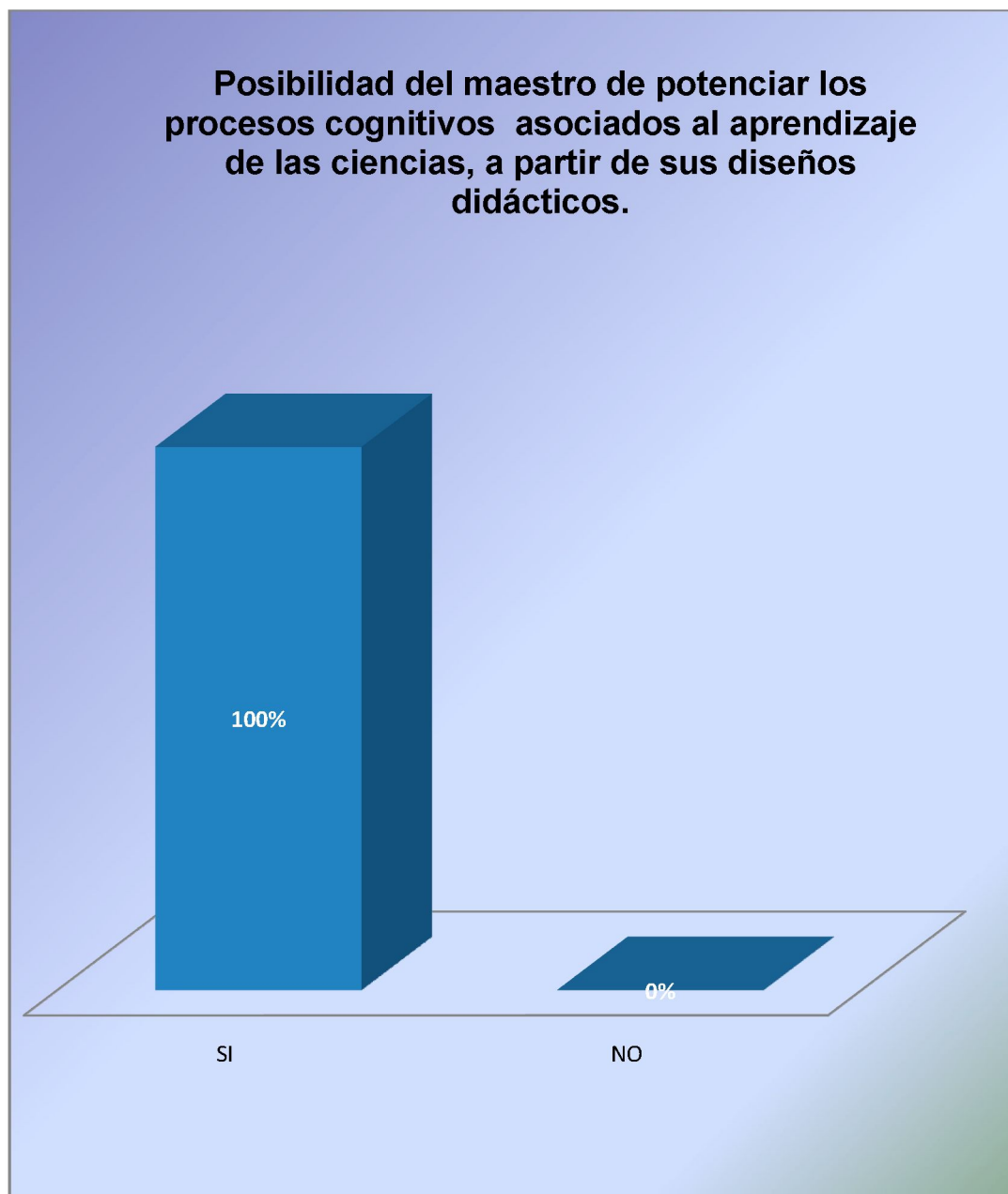
"Maduración del sistema nervioso central-Estructuras completas, sanas y funcionales": Estas dos respuestas, tienen en común que son muy generales, y que dentro de dicha generalidad es posible rescatar elementos que podrían considerarse condiciones neurofisiológicas del aprendizaje. La maduración adecuada del sistema nervioso central que derive en la formación de estructuras neurobiológicas sanas y funcionales es condición sine qua non para que pueda producirse el aprendizaje. Sin embargo, es importante tener en cuenta que aunque dichas estructuras alcancen niveles de desarrollo adecuado, deben existir muchos estímulos provenientes del exterior que hagan que esas estructuras den origen a un nivel adecuado de conexiones sinápticas para que el individuo pueda alcanzar niveles de pensamiento y de aprendizaje superiores. En otras palabras el aprendizaje no puede lograrse si las estructuras neurobiológicas no alcanzan un desarrollo anatómico y funcional adecuado, pero tampoco es posible que se produzca, si el cerebro no está preparado para dicho aprendizaje a través de estímulos y tareas externas que lo induzcan a desarrollar conexiones sinápticas y habilidades cognitivas.

Ortega, et al (2010) afirma que la plasticidad neuronal, entendida como la capacidad del sistema nervioso de cambiar, juega un papel importante al momento de aprender nuevas habilidades, establecer nuevas memorias y responder a las necesidades del medio. En este proceso, la sinapsis constituye el mecanismo primordial que permite que las diferentes partes del sistema interactúen funcionalmente, haciendo posible el aprendizaje y la memorización de información.

En síntesis, el buen desarrollo estructural y funcional de las estructuras cerebrales, de conducir finalmente a que el individuo pueda desarrollar los mecanismos necesarios para adquirir el conocimiento sobre el mundo, adoptar conductas y posturas emocionales aptas para el aprendizaje, y además, para codificar, almacenar, consolidar y posteriormente recuperar las informaciones adquiridas.



Categoría IV: Posibilidad del maestro de potenciar los procesos cognitivos asociados al aprendizaje de las ciencias, a partir de sus diseños didácticos

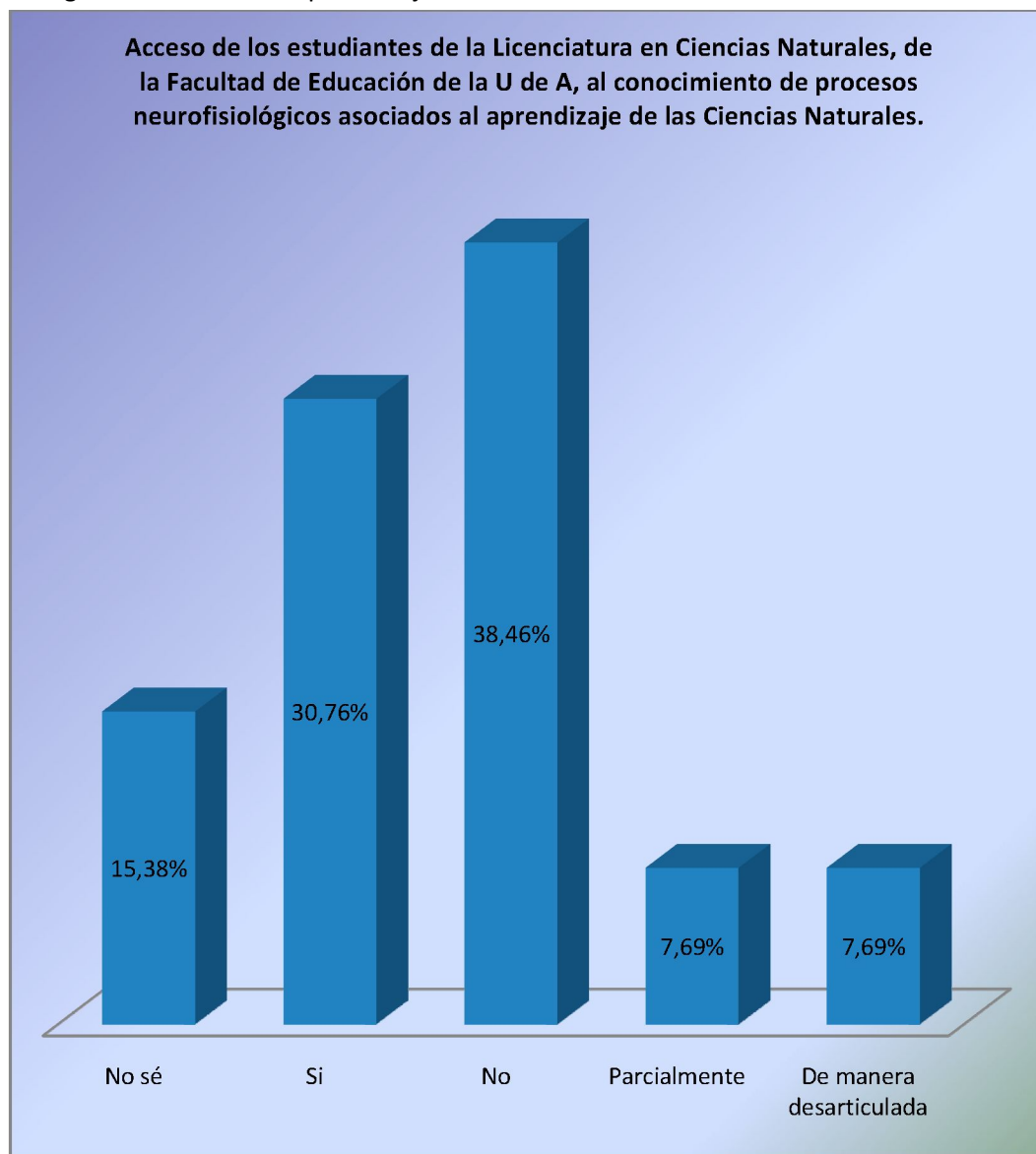


Una de las razones más importantes que se considera al plantear la relevancia de la formación de maestros de ciencias naturales en las bases neurofisiológicas del aprendizaje, tiene que ver con la capacidad instalada que obtendrían dichos maestros

para orientan sus diseños didácticos y metodológicos hacia propuestas más pertinentes con las formas biológicas de aprendizaje del sujeto, que en asocio con la individualidad de los estudiantes y su contexto real, pudiesen contribuir de manera de manera más eficaz a potenciar procesos de aprendizaje de mayor calidad y mayor impacto en la estructura cognitiva de los estudiantes y en su vida cotidiana. Es por esto que a los entrevistados se les planteo la pregunta, acerca de si ellos consideraban realmente posible que el maestro de ciencias pueda potenciar los procesos de aprendizaje de los estudiantes a partir de sus diseños didácticos.

Lo contrario a esta posibilidad, seria pensar que los diseños didácticos en sí mismos no potencian el aprendizaje, que estaría determinado únicamente por el contacto de los estudiantes con el conocimiento. Desde esta última perspectiva no cobraría sentido formar a los maestros en una mirada neurofisiológica de los procesos de aprendizaje en pro de que estos pudieran ampliar sus reflexiones y diseños didácticas en esta línea y elevarlas a mayores niveles de calidad. Sin embargo, la respuesta fue unánime, pues absolutamente todos los estudiantes y profesores entrevistados no dudaron al momento de afirmar que efectivamente el maestro no solo impacta sino que además potencia el aprendizaje de las ciencias a partir de sus diseños didácticos. Esta unanimidad lleva a pensar que dentro del marco formativo en didáctica y pedagogía que ofrece la facultad, los estudiantes logran comprender que el maestro realmente aporta a moldear el cerebro de los estudiantes a partir de sus prácticas pedagógicas, y que es precisamente esta responsabilidad lo que tiene que llevarle a pensar las formas más pertinentes de impactar la formación de sus estudiantes y ejercer su función de modelador de las mentes.

Categoría V: Acceso de los estudiantes de la Licenciatura en ciencias naturales de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia al conocimiento de procesos neurofisiológicos asociados al aprendizaje de las ciencias naturales.



Frente a la pregunta por el acceso de los estudiantes de la facultad de educación al conocimiento de los procesos neurofisiológicos asociados al aprendizaje de las ciencias, se obtuvieron cinco respuestas diferentes por parte de los entrevistados: el 15,38% respondió no sé; el 30,76% respondió que sí; constituyendo la mayoría, el 38,46% respondió que no; un 7,69% respondió que parcialmente, y finalmente, el 7,69%

restante correspondiente a una docente de la facultad, respondió que de manera desarticulada. Vale la pena analizar las realidades que probablemente habitan detrás de estas respuestas.

El hecho de que un 15,38% de entrevistados haya respondido "no sé", probablemente se debe a que corresponde a un número de estudiantes que aun no ha cursado la totalidad de los cursos que normalmente se asocian con el tratamiento de algunos tópicos relacionados con la neurología y los procesos de aprendizaje, tales como: neuropsicología, desarrollo cognitivo y procesos cognitivos y creativos de las ciencias, y por ende no está seguro de si en dichos cursos se aborda el tema de las bases neurofisiológicas del aprendizaje.

El 30,76% que respondió que "si" coincide con entrevistados en cuyas respuestas anteriores, no siempre se hizo evidente una noción completa y precisa acerca del concepto de neurofisiología y su aplicación al proceso de aprendizaje. De todas formas esto no significa necesariamente que en dichos cursos no se hayan abordado dichas temáticas, pues como bien es sabido el hecho de la enseñanza no garantiza necesariamente el hecho del aprendizaje. Sin embargo queda nuevamente planteada la pregunta acerca de la profundidad en el abordaje (si es que se aborda) de estos aspectos en los cursos que actualmente ofrece la licenciatura en ciencias naturales y del interés de los estudiantes en el aprendizaje de este tema que muchos de los entrevistados parecen no haber alcanzado.

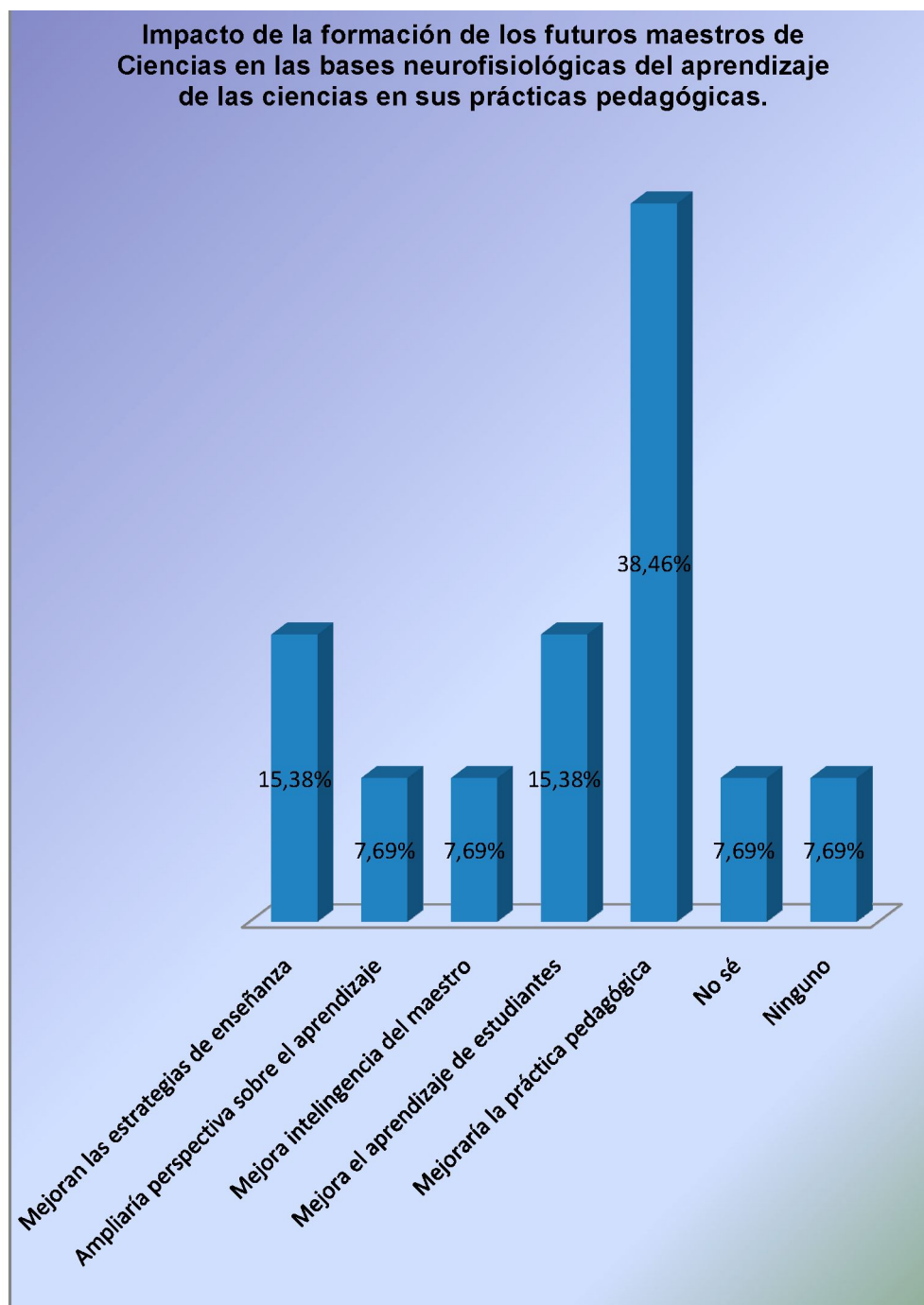
Por lo observado en las respuestas no es extraño que la mayoría de los entrevistados haya respondido que "no", lo cual conlleva a la pregunta sobre cómo es posible abordar realmente los procesos de la enseñanza y el aprendizaje, del papel del maestro como productor de saber pedagógico, canalizador de potencialidades intelectuales y creador de diseños didácticos correspondientes con las formas de aprendizaje de los estudiantes, por fuera de una reflexión acerca de cómo aprende el sujeto, no solo desde teorías aisladas, sino desde la rigurosidad de los estudios que en la actualidad avala la comunidad científica acerca de los procesos neurofisiológicos y sus implicaciones. Todo esto, no para que los maestros tengan a la mano un referente unificador de las mentes, sino para que puedan ahondar con mayor asertividad en la intimidad de sus estudiantes, aprender a conocer cómo piensan y como consolidan el saber en sus mentes, y así buscar las mejores estrategias de que aprendan, siempre de la mejor manera posible.

No es tampoco extraño que un 7,69 % de los entrevistados responda que en los cursos que ofrece la licenciatura se realiza un abordaje parcial de los procesos neurofisiológicos asociados al aprendizaje, pues como se ha resaltado en párrafos

anteriores, existen elementos validos, la mayoría de las veces no muy concretos ni completos, pero en parte acertados en las respuestas que ofrecen los entrevistados al respecto de la visión neurofisiológica del aprendizaje. Sin embargo, hay que decir que para un maestro investigador, productor de saber pedagógico y con las competencias que exige el contexto educativo colombiano, el conocimiento de las bases que fundamentan el aprendizaje no puede ser parcial, por el contrario, así el saber neurofisiológico cotidianamente se asocia al campo de la medicina, la neurología y la ciencia dura, y se tenga muy claro que "un maestro no es un científico", los estudiantes de licenciatura en ciencias naturales de la facultad de educación, con la misión que se plantea la facultad y la tarea que el contexto real le pone a los maestros, debe acercarse a la rigurosidad del científico cuando se trata de estudiar e investigar el aprendizaje, porque ningún científico puro, esta llamado tanto como un maestro a buscar todas las formas posibles de "dejar aprender".

Finalmente, resulta especialmente interesante, la respuesta del 7,69 restante de los entrevistados, que afirma que en la licenciatura en ciencias naturales, aunque se realiza el abordaje de temas relacionados con neurofisiología del aprendizaje, dicho abordaje se realiza de manera descontextualizada. Este argumento, puede cargar con la explicación del hecho de que existan estudiantes de los últimos semestres de la licenciatura, que no tengan claridad acerca de la trascendencia de este saber en su proceso formativo y en su función misma como maestros. Pues el aprendizaje de un tópico riguroso y amplio como la neurofisiología no se obtiene de manera desarticulada y sin miras a una aplicabilidad real y trascendente en el ejercicio pedagógico. Se evidencia entonces que no tiene sentido abordar teorías en este ámbito del conocimiento, que los estudiantes no puedan ver reflejadas en su ejercicio pedagógico, que no respondan a las necesidades del contexto real, que no involucren a las ciencias naturales como tal, y que en su abordaje, no se pongan en crisis, ni se utilicen para que el estudiante se asuma en su posición de creador de diseños didácticos y de formas de enseñanza pertinentes con las características y necesidades del sujeto que aprende.

Categoría VI: Impacto de la formación de los futuros maestros de ciencias en las bases neurofisiológicas del aprendizaje en sus prácticas pedagógicas.



La pregunta por cuál sería el posible impacto que traería consigo la formación de los maestros de ciencias naturales en las bases neurofisiológicas del aprendizaje de las ciencias, arrojó también respuestas diversas. La mayoría (38,46%) de los entrevistados estuvo de acuerdo con que podría impactar en una mejor práctica pedagógica. Así

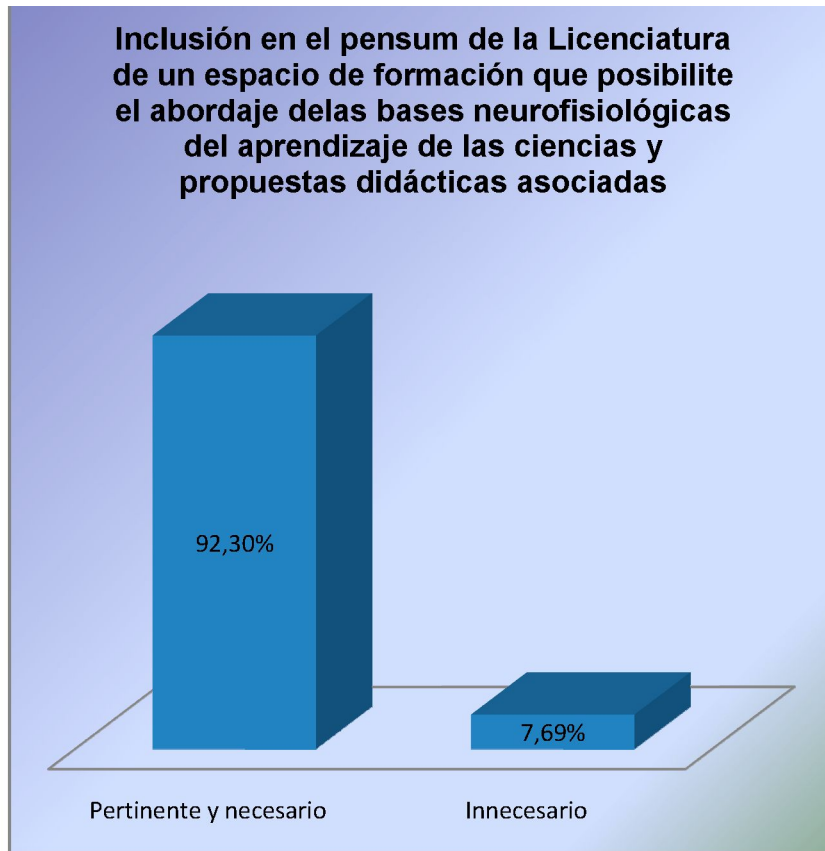
mismo, se encontraron planteamientos como que podría mejorar los procesos de aprendizaje de los estudiantes, mejoraría la inteligencia del maestro, ampliaría la perspectiva sobre el aprendizaje y mejorarían las estrategias de enseñanza. Sin embargo hubo también un entrevistado que afirmó que no derivaría en ningún impacto. Esta última respuesta estuvo acompañada de un argumento en el que el entrevistado sostenía que los estudiantes en la práctica cotidiana en las aulas no cuentan con la posibilidad de reflexionar en un nivel tan alto de profundidad sobre los procesos de aprendizaje, dado que siempre aparecen problemas mucho más inminentes por resolver antes que el maestro pueda detenerse a pensar en la neurofisiología del aprendizaje, y que además la manera como estos temas se abordan en la facultad no da muchas opciones de aplicabilidad en las aulas de clase.

Esta última respuesta, aunque constituye la opinión de un solo entrevistado, llama la atención particularmente porque demuestra una vez más la gravedad del fenómeno de desarticulación de los contenidos de enseñanza en los cursos que ofrece la facultad, con el ejercicio pedagógico real de los estudiantes de la licenciatura, y además da cuenta de una actitud de resignación, marcada por una realidad social que se vive en las aulas de clase de nuestro país y que induce a los maestros a pensar que definitivamente resulta imposible aumentar la calidad de la práctica pedagógica a partir de procesos de reflexión, investigación y producción pedagógica por parte del maestro. Esta situación es compleja pues tiene implícita gran parte de los conflictos sociales que afectan a los niños y jóvenes de edad escolar en nuestro país. Sin embargo, desde esta investigación se sugiere considerar que, más allá de todos los obstáculos que afectan al sistema educativo colombiano, a la vida de las aulas, al ejercicio pedagógico y al maestro mismo, este tiene que reservarse el derecho de mantener su función y investigador que reflexiona su propia práctica y diseña formas y contextos de aprendizaje aptos para sus estudiantes. El maestro no puede perder de vista que su función está ligada a propender por la calidad del aprendizaje de los estudiantes y que por ende debe entender cómo se aprende, pero no solamente como se aprenden los conceptos y las teorías científicas, sino también como se aprende a resolver problemas, como el cerebro se adapta incluso a condiciones adversas y es capaz de producir ideas para transformar la realidad. El maestro no puede perder la ilusión ni la fe en el saber que representa, porque entonces su misma función habrá perdido el sentido.

Finalmente, vale la pena traer a colación las palabras de Anna Lucía Campos (2010, p.10), directora del centro iberoamericano, de neurociencias, educación y desarrollo humano, quien afirma: "al permitir que el maestro entienda las particularidades del sistema nervioso y del cerebro y, a la vez, relacione este conocimiento con el

comportamiento de sus alumnos, su propuesta de aprendizaje, su actitud, el ambiente del aula, entre otros factores, puede ser el paso inicial en la formación y capacitación docente que marcará la diferencia en la calidad de la educación"

Categoría VII: Inclusión en el pensum de la licenciatura de un espacio de formación que posibilite el abordaje de las bases neurofisiológicas del aprendizaje de las ciencias y propuestas didácticas asociadas.



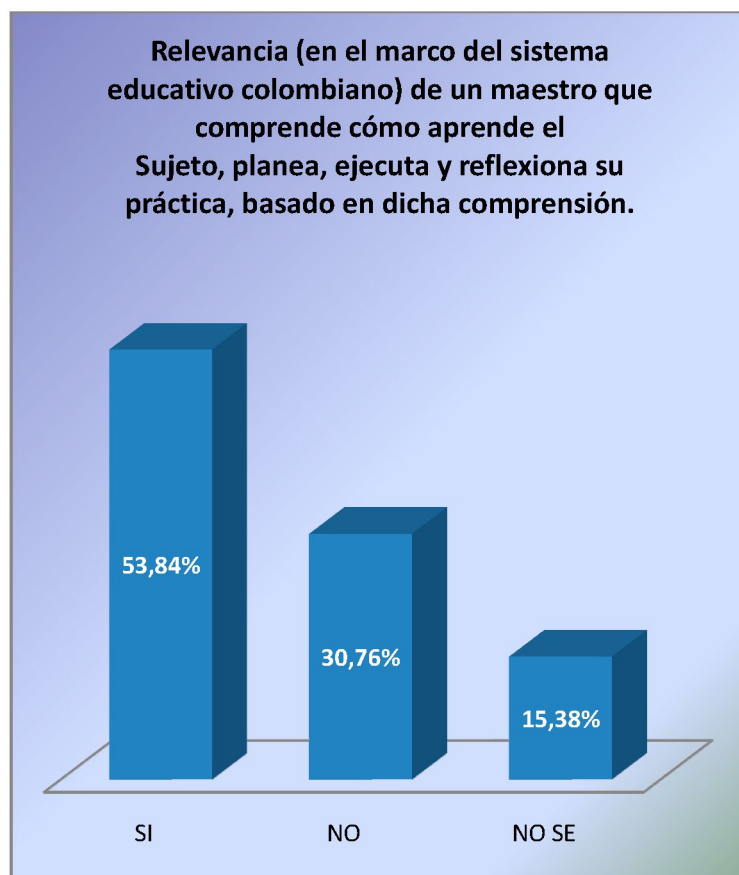
Una vez más la entrevista a profesores y estudiantes de la facultad arrojó una respuesta casi unánime cuando se preguntó por la pertinencia de la inclusión de un espacio de formación que posibilitara el abordaje de las bases neurofisiológicas del aprendizaje de las ciencias, y de propuestas didácticas que reflejaran posibles formas de aplicar este saber en las prácticas pedagógicas. Solamente uno de los entrevistados planteó, que dicho curso sería innecesario, argumentando que sería más adecuado complementar los cursos que ya se ofrecen con esta nueva propuesta.

De cualquier forma es claro que los entrevistados valoran como positiva la posibilidad de acceder de manera más articulada y con mayores niveles de profundidad y aplicabilidad al conocimiento sobre las bases neurofisiológicas del aprendizaje. La opción de complementar los otros cursos que se ofrecen en la licenciatura con esta



propuesta de investigación es válida, siempre y cuando la inclusión de los tópicos, su abordaje y las reflexiones didácticas que se planeen estén fundamentadas en la rigurosidad científica y pedagógica que implica la temática, y que además el tiempo y el énfasis necesario en cada uno de los temas no se afecte por el hecho de abordar todos los otros ejes temáticos del curso (que también requieren un tiempo suficiente y un énfasis importante) que se complementaria. Por eso, y por la evidencia de que un número importante de entrevistados están de acuerdo con la idea, sigue siendo la primera opción de esta propuesta que se incluya en el pensum de la licenciatura en ciencias naturales un curso exclusivamente diseñado para el abordaje de la neurofisiología del aprendizaje donde los estudiantes puedan dedicarse con el tiempo suficiente al estudio de cómo aprende el sujeto y a reflexionar acerca de la aplicabilidad de este saber en sus clases de ciencias.

Categoría VIII: Relevancia (en el marco del sistema educativo colombiano) de un maestro que comprende como aprende el sujeto, planea, ejecuta y reflexiona su práctica, basado en dicha comprensión

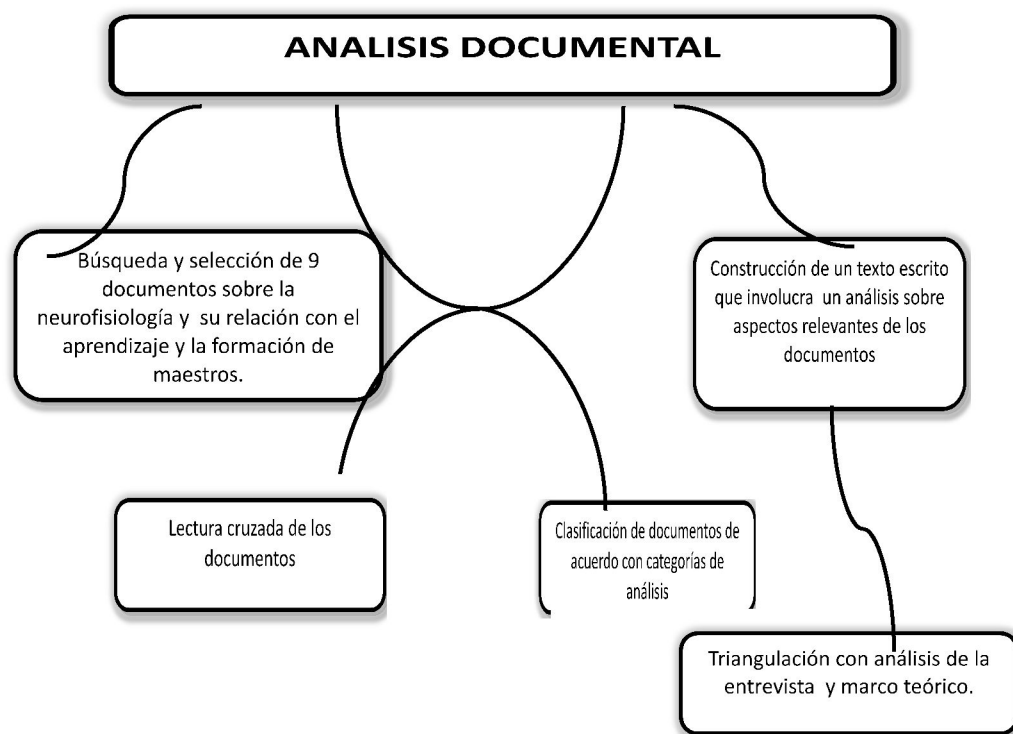


Frente a la pregunta por la relevancia en el marco del sistema educativo colombiano de un maestro que comprenden como aprende el sujeto, planea y ejecuta su práctica basado en dicha comprensión, se obtuvieron tres respuestas por parte de los entrevistados. La mayoría (53,84%) estuvo de acuerdo con dicha relevancia; el 15,38% no supo responder, y el 30,76% afirmó que no era relevante, argumentando, que a fin de cuentas, al sistema educativo le interesa un maestro que cumpla la función de estandarizar al sujeto y hacer que aprenda lo que para el sistema es importante, pero que las reflexiones sobre el aprendizaje que realice el maestro no se consideran relevantes en el marco de dicho interés. Son respetables las posturas de los entrevistados que apuntan hacia dicho argumento, sin embargo sea como sea los maestros en Colombia deben propender por el aprendizaje de competencias por parte de niños y jóvenes y ese aprendizaje tiene unas bases que el maestro debe conocer para, independientemente de cualquier normatividad vigente, ejercer bien su función.

Ana Lucia Campos (2010), destaca en su texto: "Neuroeducación: uniendo las neurociencias y la educación en una búsqueda del desarrollo humano", que existen seis objetivos que se han trazado los países con relación a la educación para todos: atención y educación de la primera infancia, universalización de la educación primaria, aprendizaje para jóvenes y adultos a lo largo de la vida, alfabetización de adultos, igualdad entre los sexos y la calidad en educación, sumados a la inclusión de aquellos con necesidades educativas transitorias o permanentes, de los menos favorecidos, marginados, desnutridos y pobres. Todos estos objetivos involucran a una gran diversidad de sujetos haciendo compleja la labor del maestro. Sin embargo, según la autora, los maestros deben aprender hay un factor común que pone a todo educador y todo alumno en un mismo nivel: el ser humanos. Además es claro que esa condición de humanidad radica en gran parte en el lenguaje y en las facultades cognitivas que comparten los seres humanos. Por eso conocer el cerebro y los fundamentos del aprendizaje de alguna manera dota de mayor humanidad al proceso educativo.

## 5.2. Análisis Documental

A continuación se presenta un análisis construido a partir de la lectura cruzada de nueve documentos actuales que abordan el tema de las bases neurofisiológicas del aprendizaje en relación con la formación de maestros y su aplicación en contextos de enseñanza. Se resaltan argumentos fundamentales aportados por los autores de los documentos y se analizan a la luz de los lineamientos curriculares en ciencias naturales propuestos por el ministerio de educación nacional y a partir de algunos aspectos que sustentan el programa de licenciatura en ciencias naturales y educación ambiental de la Universidad de Antioquia.



Descripción de los documentos empleados en el análisis:

**Documento # 1**

**Fuente:** Revista Digital Universitaria: Volumen 10 - Número 4 - ISSN: 1067-6079 (<http://www.revista.unam.mx/vol.10/num4/art20/int20.htm>)

**Título:** Neurociencias y su importancia en contextos de aprendizaje.

**Autores:** De la Barrera M, Donolo D.

**Fecha:** Abril 10 de 2009.

**Palabras claves:** Educación - Aprendizaje- Neurociencias- Neuropsicología- transdisciplinariedad.

**Descripción:** Se resaltan aspectos relevantes sobre la relación entre las neurociencias con la educación. Se presentan consideraciones desde contextos de aprendizaje universitarios analizados desde los últimos avances en información sobre factores biológicos, genéticos y neurológicos.

**Documento # 2**

**Fuente:**

[http://www.ciie.cfie.ipn.mx/2domemorias/documents/m7m14b/m14b\\_71.pdf](http://www.ciie.cfie.ipn.mx/2domemorias/documents/m7m14b/m14b_71.pdf)

**Título:** La aplicación de la neurofisiología en el proceso educativo

**Autores:** Enríquez S, Enríquez M, Bonilla B.

**Palabras claves:** Neurofisiología, proceso educativo, aprendizaje.

**Descripción:** El texto destaca avances recientes en neurofisiología que amplían las fronteras del conocimiento acerca del aprendizaje humano y plantea algunas técnicas para potenciar el aprendizaje en el aula a la luz de dichos avances.

**Documento # 3**

**Fuente:** Revista digital La educación. Organización de los estados americanos.  
# 143

**Título:** Neuroeducación: uniendo las neurociencias y la educación en la búsqueda del desarrollo humano.

**Autores:** Campos A.

**Fecha:** Junio de 2010

**Palabras claves:** Neurociencias, educación, innovación pedagógica, transformación de los sistemas educativos.

**Descripción:** El texto da cuenta del papel de las neurociencias en el propósito de transformar los sistemas educativos en pro del desarrollo humano. Además argumenta la importancia de que los agentes educativos entiendan cómo funciona el cerebro y desde dicho conocimiento construyan una visión más holística del ser humano y sean activos en procesos de innovación pedagógica.

**Documento # 4**

**Fuente:** Revista Electrónica Actualidades Investigativas en Educación.  
Volumen 5, Número 1, Año 2005

**Título:** El aporte de la neurociencia para la formación docente.

**Autores:** Francis, S.

**Fecha:** Junio de 2005

**Palabras claves:** Formación docente, pedagogía, educación, neurociencia.

**Descripción:** Este texto invita a la incorporación del estudio del cerebro humano en el proceso de formación docente, yendo mas allá de los aspectos psicológicos y filosóficos, hacia los cuales se ha orientado tradicionalmente la comprensión de los procesos de aprendizaje por parte de los maestros.

**Documento # 3**

**Fuente:** iMedPub Journals. Archivos de medicina. 2010 Vol. 6 No. 1:2 doi: 10.3823/048

**Título:** Neurofisiología del aprendizaje y la memoria. Plasticidad neuronal

**Autores:** Ortega C, Franco J.

**Fecha:** Septiembre de 2010.

**Palabras claves:** Memoria, inteligencia, plasticidad neuronal, aprendizaje.

**Descripción:** El texto ofrece una revisión actualizada sobre los estudios más recientes acerca de la memoria, sus relaciones con el aprendizaje, sus estructuras cerebrales asociadas, los mecanismos de potenciación sináptica y el nuevo modelo sinaptocelular de la memoria.

**Documento # 6**

**Fuente:** Revista electrónica de pedagogía ODISEO. Año 7, núm. 14. Enero-junio 2010. ISSN 1870-1477

**Título:** Importancia del proceso de aprendizaje y sus implicaciones en la educación del siglo XXI.

**Autores:** Duran, T.

**Fecha:** Enero de 2010.

**Palabras claves:** Aprendizaje, neurociencia, neuroaprendizaje, aprendizaje significativo.

**Descripción:** El texto destaca la importancia de que cada persona sea consciente de su proceso de aprender, ya que en esta medida adquiere las posibilidades de maximizar su propio aprendizaje. Asimismo, pone de relieve la función del maestro de comprender los procesos de aprendizaje de los estudiantes a través del estudio del neuroaprendizaje, las teorías cognitivas y el aprendizaje significativo.

**Documento # 3**

**Fuente:** *Cognitiva*, 2004, 16 (2), 000-000 Fundación Infancia y Aprendizaje, ISSN: 0214-3550

**Título:** Aproximación histórica y conceptual a la neurociencia cognitiva

**Autores:** Escera C.

**Palabras claves:** Psicofisiología, neuropsicología, psicología cognitiva, neurobiología, funciones humanas superiores, cerebro-mente.

**Descripción:** El texto contiene una revisión crítica de las raíces históricas que han determinado el surgimiento de la neurociencia cognitiva, da cuenta de sus transformaciones además de su influencia en otras áreas del conocimiento.

**Documento # 8**

**Fuente:** [www2.uah.es/jmc/Inl.pdf](http://www2.uah.es/jmc/Inl.pdf)

**Título:** La metacognición y el aprendizaje de las ciencias.

**Autores:** Campanario J, Cuerva J, Moya A, et al.

**Palabras claves:** Metacognición, aprendizaje de las ciencias, formación de maestros, didáctica de las ciencias.

**Descripción:** Un acercamiento a los problemas actuales de la enseñanza de las ciencias que podrían minimizarse a través de una transformación de las formas tradicionales de abordar el saber científico en el aula es uno de los grandes aportes este texto, que además plantea la necesidad de que los estudiantes se hagan conscientes de las particularidades de su proceso de aprendizaje, y en esta medida, el maestro las potencie a través de diseños y reflexiones didácticas pertinentes.

**Documento** # **3**

**Fuente:** Revista Teoría de la educación. Vol. 1. ISSN 1138-9737  
([http://campus.usal.es/~teoriaeducacion/rev\\_numero\\_01/articulo6.html](http://campus.usal.es/~teoriaeducacion/rev_numero_01/articulo6.html))

**Título:** Pedagogía cognitiva: La educación y el estudio de la mente en la sociedad de la información.

**Autores:** Vazquez G, Barcena F.

**Palabras claves:** Aprendizaje humano, sociedad de la información, pedagogía cognitiva, educación.

**Descripción:** El eje central del artículo es un argumento que sostiene que la actual sociedad de la información requiere una nueva concepción de educación y de aprendizaje humano, y que es precisamente la pedagogía cognitiva que se pregunta por la naturaleza de la actividad del pensamiento y por el funcionamiento de los procesos cognitivos, la que puede aportar al diseño de nuevas prácticas educativas que orienten pertinentemente al sujeto a construir su lugar en la sociedad actual.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Análisis derivado de la lectura cruzada de los documentos descritos:

Hay un eje central que transversaliza los planteamientos de los autores de los nueve documentos, y es el argumento de que un *estudio más profundo acerca de los procesos neurofisiológicos que intervienen en el aprendizaje se hace necesario para orientar la enseñanza de manera más pertinente, no solo con las particularidades del sujeto que aprende, sino también con las demandas de la sociedad actual del conocimiento*. Tratare de sustentar esta tesis mostrando los contrastes entre los elementos teóricos que aportan cada uno de los textos, pero también adaptándolos a contextos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales, considerando el referente de los lineamientos curriculares de ciencias naturales en Colombia y lo relacionado con la formación de los maestros de ciencias naturales en la facultad de educación de la Universidad de Antioquia. En este último aspecto traeré a colación algunos aportes de profesores y estudiantes de la facultad recogidos a través de la entrevista analizada previamente, y que constituye otro de los instrumentos de recolección de información de esta investigación.

Antes de entrar en materia de análisis, es importante establecer claras diferencias en lo que respecta a los conceptos que circulan en los espacios académicos tanto científicos como pedagógicos alrededor del tema de la neurofisiología del aprendizaje. Para eso traeré a colación el texto de Escera, "Aproximación histórica y conceptual a la neurociencia cognitiva", quien presenta rigurosa y cuidadosamente las relaciones que demarcan semejanzas y diferencias entre dichos conceptos a la luz de su evolución histórica y con base en su acepción actual por la comunidad científica.

Se han asociado tradicionalmente a la neurofisiología del aprendizaje conceptos como: neuropsicología, neurociencia cognitiva, psicobiología y psicofisiología. Todos estos conceptos aunque emparentados por lazos históricos y herencia de formas de pensamiento, tienen implicaciones conceptuales que los diferencian marcadamente entre sí.

El nombre neurociencia cognitiva, según Escera se gesto hacia finales de los setenta tras una conversación entre Michael Gazzaniga y George Miller. En esa época dicha disciplina pretendía estudiar las bases biológicas de la cognición humana con una marcada tendencia a explicar la cognición a partir de modelos lógicos y computacionales. Hoy se entiende por neurociencia cognitiva, una disciplina que busca

entender las funciones cerebrales que hacen posible actividades mentales, tales como la memoria y el lenguaje.

A lo largo de la historia de la neurofisiología, los neurofisiólogos se han apoyado en rigurosos métodos experimentales del conductismo y la psicofísica, que les han permitido explorar como los estímulos sensoriales resultan en respuestas neuronales particulares. El empleo de estos métodos coincide, según Escera, con la manera como empiezan a tejerse los lazos entre la neurofisiología y la psicología. Según este mismo autor, un paso importante para la convergencia entre neurociencia y psicología cognitiva fueron los estudios de Mountcastle, Hubel y Wiesel sobre la corteza somestésica y visual del mono. La psicología cognitiva impulsada por Miller en sus inicios y que, en palabras de Escera, sucedió la hegemonía conductista, asume que el conocimiento del mundo se basa en soportes biológicos para percibirlo y que la percepción depende de la estructura mental de quien percibe. Escera cuenta en su texto como los psicólogos cognitivos se ocuparon de estudiar el procesamiento de la información, su almacenamiento en la memoria y su consecuencia en la conducta.

El autor cita a Churchland y a Sejnowski para mostrar como en el momento en el que se cruzan la neurociencia cognitiva con la neurobiología, estos dos científicos logran demostrar, que aunque la neurobiología puede aportar elementos importantes a la neurociencia cognitiva, proporciona restricciones a las teorías computacionales y tiene pocas probabilidades de ayudar a desvelar los detalles de la neurocognición, por lo que logra demostrar la necesidad de una teoría genuina sobre la naturaleza de la neurocomputación.

La neurociencia cognitiva, también hace uso de la psicología fisiológica, al utilizar registros de actividad neuronal en animales. Además, comparte su objeto de estudio: los correlatos fisiológicos de la conducta en humanos. Sin embargo neurociencia cognitiva y psicología fisiológica difieren en gran medida, ya que esta última es una disciplina mucho más amplia que se ocupa de gran variedad de temas, como la motivación, el estrés, el sueño, etc., y utiliza otras variables y técnicas que no hacen parte de la neurociencia cognitiva.

Es necesario mostrar también, tal como lo hace Escera, que la neurociencia cognitiva al combinar el estudio de la psicología con métodos y técnicas biológicas puede entrar a considerarse como parte de la psicobiología. Parte de esta vinculación se debe al uso que hace la neurociencia cognitiva de presupuestos psicofisiológicos, que se refieren al estudio de humanos mediante registros electrofisiológicos, y a presupuestos neuropsicológicos, alusivos al estudio de humanos mediante métodos conductuales.

Así mismo la neurociencia cognitiva y la neuropsicología difieren en su naturaleza, considerando que, aunque comparten un objeto de estudio: funciones psíquicas complejas en relación con la corteza cerebral, utilizan sin embargo, pruebas conductuales diferentes (psicometría, en el caso de la neuropsicología, y paradigmas experimentales diseñados especialmente para verificar hipótesis particulares, en el caso de la neurociencia cognitiva). Ambas ciencias también difieren en la naturaleza de las explicaciones que formulan sobre funciones cerebrales.

Gran cantidad de científicos son insistentes en afirmar que la única manera de conseguir una fundamentación común necesaria de un saber que integre la educación, el cerebro, la mente y el aprendizaje es construyendo una conciencia de las relaciones entre neurociencia y educación.

En la actualidad existe una preocupación entre los investigadores del cerebro por develar claramente cómo se relacionan las moléculas responsables de la actividad de las células nerviosas con los complejos procesos mentales que se llevan a cabo durante el aprendizaje. El objetivo central consiste en intentar explicar cómo interactúan millones de células nerviosas en el encéfalo para producir la conducta, y como a su vez estas mismas células se ven influenciadas por el medio ambiente. Ya se sabe que un cerebro (maduro o iniciando el desarrollo) se altera cuando ocurren los aprendizajes.

María Laura de la barrera y Danilo Donolo, en el texto "Neurociencias y su importancia en contextos de aprendizaje" destacan la importancia de considerar el rol que juega la experiencia en la estructuración de la mente y citan a Posner y a Rothbart quienes afirman que entre las reglas que dirigen el aprendizaje se encuentra la práctica, pues según ellos, en el cerebro existe una relación similar entre la cantidad de experiencia y el monto de cambio estructural. Esto permite entender el hecho de que un estudiante no aprenda ciencias como consecuencia directa de que el maestro ensene. El estudiante aprende tras un proceso de repetición, pero no necesariamente de las líneas escritas en su cuaderno, sino cuando se enfrenta repetidas veces a un problema que lo obliga a emplear ciertas formas de pensamiento y ciertas habilidades para poder solucionarlo. Esto hace que las ideas y las habilidades se fijen en la memoria ya sea implícita o explícita.

La neuroeducación, entendida por los dos últimos autores como el desarrollo de la neuromente durante la escolarización, debe constituirse en una teoría incipiente del aprendizaje y del conocimiento en general, erigiéndose como una posibilidad de auscultar en la individualidad de los estudiantes, mas nunca como una plataforma para uniformizar sus mentes. Esta idea tiene una carga de trascendencia inigualable, porque permite entender que el acceso de los maestros de ciencias al conocimiento sobre las

formas biológicas como se lleva a cabo y como podría potenciarse el aprendizaje en la escuela no puede pasar por encima de la conciencia de la diversidad de todos los seres humanos, y del hecho de que hay elementos constitutivos de las personas que no se pueden explicar científicamente y que aportan al carácter subjetivo de los procesos de enseñanza y aprendizaje.

De la Barrera y Donolo mencionan en su texto que se han encontrado antecedentes de que los neurotransmisores acetilcolina y dopamina incrementan los aprendizajes, pues estos dos compuestos, no solo ayudan a reforzar la concentración, sino que además proporcionan satisfacción, porque están implicados en la liberación de las sustancias del bienestar a nivel del sistema nervioso central. Pero la liberación de acetilcolina y dopamina, como ya se ha mostrado en el marco teórico está relacionada con la activación del componente emocional durante el aprendizaje, de ahí que sea evidente que los estudiantes aprenden más fácilmente cuando el conocimiento que intentan integrar en su estructura cognitiva es de su agrado.

Otro de los aspectos claves abordados en el texto, tiene que ver con una herramienta, en la actualidad empleada para la investigación en neuroeducación, que son las neuroimágenes, las cuales, de acuerdo al tipo (resonancia magnética funcional, tomografía de emisión de positrones, etc.) permiten señalar los cambios de activación cortical que se producen como consecuencia de realizar tareas de aprendizaje. Estos estudios han hecho posible evidenciar la implicación de áreas perisilvianas hemisféricas izquierdas en procesos de lectura, incluyendo la corteza visual extraestriada, regiones parietales inferiores, el giro temporal superior y la corteza frontal inferior. Esto permite evidenciar la idea defendida por los autores de los nueve documentos, de que el aprendizaje es un proceso multimodal que involucra no una, sino muchas áreas de la corteza cerebral del ser humano.

Los autores coinciden con varios investigadores en afirmar que existen ventajas en combinar las técnicas de resonancia magnética funcional y electroencefalograma, pues mientras la primera permite localizar donde están ocurriendo los cambios en la actividad cerebral en un momento dado, la otra captura los cambios neurales vinculados a los cambios cognitivos que ocurren rápidamente en el cerebro.

De la Barrera y Donolo citan a Koizumi para sentar posición con respecto a uno de los temas quizá más debatidos en cognición asociado al componente genético del aprendizaje. Ellos afirman que las condiciones cognitivas están genéticamente dadas solo como una potencialidad, y que se desarrollan en una interacción con el entorno, es decir a través del aprendizaje y la educación. Por esta razón, se entiende, que la manera como se orienten los procesos de aprendizaje hace que vayan desapareciendo

conexiones poco utilizadas y que se refuercen otras. Estas asociaciones se deciden aproximadamente hasta los primeros quince años de vida, pues de ahí en adelante el cerebro trabaja con las sinapsis habilitadas, que se refuerzan o se debilitan de acuerdo a nuevos estímulos, vivencias, pensamientos y acciones, dando lugar a un aprendizaje permanente. Esta característica funcional del cerebro conlleva a pensar en la enorme responsabilidad de los maestros en la escuela, que finalmente se constituyen, como afirmaría una maestra de la facultad de educación en la entrevista, en modeladores del cerebro de sus estudiantes. Es por eso que debe tenerse en cuenta que la enseñanza de las ciencias en la escuela, más que focalizarse hacia el aprendizaje de conocimientos útiles, debe dirigirse hacia el desarrollo de las habilidades mentales hasta el máximo nivel posible. Pues de eso dependerán las capacidades mentales de los estudiantes en el futuro.

Los autores citan a Friederich y Preiss, quienes afirman que un entorno cambiante y variado que despierte permanentemente la curiosidad hacia lo nuevo conlleva casi automáticamente a aprender. Más adelante se mostrara como muchos de los autores de los documentos abordados para el análisis, defienden también esta idea, llegando incluso a afirmar que el contexto de aprendizaje puede intervenir en que el estudiante fije de manera más o menos sólida la información en su memoria y le confiera sentido.

Un aspecto importante que mencionan los autores en el texto, es el hecho de que, aunque la educación primaria es determinante en la configuración de redes neuronales eficientes, el cerebro sigue desarrollándose aun en la educación secundaria y terciaria, por lo cual es adaptable, y requiere ser moldeado y formado. Sin embargo la etapa de la adolescencia plantea ciertos requerimientos en cuanto al aprendizaje, especialmente en lo concerniente a la metacognición. De ahí que según los autores, la educación de los adolescentes debe involucrar un aprendizaje autoregulado, la evaluación crítica del conocimiento que se aprende y el desarrollo de habilidades de metaestudio.

La metacognición es un concepto clave en los estudios neurofisiológicos del aprendizaje y por eso puede leerse en casi todos los textos seleccionados. De la Barrera y Donolo asumen que la metacognición alude a dos dimensiones: una, ligada al conocimiento sobre el propio aprendizaje (involucra al sujeto que aprende, la tarea a realizar y las estrategias que se emplean para obtener un mejor rendimiento); la otra hace referencia a la regulación y al monitoreo de la propia cognición, y tiene que ver con la planificación de los recursos, el control de la ejecución y la evaluación de resultados. Estas capacidades están relacionadas con el funcionamiento de las áreas frontales y prefrontales de la corteza, las cuales se mantienen asociadas con la inteligencia superior e incluso con la flexibilidad del pensamiento. Potenciar el

desarrollo de estas áreas corticales, implica, que desde la escuela se promuevan tareas mediante las cuales el estudiante se autoobserve continuamente durante su proceso de aprendizaje y construya los referentes para analizar dicho proceso de acuerdo a niveles de efectividad.

Otro de los aspectos comunes que destacan tanto De la Barrera y Donolo como los demás autores, es el papel de las emociones en el aprendizaje. Ellos defienden que las emociones y los sentimientos tienen implícita la capacidad para fomentar el aprendizaje porque pueden intensificar la actividad de las redes neuronales y reforzar las conexiones sinápticas. Para Posner y Rothbart (citados por De la Barrera y Donolo) la emoción y la motivación dirigen el sistema de atención, del cual depende la selección de los aspectos que se almacenan en los circuitos neuronales, y por ende son aprendidos.

Goleman, quien aparece también citado en el texto de De la Barrera y Donolo, plantea la "inteligencia emocional" como un conjunto de habilidades que le dan al ser humano la capacidad de motivarse y tolerar la frustración, controlar los impulsos, regular el humor, mostrar empatía y afrontar las dificultades manteniendo la capacidad de pensar. Para este autor, el intelecto no puede operar adecuadamente sin la inteligencia emocional. Particularmente durante el aprendizaje de las ciencias una de las emociones que debe aprender a manejar inteligentemente el estudiante es la tolerancia a la frustración, especialmente, la frustración de no poder conocerlo todo ni obtener siempre buenos resultados tras los intentos experimentales. Pero esa frustración debe estar acompañada de una capacidad de asombro cada vez más aumentada que debe promover el maestro a través de diseños didácticos novedosos y actividades desafiantes.

Otro aspecto relacionado con la inteligencia emocional que se impone en la clase de ciencias y también en la comunidad científica, es la argumentación y la defensa de las propias ideas acerca de las teorías, creencias y modelos de la naturaleza. Durante los debates que se realizan en las clases de ciencias, en los que los estudiantes intentan mostrar la veracidad de sus concepciones, es importante que los maestros posibiliten la reflexión en torno al respeto por las ideas de los otros y al hecho de que las críticas académicas no se orientan a atacar a las personas, sino a las ideas. Bajo esas condiciones se puede generar un ambiente de confianza propicio para que los estudiantes se aventuren a pensar, a proponer y a criticar reflexivamente en torno a la ciencia, manejando inteligentemente las tensiones que implican las discusiones científicas.

Day y Leitch, también citado por De la Barrera y Donolo, destaca igualmente el rol vital de las emociones y la inteligencia emocional en el aprendizaje, argumentando que es a través del mundo emocional y subjetivo como cada ser humano le otorga sentido a la realidad externa y construye un significado personal de dicha realidad. Estos científicos también señalan que emociones como la ansiedad, el amor, la ira y el placer, pueden generar unas condiciones particulares en la corteza prefrontal alterando la capacidad de atender y la memoria de trabajo.

Dentro del componente emocional del aprendizaje un elemento destacable que interviene en el proceso es la capacidad de los estudiantes de fijarse metas. Según De la Barrera y Donolo, las metas que se forjan los estudiantes están comúnmente influenciadas por la naturaleza de las tareas académicas, las cuales se constituyen en estímulos, que entre más desafiantes, significativos, interesantes e importantes les resulten a los estudiantes, aportaran no solo a aprender comprensivamente sino también a reforzar conexiones en el cerebro. En ese sentido podrá contribuirse desde la enseñanza a potenciar la inteligencia de los estudiantes y a ampliar su abanico de habilidades cognitivas. Según los autores esto implicaría construir el significado de los contenidos a aprender, y de parte de los maestros, generar ambientes de aprendizaje más desafiantes, que sumerjan a los estudiantes en experiencias complejas pero interesantes.

En esta línea de ideas puede afirmarse que las ciencias naturales tienen una ventaja en sí mismas en el proceso de despertar el interés de los estudiantes, pues implica un lenguaje desconocido y explicaciones a fenómenos reales que implican la vida de los estudiantes. Sin embargo, al maestro de ciencias le queda la tarea de convertir las actividades y los contenidos de enseñanza en verdaderos desafíos para los estudiantes, que los motiven y los retengan a emplear todo su potencial cognitivo y humano en el proceso de aprender.

De la Barrera y Donolo citan el texto *Intervención psicopedagógica y currículo escolar*, donde Beltrán Llera et al, afirman que a través de cada disciplina del conocimiento se le debe ayudar a los estudiantes a potenciar tres tipos de pensamiento: uno de tipo analítico, que les permita analizar, pero también juzgar, criticar, evaluar, comparar y contrastar; asimismo un pensamiento de tipo creativo, que permita llegar a descubrir, inventar, crear, formular hipótesis, suponer; y finalmente uno de tipo práctico que permita usar, aplicar, utilizar y practicar lo aprendido. Sin embargo, para que el maestro desarrolle la capacidad de llevar al estudiante a potenciar estos tipos de pensamiento de una disciplina debe conocer muy bien como aprende el estudiante.

Es por lo anterior que los autores coinciden con diversos investigadores en afirmar que se hace urgente que los maestros cuenten con una alfabetización en neurociencia cognitiva, a través de cursos especialmente diseñados que den lugar a investigaciones y discusiones sobre cómo integrar la investigación y la educación, y que apunten a comprender el desarrollo de las mentes y los cerebros de los estudiantes a través de las conceptualizaciones ofrecidas por la neurociencia cognitiva, pero también a partir de sus propias reflexiones en torno a la individualidad de sus estudiantes y de su práctica pedagógica. Según Ansari y Coch (citados por De la Barrera y Donolo) dichos cursos deberían ayudar a los maestros en formación a volverse lectores eficaces y evaluadores críticos de los hallazgos de las investigaciones orientándolos a plantear preguntas y a interesarse por hallar las respuestas y a pensar en cómo las investigaciones científicas en neurociencia pueden impactar en la pedagogía.

Casi al final de su texto, De la Barrera y Donolo invitan a pensar los procesos de enseñanza y aprendizaje desde la transdisciplinariedad, y en esa medida a comprender los espacios de formación como escenarios donde convergen gran cantidad de saberes que pueden ayudar a fortalecer los procesos de aprendizaje no solo a partir de estrategias pedagógicas, sino también a través de prácticas investigativas que permiten analizar variaciones individuales en el potencial para construir redes en la adquisición y desarrollo de habilidades. Esta idea resulta especialmente interesante, dado que un maestro que realmente propenda por contribuir al desarrollo de las mentes, debe ser consciente de que los espacios en los cuales se moldean los cerebros se conviertan finalmente en posibilidades para contribuir al desarrollo permanente de las personas.

Dentro del estudio de la neurofisiología del aprendizaje se destaca un concepto aun no mencionado hasta aquí y abordado por Ortega y Franco, en su texto "Neurofisiología del aprendizaje y la memoria", es el de Plasticidad neuronal. Estos dos autores exponen que la plasticidad neuronal, entendida como la capacidad del sistema nervioso de cambiar, desempeña un papel indispensable durante el proceso de aprender nuevas habilidades, establecer nuevas memorias y solucionar problemas. Ellos parten de una concepción del aprendizaje entendido como el proceso a través del cual los organismos modifican su conducta para adaptarse a las condiciones cambiantes del medio que les rodea. Así, el aprendizaje se convierte en el modo de adaptación de los seres vivos que se produce a nivel del sistema nervioso central y produce cambios duraderos en la conducta.

Los autores coinciden con muchos investigadores en afirmar que el aprendizaje es posible gracias a la función de la memoria, que se entiende como el proceso mediante el cual se codifica, almacena, consolida y recupera el conocimiento. Incluso ellos llegan



a afirmar que no puede realizarse la distinción entre aprendizaje y memoria en el circuito cerebral. Por este motivo resulta de vital importancia analizar las relaciones entre aprendizaje y memoria en el marco del contexto pedagógico. A este respecto, se hace necesario hacer la salvedad de que aunque neurofisiológicamente el aprendizaje este ligado a la memoria, en el contexto pedagógico, aprender va mucho más allá de memorizar información. Pues implica darle sentido a la realidad y transformarla para poderla apropiar.

Los autores relatan que los recuerdos se producen por variaciones de la sensibilidad de transmisión sináptica de una neurona a la siguiente. Dichas variaciones generan a su vez nuevas vías de transmisión de señales por los circuitos neurales del cerebro, que se activan una vez establecidas para reproducir los recuerdos.

En cuanto a los tipos de memoria, los autores afirman que la memoria explícita que puede ser episódica o semántica es una forma de almacenar el conocimiento previamente procesado en las áreas de asociación prefrontal, límbica y parietooccipitotemporal. Desde estas áreas la información se transporta a las cortezas parahipocámpicas y perirrinal, luego a la corteza entorrinal, la circunvolución dentada, el hipocampo y el subículo. Finalmente la información es devuelta hacia la corteza parahipocámpica, perirrinal y a las áreas de asociación de la neocorteza. Según los autores el conocimiento semántico almacenado como memoria explícita no se almacena en una sola región cortical. Además el recuerdo de este conocimiento se construye a partir de fragmentos de información cada uno de los cuales se almacena en lugares especializados distribuidos en la corteza. A diferencia de este tipo de conocimiento, el conocimiento episódico se almacena en las zonas de asociación de los lóbulos frontales.

En cuanto a la memoria implícita, relacionada en el contexto de la formación en ciencias naturales con el aprendizaje de procedimientos experimentales, reglas y capacidades motoras, los autores afirman que se construye lentamente a través de la repetición, y que se expresa principalmente en la ejecución y no en las palabras. Esta memoria que puede ser asociativa y no asociativa se construye a través de diversas vías. Los autores señalan que por ejemplo el temor orienta a construir este tipo de memoria, a través de una estructura cortical denominada núcleo amigdalino que constituye el sitio encargado de las emociones humanas y establece conexiones importantes con el hipocampo. En cambio la memoria que se construye a través del condicionamiento operante involucra al estriado y al cerebelo, mientras que la memoria que se construye a través del condicionamiento clásico (aprendizaje a través

de la relación entre dos estímulos, uno condicionado y otro no condicionado), está determinada por reflejos, sistemas sensoriales y motores.

Los autores en su texto dan cuenta de cómo el almacenamiento de la memoria en el cerebro constituye un complejo proceso molecular que varía de acuerdo a si se trata de memoria implícita o explícita. Así, el almacenamiento de la memoria implícita depende de una vía bioquímica (AMPC-PKA-MAPK-CREB) que se lleva a cabo en la corteza. Mientras que la memoria explícita depende de la potenciación a largo plazo de la sinapsis en el hipocampo.

Una conclusión importante que puede hacerse a partir de los aportes de los autores es que la repetición de las experiencias permite hacer que la memoria a corto plazo se transforme en memoria a largo plazo a través del proceso denominado consolidación. En este proceso interviene tanto la expresión génica como la nueva síntesis de proteínas y el crecimiento de conexiones sinápticas. En todo este entramado de reacciones participan activamente enzimas, proteínas y neurotransmisores, especialmente la serotonina. Esto indica que un buen aprendizaje también depende de las cantidades necesarias de dichas enzimas, proteínas y neurotransmisores. Una alimentación adecuada, dormir el número de horas necesaria y la disposición frente al aprendizaje determinan finalmente que tal proceso se cumpla adecuadamente en el cerebro.

Vázquez Gómez y Bárcena Orbe en su texto "Pedagogía cognitiva: la educación y el estudio de la mente en la sociedad de la información" exponen que el proceso de aprendizaje humano responde no solo a un diseño genético, sino aun mas, a un diseño cultural que toma cuerpo en el cerebro humano. Tras esta afirmación los autores dan cuenta de uno de los argumentos más valiosos de su texto, a través del cual logran plantear de manera interesante la diferencia entre el aprendizaje humano y el aprendizaje del resto de los animales. Según ellos, el aprender no da cuenta únicamente de la propiedad adaptativa al entorno de las personas, sino que se convierte en una propiedad atributiva, pues a través del aprendizaje le es posible al sujeto atribuir tanto a sí mismo como a otros, diversos estados mentales como base de su conducta y acción. Este proceso hace posible la comunicación con los demás y el mejoramiento de las habilidades para construir sentido y significado a las cosas del mundo.

La consecuencia de esta afirmación, es que la cultura es el producto del proceso de aprendizaje humano, una cultura que además crea otras formas de aprendizaje que se convierten a su vez en culturas de aprendizaje y que se adaptan a los cambios surgidos a lo largo de la evolución. Dicha cultura de aprendizaje según los autores se encuentra

condicionada por los rasgos pedagógicos de la sociedad moderna, pero también por los referentes que trazan los sistemas educativos, según los cuales, el individuo debe estar capacitado para comprender y reflexionar en torno a su propio proceso de aprendizaje, de establecer relaciones cognitivas con su entorno que puede hacerse cada vez más complejo.

Los autores definen la sociedad actual no solo como la sociedad de la información, sino también como la sociedad del aprendizaje, del conocimiento y de la educación, en la cual desempeñan un papel determinante las organizaciones cognitivas, de donde las tecnologías cognitivas, entendidas como formas de pensamiento involucran y superan a la propia tecnología.

En este marco de ideas, los autores proponen posicionar a la pedagogía cognitiva como la pedagogía de la sociedad cognitiva, ocupándose del estudio de los procesos de pensamiento en el marco de las teorías de la mente asociados actualmente con modelos psicoculturales de construcción de significado.

Los autores citan a Bruner para exponer el argumento acerca de que el enfoque más adecuado y pedagógicamente relevante para direccionar el estudio de la mente sería aquel que pone énfasis en la relación entre la mente y la cultura. Desde este punto de vista, se asume que la mente crea significados y se los atribuye a las cosas en diferentes contextos asegurando que dichos significados puedan ser comunicados y negociados. En conclusión puede entenderse en esta línea de ideas que la mente no funciona solo procesando información, sino que su funcionamiento apunta precisamente a crear, comunicar y negociar significados, y que el análisis del proceso que sigue la creación de dichos significados y su proceso de atribución y negociación deben convertirse en objeto de reflexión de la pedagogía.

Leer estos autores en nuestro contexto pedagógico permite reconocer que efectivamente el proceso de formación de los estudiantes de licenciatura en ciencias naturales de la Universidad de Antioquia en las bases neurofisiológicas del aprendizaje, no puede dejar de lado una reflexión acerca del papel de la cultura como eje que transversaliza la adquisición del lenguaje científico y la construcción del sentido de la ciencia y de sus implicaciones. Se hace necesario investigar y empezar a comprender rigurosamente cuáles son esos elementos culturales que alguna vez hubiese imaginado Bruner que marcan la pauta, pero que también diferencian los procesos de aprendizaje de la ciencia, porque si bien el código genético dota a los seres humanos de las mismas estructuras cognitivas, la interacción en el mundo y, como lo menciono una maestra de la facultad de educación en la entrevista, las formas y las posibilidades de acceso al

conocimiento y a la cultura, individualizan los procesos de aprendizaje así como a los seres humanos.

Campanario, Cuerva, Moya y Otero, en su texto "La metacognición y el aprendizaje de las ciencias", destacan la importancia de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias. Ellos coinciden con diversos investigadores en didáctica de las ciencias en afirmar que la metacognición se refiere al conocimiento que se tiene sobre los propios procesos y productos cognitivos, y sobre los distintos aspectos relacionados con ellos, por ejemplo, las propiedades de la información y los datos relevantes para el aprendizaje. En síntesis, la metacognición se mantiene asociada al control, orquestación y regulación de dichos procesos.

Para los autores, muchas de las destrezas básicas que se espera que desarrollen los estudiantes a partir del aprendizaje de las ciencias, tales como: formulación de inferencias e hipótesis, interpretación de datos, elaboración de modelos explicativos y obtención de conclusiones, tienen en realidad un parecido con las estrategias metacognitivas que se necesitan y aplican en el procesamiento de la información.

Según los autores, las formulaciones más recientes acerca del cambio conceptual destacan su carácter metacognitivo, dado que este proceso implica la reflexión sobre el propio conocimiento y el control de los procesos cognitivos por parte de quien aprende. Otro de los aspectos más relevantes que mencionan los autores en relación con la metacognición hace referencia a las concepciones epistemológicas de los estudiantes. Ellas se asumen como parte del conocimiento metacognitivo, dado que implican conocimientos sobre las propias ideas y orientan la actuación de los estudiantes en tareas de aprendizaje. Además se plantea que unas ideas más adecuadas sobre la ciencia deben traducirse en actitudes positivas hacia la ciencia y en hábitos adecuados de razonamiento científico. Sin embargo, los autores dan cuenta de que estas concepciones son muchas veces erróneas en los estudiantes (generalmente conciben la estructura de la ciencia como piezas o dominios aislados sin relación entre sí y como un cuerpo de verdades absolutas descubiertas por grandes genialidades). Por ello es necesario que el maestro sea muy cuidadoso al momento de diseñar el abordaje teórico de los contenidos de enseñanza y las actividades experimentales, pues de ello depende en gran parte la imagen que se formen los estudiantes acerca de la ciencia. En este contexto, la rigurosidad y la profundidad en el manejo del conocimiento científico por parte del maestro son aspectos determinantes para lograr dicho propósito.

Asociado también a la metacognición aparece el concepto de aprendizaje autorregulado. Los autores señalan que se ha evidenciado en diversas investigaciones que los estudiantes que utilizan estrategias de aprendizaje autorregulado, asumen la

adquisición de conocimiento como un proceso sistemático y controlable aceptando una gran responsabilidad en los resultados de su proceso de aprendizaje. Las estrategias de aprendizaje autorregulado, permiten a los estudiantes hacerse conscientes de las destrezas necesarias para abordar determinadas tareas. En este proceso el maestro debe hacer un seguimiento detallado de las estrategias que emplean sus estudiantes y conjugarlas en sus diseños didácticos con los conocimientos que le permiten comprender los procesos neurofisiológicos del aprendizaje y las formas para potenciar las habilidades del pensamiento, de esta manera posibilitara una interacción más exitosa y significativa entre el estudiante y la ciencia.

Los autores consideran el control de la propia comprensión como una de las estrategias metacognitivas más importantes que interviene en el proceso de aprendizaje de las ciencias. Según los autores dicha estrategia consiste en dos etapas: evaluación (el estudiante se hace consciente de que presenta una dificultad en una tarea de comprensión) y regulación de la comprensión (el estudiante toma alguna medida para resolver la dificultad). De lo anterior, puede afirmarse que motivar a los estudiantes a que se hagan conscientes de sus propias dificultades de comprensión del conocimiento científico puede llevarlos a hacer un seguimiento más riguroso sobre su proceso de aprendizaje y a emplear diversas estrategias de aprendizaje que pueden resultarles mucho más efectivas. Además esto puede ayudar al maestro a conocer más a fondo la individualidad del proceso de aprendizaje de sus estudiantes.

Otro aspecto que presentan los autores relacionado con la aplicación de estrategias metacognitivas es la formulación de preguntas por parte de los estudiantes. Según ellos, para el maestro puede resultar interesante indagar por los aspectos que resultan "preguntables" para los estudiantes, pues ellos pueden dar indicios acerca de los procesos de interpretación y comprensión de las ideas científicas.

La resolución de problemas, según los autores, puede vincularse también al grupo de las estrategias de la metacognición. Pero el desarrollo de la capacidad de resolver problemas es además uno de los objetivos hacia los cuales se enfoca la formación en ciencias naturales a partir de los lineamientos curriculares emanados por el ministerio de educación nacional. Por eso esta tarea debe ser uno de los focos de atención para los maestros de ciencias naturales. Sin embargo, es necesario tener en cuenta, tal como afirman los autores, que la capacidad de resolver problemas está asociada con el desarrollo de estrategias metacognitivas, las concepciones epistemológicas sobre la ciencia que poseen los estudiantes, con el desarrollo de habilidades de pensamiento y tiene implícita una comprensión rigurosa del conocimiento científico que dote de sentido el proceso de resolución del problema. Desde esta línea de ideas, queda claro

que resolver problemas es una capacidad que se va instalando a lo largo del proceso de aprendizaje pero que debe estar sentada sobre unas bases sólidas. A este respecto, los autores indican que se ha demostrado como sujetos con altos niveles de metacognición pueden utilizar mejores estrategias para resolver problemas. Esto hace pensar que incluso la metacognición podría compensar algunas deficiencias de aptitudes académicas para la resolución de problemas de ciencias.

La relevancia que le dan los lineamientos curriculares y el énfasis que se hace en el proceso formativo de maestros de ciencias naturales de la facultad de educación a la solución de problemas en clase ciencias, hace que valga la pena ahondar un poco más en este aspecto.

El mundo moderno, en el marco de los procesos de globalización, supone que los seres humanos se enfrenten permanentemente a situaciones cotidianas muchas veces nuevas y problemáticas que deben ser resueltas en el proceso de la supervivencia. Es aquí donde se convierte en un reto para los sistemas educativos escolares promover la formación de sujetos con habilidades creativas y con capacidad para diseñar estrategias de solución frente a situaciones y problemas reales.

A pesar de esto, muchos maestros en la actualidad, siguen siendo apáticos, quizás por incapacidad o por intransigencia, a la necesidad de diseñar dispositivos de formación donde los estudiantes puedan asumir la ciencia de manera activa participando en su proceso de construcción y de esta manera aprovechar los conocimientos científicos para desarrollar las habilidades que les exige el mundo actual.

La propuesta didáctica de la solución de problemas en el marco de la enseñanza de las ciencias en la escuela sobresale entre muchas otras propuestas didácticas dado que su aplicación implica la posibilidad de que los estudiantes y las estudiantes potencien las operaciones mentales y desarrollen la inteligencia a medida que se apropian del conocimiento. Esto se hace aun más relevante, si se considera que en la edad escolar, más importante que aprender de memoria las teorías, los conceptos y los procedimientos científicos, es preparar el cerebro para la comprensión científica de la realidad y la solución de problemas reales propios de la cotidianidad.

La propuesta de la solución de problemas como estrategia didáctica ofrece además múltiples ventajas, que favorecen las diferentes formas de aprendizaje de los y las estudiante, pues aquí el maestro tiene la posibilidad de experimentar con múltiples variables en la manera como se presentan y como se resuelven los problemas, y así determinar aquellas características que más se adaptan a los intereses y necesidades de la población que aprende. Por ejemplo, el planteamiento y la solución de problemas

a partir del diseño y la interpretación de analogías, el establecimiento de asociaciones, la elaboración de diseños experimentales que aporten a la solución de los problemas. Y como estas, muchas otras estrategias que sin alejarse de los objetivos de aprendizaje, posibilitan que los potencien la inteligencia y vean reflejadas en las herramientas científicas las posibilidades del pensamiento que les permiten transformar el mundo y mejorar su calidad de vida.

A partir de la implementación de la propuesta de resolución de problemas es además posible reivindicar la visión que por muchos años de historia han construido los estudiantes sobre la ciencia debido a los métodos y las estrategias pedagógicas centradas en contenidos y en informaciones provenientes de los libros de texto que suelen utilizar los maestros en la clase de ciencias; estrategias centradas en procesos de memorización y en las cuales el estudiante no tiene la posibilidad de intervenir con la crítica y el análisis que él podría llegar a derivar de las teorías y los modelos científicos, y donde además el estudiante termina por pensar que la ciencia no es otra cosa que un cuerpo de conocimientos de alto nivel de abstracción y complejidad que producen los científicos y que es de alguna manera inasequible a sus capacidades cognitivas y de acción.

En cambio, cuando el estudiante se enfrenta a un problema real, y se le da la posibilidad de producir estrategias de solución, no solo se está favoreciendo el desarrollo de su racionalidad científica, sino que además se está recuperando y valorando su perspectiva y su punto de vista, permitiendo de esta manera que el estudiante se sitúe y se sienta como un sujeto activo en el proceso de construcción de la ciencia.

Como si fuera poco, la propuesta de solución de problemas responde positivamente a uno de los grandes interrogantes del sistema educativo: la evaluación. Mientras que otras propuestas didácticas para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales no dejan de ser simplemente situaciones de aprendizaje o ejercicios, tal como se entiende en el marco escolar evaluativo tradicional, la solución de problemas puede ir mucho más allá e incluso llegar a superar la tortuosa figura simbólica de poder y castigo que está implícita en el examen, porque esta estrategia aparte de ser atractiva para los estudiantes en la medida en que representa un reto asociado con su mundo real, puede constituirse en una herramienta analítica del maestro para acceder a los mecanismos y procesos cognitivos involucrados en la comprensión científica del estudiante. Es decir, los problemas se manifiestan como escenarios donde el maestro puede observar y tratar de entender las habilidades y las deficiencias que presentan los estudiantes en su manera de comprender y derivar soluciones a los problemas que se

les plantean o que ellos se plantean. De esta manera se hace posible centrar el trabajo pedagógico en habilidades y deficiencias individuales y concretas favoreciendo el aprendizaje y el desarrollo de la inteligencia.

Sin embargo, algunos autores como Gil, Martínez y Senent critican la manera como tradicionalmente los maestros han aplicado la propuesta de resolución de problemas en las aulas, pues "en vez de contribuir a un aprendizaje significativo siendo una ocasión privilegiada para construir y profundizar los conocimientos y facilitando la expresión de los preconceptos de los alumnos para ayudarlos a romper con visiones confusas favorecen su afianzamiento, convirtiéndose en refuerzos de errores conceptuales y metodológicos" (Gil, Martínez, 1988. Citado por García García en *Didáctica de las ciencias, resolución de problemas y desarrollo de la creatividad*, 1998). Esto lleva a considerar la importancia de que las universidades se preocupen por una formación de docentes investigadores, no solo de la ciencia sino de la didáctica de la ciencia. Pues nos encontramos ante la presencia de maestros que aplican propuestas didácticas en el aula de manera desinformada y descontextualizada que en vez de favorecer el proceso de aprendizaje de los estudiantes, le generan obstáculos e incluso lo imposibilitan.

La propuesta de enseñanza de las ciencias a través de la resolución de problemas, constituye pues una valiosa herramienta pedagógica que supera el sinsentido de la memorización y reproducción de conceptos científicos, favoreciendo el desarrollo de habilidades del pensamiento, la inteligencia y la creatividad. Pero es también una propuesta que exige del maestro la capacidad recontextualizadora para poder actuar con pertinencia y eficacia al momento de diseñar o de orientar el diseño y las estrategias de solución a los problemas que encuentran soluciones en el mundo de la ciencia pero que no son ajenos al mundo real, donde el estudiante adquiere y evidencia su propia racionalidad.

Así las cosas, la propuesta de resolución de problemas debidamente orientada y ejecutada se constituye en una estrategia que posibilita un acercamiento entre el estudiante y la ciencia, una sensibilidad por su entorno que lo hace valorarlo y potenciar su deseo de saber, pero ante todo una capacidad que es inminente para poder acceder al conocimiento: Preguntar, preguntarle a la ciencia o mejor dicho, hacer ciencia.

Siguiendo en la línea de los aportes de campanario, Cuerva, Moya y Otero, es importante mencionar el papel de la cognición en el desarrollo de la motivación frente al aprendizaje de las ciencias por parte de los estudiantes. Ellos coinciden en afirmar que el desconocimiento de las formas de asumir el aprendizaje de los contenidos



representa en gran parte la desmotivación que manifiestan muchos estudiantes frente a las ciencias y que además influye en patrones actitudinales que bloquean los procesos de aprendizaje. Esto indica que la metacognición no puede ser una opción o un ideal hacia el cual aspiren los programas de formación en ciencias. Los maestros deben estar preparados para posibilitar el desarrollo de procesos metacognitivos por parte de sus estudiantes. Esto, se logra obviamente cuando el maestro comprende los mecanismos del aprendizaje al punto de ser capaz de potenciarlos en otros sujetos.

Bien lo mencionan los autores en el texto, sin un cambio profundo en la formación de maestros no puede aspirarse a fomentar la aplicación de estrategias metacognitivas en clase de ciencias por parte de los estudiantes.

En su artículo "El aporte de la neurociencia para la formación docente", Susan Francis destaca que un maestro debe comprender que el proceso de construcción del conocimiento constituye una amalgama de lo mental (que implica lo biológico) y lo cultural. En dicha interacción adquieren sentido los procesos pedagógicos, derivando en transformaciones de saberes, valores y habilidades. Sin embargo, para la autora una condición para que el maestro pueda planificar, prever y realizar una práctica pedagógica que conduzca a verdaderas transformaciones en sus estudiantes, se hace necesario que reconozca y aplique la investigación en el campo de la neurociencia en el acto pedagógico, pues en sus palabras, el cerebro es uno de los principales detonadores de la actividad mental que hace posible el aprender, y en última instancia el formarse a sí mismo.

La autora señala en su texto una serie de contribuciones que podría realizar el abordaje de la neurociencia durante el proceso de formación docente, entre ellos: conciencia crítica de la labor docente, principios metodológicos para la enseñanza, relación realidad-aula, y conocimientos del contenido disciplinar.

La autora es reincidente en afirmar que el estudio del cerebro para comprender las capacidades del ser humano en la construcción del conocimiento escolar ha sido muy someramente considerado en el campo de la pedagogía, y aun más dentro del proceso de formación docente. Esta situación según la autora, representa una gran falencia, dado que el plano biológico no puede separarse del plano mental, mucho menos cuando se plantea en los referentes educativos una formación que concibe al ser humano en todas las dimensiones que lo constituyen.

Otro de los aspectos que destaca la autora, tiene que ver con un planteamiento de Rodolfo Llinás, quien afirma que la mente es codimensional con el cerebro, en la medida en que representa las actividades cerebrales que son isomorfas con el estado

del mundo exterior haciendo posible que los seres humanos construyan representaciones propias sobre la realidad. Así, las cosas, siendo el cerebro y la mente dos grandes ejes que han de hacer posible los procesos de aprendizaje se hace necesario abrir las fronteras de lo que la pedagogía ha comprendido por inteligencia humana para teorizar en torno a los procesos de formación.

La autora cita a Wolfe y coincide con él en afirmar que la información que aporta la neurociencia es determinante para la toma de decisiones en el trabajo de aula convirtiéndose en una dimensión fundamental para alcanzar un proceso pedagógico pertinente y significativo.

La autora plantea también que la necesidad de vincular en el acto pedagógico la cultura con el conocimiento acerca de la neurofisiología del aprendizaje está sustentada en los siguientes aspectos:

- El cerebro con cada de una de sus estructuras se encuentra en el centro de la generación de los procesos de aprendizaje y su almacenamiento en la memoria. El constituye la fuente principal de todo comportamiento humano y de su funcionamiento depende la capacidad del sujeto de representarse el mundo y de constituirse y asumirse como parte de una cultura.
- Dado que los pensamientos, emociones, imaginación y predisposiciones operan en el cerebro en forma simultánea, el maestro debe estar en capacidad de diseñar estrategias que permitan a los estudiantes orquestrar experiencias que consideren la interacción holística de las operaciones cerebrales. Dentro de estas operaciones, la autora destaca la atención como un proceso indispensable en el aprendizaje, que se ve afectada por la dieta (consumo adecuado y suficiente de nutrientes e ingesta de líquidos, importantes estos últimos para mantener fuertes las conexiones neuronales), las emociones y las hormonas, además de una disponibilidad adecuada de los neurotransmisores dopamina y norepinefrina. Esta anotación de la autora conduce a la pregunta sobre si los maestros realmente llegan a ser tan conscientes de los aspectos que determinan los procesos de aprendizaje de los estudiantes, para considerar tantos detalles, incluso la dieta, como uno de dichos aspectos determinantes.

En contextos escolares como los que existen en Colombia, es bien sabido que la alimentación para muchos niños en edad escolar no es adecuadamente cubierta, lo que traduce que el aprendizaje en la escuela sobrepasa las fronteras del aula y de las actividades que diseña el maestro, y se convierte en un asunto que compromete políticas institucionales y condiciones sociales.

En esta misma línea de ideas, la autora señala como un inhibidor de los procesos de aprendizaje a la amenaza, bajo la cual se produce la liberación de sustancias químicas en el cerebro que no solo bloquean el aprendizaje significativo, sino que además pueden deteriorar la memoria espacial-episódica y debilitar la capacidad de establecer prioridades).

El hecho de que los maestros sean conscientes de estos aspectos, no solo les confiere herramientas para actuar adecuadamente en el aula, sino que les permite disponer los distintos elementos que se requieren para generar ambientes favorables para el aprendizaje.

- La determinación de si un aprendizaje es significativo o no se refleja en el procesamiento consciente de la información. El maestro debe hacer la manera de que los estudiantes se hagan cada vez más conscientes de dicho procesamiento y que puedan poner en la palabra aquellos mecanismos que les permiten aprender mejor. Desde la neurofisiología se sabe que los nuevos aprendizajes se vinculan con experiencias pasadas y que la significatividad del aprendizaje depende del grado de vinculación y familiaridad con las redes conceptuales almacenadas. En este sentido, las estrategias que posibilitan el contacto con la realidad y la reiteración hacen posible que la información pase de la memoria a corto plazo, a la memoria a largo plazo. De aquí se deduce que para potenciar el grado de significatividad de los aprendizajes el maestro debe utilizar estrategias didácticas a través de las cuales pueda pre-exponer al estudiante a la nueva información de manera que pueda familiarizarse con los contenidos de aprendizaje. Los autores sugieren que la nueva información debe satisfacer las necesidades y los intereses del estudiante, y proporcionar opciones divergentes dentro de su realidad.
- Cuando no hay posibilidad de asociar patrones de representación con la información ya almacenada en la memoria, el aprendizaje pierde significado. Este hecho explica por ejemplo el que estudiantes de la licenciatura en ciencias naturales no puedan dar cuenta de conceptos y teorías asociadas a la neurofisiología del aprendizaje, pues como quedo evidenciado a través de las entrevistas, aunque la licenciatura aporta algunos elementos al respecto, el abordaje que se hace de ellos en los cursos es aislado no solo del contexto de los estudiantes, sino también de otros aprendizajes que obtienen los estudiantes a lo largo de su proceso de formación en la carrera.

Susan Francis coincide con Campanario et al, (citados anteriormente) en afirmar que el diseño de estrategias didácticas que promuevan la metacognición en los estudiantes ofrece la posibilidad de probar patrones de pensamiento, pues según ella, los cerebros desarrollan mejores patrones de pensamiento, cuando pueden probar diversos modelos para el aprendizaje.

- Reconocer que las emociones son cruciales en la elaboración de procesos de aprendizaje, es otro de los aspectos en los que Francis coincide con Campanario. Según ella, cuando los estudiantes están motivados por el aprendizaje, se envían señales al hipocampo, permitiendo captar la información con mayor intensidad. Cuando un maestro valora positivamente el trabajo de un estudiante, normalmente genera en él una elevación de los niveles del neurotransmisor Serotonina que se relaciona con la capacidad de memorizar información, además que posibilita estados de relajación y atención necesarios para el aprendizaje.

Según Francis el clima afectivo en el aula de clase es determinante también en los procesos de aprendizaje. Por lo cual promover relaciones de convivencia adecuadas entre los estudiantes y procesos metacognitivos que supongan experiencias exitosas puede estimular acciones cerebrales que enriquezcan los procesos de aprendizaje de los estudiantes.

- La autora destaca el lenguaje como la base del aprendizaje de cualquier saber. Según ella, en el lenguaje intervienen tres grupos interactivos de estructuras. Una de ellas es la gran conexión de sistemas neuronales en ambos hemisferios cerebrales, que constituyen la representación de interacciones no verbales entre el cuerpo y el ambiente. La segunda es un grupo neuronal pequeño situado en el hemisferio izquierdo que representa fonemas, sus combinaciones y reglas de combinación para formar palabras. Finalmente, el tercer grupo de estructuras localizadas en el hemisferio izquierdo recibe y estimula la producción de palabras y provoca que el cerebro evoque sus correspondientes conceptos. Cuando el maestro comprende esta premisa, le es más clara la necesidad de emplear estrategias didácticas que, a partir de la combinación de esquemas, colores, palabras e imágenes intenten estimular la actividad de ambos hemisferios de manera simultánea. Asimismo este maestro podrá discernir entre qué tipo de ambiente puede diseñarse para favorecer las estructuras en el cerebro a través de procesos relevantes,

tales como la retroalimentación que como ya se ha mencionado, permite el control y la autorregulación del aprendizaje. Con todo esto se lograría aumentar el número de conexiones cerebrales, fortalecerlas procurando el desarrollo de niveles de inteligencia más elevados.

Un aspecto que se plantea en los lineamientos curriculares de ciencias naturales está relacionado con este último argumento de la autora, y tiene que ver con la necesidad de que el maestro emplee el saber como un medio para favorecer la inteligencia de los estudiantes. Lastimosamente muchas veces los maestros se dedican a intentar hacer que los estudiantes incluyan información en su memoria a largo plazo e intenten resolver problemas con ella, generalmente sin antes haber podido darle sentido en su estructura cognitiva. Por eso el estudio de las bases neurofisiológicas del aprendizaje, podría ayudar a los estudiantes de licenciatura en ciencias naturales de la Universidad de Antioquia a elevar su práctica pedagógica al nivel de formación, en la medida en que le permitirá desarrollar destrezas en el diseño de estrategias para que sus estudiantes se hagan más inteligentes y experimenten verdaderas transformaciones, no solo en las formas de ver el mundo sino también en sus propias habilidades cognitivas y humanas.

- El aprendizaje involucra procesos conscientes e inconscientes. La autora cita algunas investigaciones para afirmar que la actitud que asumen los estudiantes frente a una asignatura influye en el rendimiento académico que ellos presentan en dicha asignatura. Según la autora la actitud de los estudiantes está fuertemente influenciada por las acciones, expresiones y actitudes del maestro en el aula, pues inconscientemente, los estudiantes las incorporan en su estructura cognitiva. Expresiones gestuales, posiciones personales frente al saber y frente al mundo y particularmente la mirada (que influye sobre la amígdala, estructura del cerebro que dirige el comportamiento emocional), son algunos de los aspectos que el estudiante absorbe del medio y se expresan inconscientemente, influenciando los procesos de aprendizaje.

El área de ciencias naturales de manera particular se ve altamente influenciada por dichos aspectos inconscientes que lo son tanto para el maestro para los estudiantes, dado que representan un grado de abstracción y de complejidad considerable que puede aparecer interesante y atractivo ante los ojos de los estudiantes, dependiendo del manejo didáctico que haga el maestro durante el abordaje de los contenidos, pero también de sus mismas actitudes frente a la ciencia. Es a partir de este argumento desde donde puede afirmarse que un maestro de ciencias debe conocer y valorar la

ciencia al punto de que se convertirla en una gran pasión, porque es tal vez esa pasión, lo único que él pueda transmitir durante el acto pedagógico.

Francis, destaca, al igual que muchos de los autores antes citados que actividades desafiantes para los estudiantes aunadas a la promoción de la autoestima, la confianza, la seguridad, la creación y la expresión durante las clases, activa los centros emocionales en el cerebro y contribuye a la construcción de aprendizajes sólidos y relevantes para los estudiantes.

Casi al final de su artículo, Francis anota que desde el punto de vista de la neurociencia, la enseñanza se convierte en una tarea multifacética, que exige reconocer no solo estilos de aprendizaje y formas adecuadas de enseñanza, sino también, que esos estilos de aprendizaje tienen su base en la configuración neuronal de cada persona; que todos los estudiantes no pueden aprender lo mismo de la misma manera y que el hecho de que el maestro enseña no garantiza que el estudiante tenga que aprender. Para esto se hace necesario incorporar lo biológico en la comprensión de los procesos de aprendizaje y de la formación humana.

Ana Lucia Campos en su texto "Neuroeducación: uniendo las neurociencias y la educación en la búsqueda del desarrollo humano" plantea que a través de las estadísticas presentadas en los últimos foros mundiales sobre educación" se ha concluido que la calidad de la educación está directamente relacionada con la calidad del educador. Según ella gran parte del fracaso que han experimentado los planes para la transformación de los sistemas educativos tiene que ver con que se ha olvidado que las verdaderas transformaciones deben venir desde las estructuras mentales no solo de los estudiantes, sino también de los maestros.

Para Campos, lo importante no es perfilar a la neurociencia como la salvación para resolver los problemas de calidad de la educación, sino mas bien asumirla dentro del campo de la educación como una ciencia que aporta conocimientos al maestro con el fin de proveerle fundamentos para potenciar y transformar su práctica pedagógica en beneficio de los estudiantes.

Un aspecto importante que ella plantea y en el que coincide con Francis, es que si los maestros comprendieran que a través de sus diseños didácticos, actitudes, palabras y emociones pueden llegar a transformar los cerebros de sus estudiantes, sería prácticamente innecesario el justificar la necesidad de vincular el estudio de la neurociencia en el contexto pedagógico.

Campos coincide con todos los autores antes citados con la importancia de formar a los maestros para que comprendan la importancia y desarrollen habilidades en el diseño

de actividades para la retroalimentación, que según ella, hace posible permear hasta qué punto los estudiantes logran incorporar adecuadamente los aprendizajes durante su proceso individual. Escuchar a los estudiantes y realizar ejercicios sin nombrarlos como evaluación, son aspectos que, según la autora, indican al maestro hasta que nivel los estudiantes han construido el conocimiento. Esto es importante porque como se evidencia en el marco teórico, entre más veces un estudiante evoque la información, más sólidas se vuelven las conexiones sinápticas que representan las ideas almacenadas. Además el tipo de información retenida, la manera en que fue codificada y almacenada y las condiciones en las cuales se evoca garantizan que el aprendizaje se haga real, significativo y funcional.

Ahora bien, Campos destaca un aspecto fundamental y es que la vinculación de la práctica pedagógica con el estudio de la neurociencia implica que el maestro tenga un conocimiento amplio, no solo de los procesos cerebrales asociados al aprendizaje, sino también de la estructura macroscópica y microscópica del cerebro y de la manera como estas se van desarrollando a lo largo del proceso de maduración del sujeto. Así el maestro podrá considerar el nivel de madurez individual de los estudiantes y planear propuestas curriculares pertinentes con las necesidades y características de quien aprende.

En su texto, Campos hace referencia a un concepto relativamente nuevo que tiene como principal objetivo acercar a los maestros al conocimiento acerca del cerebro y el aprendizaje, a saber, la "Neuroeducación". La neuroeducación, permite entender que el cerebro es un órgano maleable (dada la plasticidad que presentan las neuronas) y apto para aprender, siempre y cuando estén presentes las condiciones volitivas, ambientales y genéticas adecuadas para ello. Las implicaciones de este concepto y la ausencia de su abordaje en los sistemas educativos actuales, lleva a la autora a formular una de las preguntas que inspiró esta investigación: ¿cómo transformar, sin primero saber qué es lo que ha de ser transformado? En otras palabras, ¿cómo pretender enseñar ciencias y que el estudiante integre el conocimiento en su estructura cognitiva, si para el maestro dicha estructura es completamente ajena y desconocida? Creo que queda claro que no es posible; que para enseñar ciencias adecuadamente es indispensable saber cómo aprende el sujeto y como el conocimiento científico con sus particularidades puede ser asimilado en la mente de los estudiantes.

Esta última idea será avalada también por Duran Vela, quien en su texto "Importancia del proceso de aprendizaje y sus implicaciones en la educación del siglo XXI" plantea que la neurociencia se impone en la actualidad como un saber al servicio de la

educación, fundamental para responder a la urgencia de aprender a potenciar habilidades del pensamiento para aprender a pensar. La autora incluye otro de los conceptos asociados a la neurofisiología y al aprendizaje humano: el neuroaprendizaje. Este concepto, permite entender el proceso de aprendizaje desde una base neurofisiológica.

Desde la perspectiva de Duran Vela, el aprendizaje se entiende como una transformación integral que ocurre a nivel del cerebro y pero que abarca la totalidad del organismo. Ella también reconoce como la mayoría de autores aquí citados la necesidad de retroalimentación, pero esta vez dirigida al saber del maestro, pues según ella, la base de la transformación, radica en retroalimentar el sentido que para los maestros representa la formación.

Enríquez S, Enríquez T y Bonilla B, en su texto "La aplicación de la neurofisiología en el proceso educativo" afirman que el comportamiento cerebral del individuo está indisolublemente ligado a su estilo de aprendizaje. Para ellos el aprendizaje trasciende la simple asociación mecánica entre estímulos y respuestas, y se convierte en un proceso complejo a partir del cual el individuo adquiere información sobre el mundo, pero no solo la copia, sino que también la transforma y la hace propia.

Los tres autores abordan en su texto algunos de los descubrimientos fundamentales de la neurofisiología que han logrado ampliar la frontera de lo que se conoce acerca del aprendizaje humano. Algunos de esos descubrimientos tienen que ver con el hecho de que el aprendizaje logra transformar las estructuras cerebrales organizando y reorganizando el cerebro. Ellos destacan dentro de los aportes de la neurociencia que las diferentes áreas del cerebro se preparan para aprender en tiempos diferentes; que el cerebro es un órgano dinámico, moldeado en gran parte por la experiencia; que el aprendizaje implica tanto una atención focalizada como una percepción periférica; que el aprendizaje se incrementa por el desafío y se inhibe por la amenaza, y finalmente, que cada cerebro está organizado de manera única.

Este último aspecto podría sonar desconcertante para quienes pretenden emplear la neurociencia para uniformar las mentes y abordarlas como si fuesen objetos producidos en serie. Pero en realidad al reconocer que cada cerebro es único y que cada ser humano es único es cuando adquiere sentido la labor del maestro y cuando se eleva la práctica pedagógica al nivel verdaderamente humano que tiene implícito el concepto de formación.

Una de las riquezas del texto de Enríquez et al, es que propone algunas técnicas basadas en estudios neurofisiológicos que pueden servir para potenciar el aprendizaje



en el aula. A continuación se presentan algunas de dichas técnicas, acercándolas al contexto de enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales:

- La oxigenación cerebral: Para que el cerebro funcione adecuadamente requiere contar con un suministro adecuado de oxígeno, que se garantiza a partir de una buena respiración. Esta última se logra introduciendo la máxima cantidad de aire hasta hacer expandir los pulmones y el abdomen y finalmente expirando el aire lentamente. De esta manera se aumenta la eficacia de la actividad neuronal, se agudiza la inteligencia y se fortalece el sistema nervioso en general. Enseñar a los estudiantes a realizar respiraciones adecuadas entonces, puede contribuir en gran medida a favorecer un medio cerebral apto para un mejor aprendizaje.

La respiración es un proceso biológico que se explica desde las ciencias naturales, de ahí, que enseñar a los estudiantes a respirar adecuadamente y posibilitar que comprendan la importancia de este proceso dentro de la autorregulación del aprendizaje permite establecer vínculos entre conocimiento científico con su aplicación en la vida real, lo cual de acuerdo con los autores abordados aquí, favorece la significatividad del aprendizaje.

- Conjugar y potenciar hemisferios: Se sabe que la mayoría de los seres humanos el hemisferio izquierdo es dominante sobre el derecho. Tratar de que los estudiantes vincularan ambos hemisferios en su proceso de aprendizaje, se traduciría en que ellos desarrollaran la capacidad de pensar y sentir al mismo tiempo. Esto implica relajar el cuerpo y la mente reduciendo la frecuencia de las ondas cerebrales y aumentar la actividad del hemisferio derecho, a través de acciones que obliguen a utilizarlo cuando simultáneamente está operando el hemisferio izquierdo. Por ejemplo la formación de imágenes mentales, usando la visualización y la imaginación es una acción del hemisferio derecho.

En clase de ciencias, cuando se intenta que los estudiantes comprendan lógicamente un concepto o una teoría, se les puede proponer que se imaginen un modelo para representarla. Se sabe que la modelización es un proceso clave en el aprendizaje de las ciencias, dado que esta se basa precisamente en modelos y teorías sobre la naturaleza. Cuando un estudiante adquiere destreza para construir modelos que expliquen sus ideas acerca de fenómenos científicos y los compara con modelos reales, puede desarrollar destrezas que le permiten pensar científicamente para comprender los modelos de la ciencia.

- Alimentación adecuada: Otro de los temas propio de las ciencias de las ciencias naturales que puede orientarse como estrategia para hacer posible el aprendizaje de manera efectiva es la alimentación. El cerebro humano como ya se ha mencionado, requiere un sustrato de neurotransmisores para poder rendir en las actividades cognitivas. El órgano que más glucosa consume diariamente es el cerebro. Pero el buen funcionamiento de este órgano, no puede desvincularse del equilibrio que debe existir en la química de todo organismo, por eso es que puede afirmarse que el aprendizaje involucra la totalidad del cuerpo. Algunos nutrientes determinantes para mantener dicho equilibrio son:
  - Vitamina A: necesaria para la salud de los ojos y para el buen estado del sistema inmune.
  - Vitamina B1: Implicada en la memoria y en el aprendizaje.
  - Acido fólico: Protege al sistema nervioso y está implicado en las emociones.
  - Vitamina C: Refuerza el sistema inmune y estimula la producción hormonal.
  - Calcio: Interviene directamente en la transmisión sináptica.
  - Magnesio: Participa en la sinapsis y actúa como cofactor enzimático.
  - Fosforo: Esencial para generar energía.
  - Proteínas: Son la fuente de neurotransmisores esenciales en el proceso de aprendizaje. Además es en forma de proteínas como se almacena la memoria en el cerebro.

Finalmente, el tratamiento de estos nueve artículos a la luz de la formación de maestros de ciencias naturales de la facultad de educación de la universidad de Antioquia me hace pensar en la misión que se plantea la facultad: "Formar desde una perspectiva humanista y una sólida fundamentación en los saberes disciplinares y metadisciplinares, maestros autónomos, capaces de liderar los cambios pedagógicos y didácticos que propicien la participación crítica e informada de la población escolar en los debates sociales y ambientales que comporta la ciencia en el mundo contemporáneo" (Tomado de: Documento Maestro del programa Licenciatura en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental: formato para la solicitud de los registros calificados de los programas académicos, Decreto 1295 del 20 de abril de 2010). Esta misión eleva la función del maestro a contribuir a que sus estudiantes superen el campo de la reproducción de saberes y adquieran las capacidades cognitivas, académicas y humanas de producir conocimiento y ponerlo al

servicio del mundo. Este reto formativo exige de los maestros de ciencias el desarrollo de destrezas y habilidades para potenciar las mentes de sus estudiantes y proponer estrategias para el desarrollo de la inteligencia, así como del pensamiento y las competencias científicas por parte de los estudiantes.

## 6. CONCLUSIONES

La sociedad actual precisa de seres altamente inteligentes, con la capacidad de emplear una gran cantidad de información disponible, en estrategias y propuestas creadoras, orientadas a resolver los grandes problemas que afronta el mundo. En palabras de Piaget, se precisan seres humanos con capacidad para saber lo que hacer cuando no sabemos qué hacer.

Las investigaciones en neurociencia apuntan a que los seres humanos pueden hacerse más inteligentes si desarrollan la capacidad para aprender, y precisamente coincidiendo con Claxton, la fuente más rica sobre cómo mejorar las capacidades de aprendizaje son las otras personas. Los hábitos y valores se transmiten de generación en generación, no solo a través de la enseñanza explícita de ellos, sino también implícitamente, a través de las actitudes y discursos ante ellos. Por eso un maestro debe preocuparse por enseñar a sus estudiantes a aprender como lo hace un químico o un matemático. Esa es la manera como el estudiante podrá defenderse de las adversidades en su proceso formativo, que es en esencia autónomo.

Los propósitos de formación del programa de Licenciatura en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental tienen como eje transversal la promoción del pensamiento multidisciplinario, el desarrollo de la capacidad investigativa y la promoción del interés por los avances recientes en ciencia y en educación. De ahí que el estudio de las bases neurofisiológicas del aprendizaje constituya no solamente un componente indispensable del currículo de formación de los futuros maestros de ciencias, sino la posibilidad de potenciar el desarrollo de las formas de pensamiento, las habilidades, los intereses y las competencias que se plantea el programa. El estudio de la neurociencia abre a los estudiantes de licenciatura en ciencias la posibilidad de investigar al respecto de los últimos avances científicos sobre el cerebro y el aprendizaje, permitiéndoles ampliar sus conocimientos y transformar sus concepciones al respecto de su función y de su práctica pedagógica.

Por lo anterior, un espacio de conocimiento sobre fundamentos neurofisiológicos del aprendizaje de las ciencias naturales dirigido a los estudiantes de la licenciatura en ciencias naturales de la Universidad de Antioquia, debería diseñarse de tal modo que los estudiantes tuviesen la posibilidad de acercarse a los artículos científicos que dan cuenta de las más recientes investigaciones en torno al

aprendizaje, pero también al conocimiento sobre la anatomía del cerebro humano y los mecanismos bioquímicos que sustentan el aprendizaje y la conducta. Para tal objetivo debe contarse con un personal docente conocedor de la neuroanatomía humana y de la neurofisiología de los procesos cognitivos.

Dicho espacio de conocimiento, debe integrar los saberes que tienen los estudiantes de licenciatura sobre didáctica, pedagogía y sobre los conocimientos específicos de las ciencias naturales (biología, física, química, ed. Ambiental). Así mismo deberán considerarse los saberes que construyen los estudiantes acerca de neuropsicología y cognición a través de los cursos que ofrece la facultad. Pero tal vez el elemento más importante que debe integrar el espacio de conceptualización es el contexto real al cual se ven enfrentados los estudiantes durante sus prácticas pedagógicas, es decir situaciones reales de enseñanza de las ciencias naturales en la escuela. De esta manera no se caería en el error de presentar a los estudiantes conocimientos aislados que lejos de aumentar su comprensión acerca de los procesos pedagógicos, se convierten en temas dispendiosos que aumentan la carga académica pero no la inteligencia y las competencias de los futuros maestros.

La lectura individual (se sugieren los documentos abordados en el análisis documental de esta investigación), los espacios de discusión, las simulaciones de clases, los ejercicios de argumentación y de debate, puede ser algunas de las estrategias que pueden aplicarse durante las clases. Además es importante que los estudiantes se acerquen a la comprensión de la anatomía del cerebro para comprender adecuadamente su funcionamiento, por eso, sería pertinente que el espacio de conocimiento brindara la posibilidad de manipular preparados de cerebros humanos del laboratorio de anatomía de la facultad de medicina de la Universidad de Antioquia.

Asimismo, y dado que las neuroimágenes constituyen uno de las herramientas más importantes de la investigación en neurociencia, sería importante que dentro del curso se dedicara un número de horas a la comprensión y el análisis de esta herramienta.

Puesto que una de las actividades de aprendizaje mas enriquecedoras para un maestro en formación, son aquellas en las que puede emplear el saber construido, en la propuesta de diseños didácticos sustentados en su experiencia y en sus reflexiones pedagógicas, sería interesante que los estudiantes tuvieran la

posibilidad de proponer estrategias, que en consonancia con los principios neurofisiológicos del aprendizaje contribuyeran a potenciar los procesos de aprendizaje de las ciencias naturales en el contexto escolar.

Dentro de las bases teóricas y los aportes pedagógicos y didácticos que sustenten el espacio de conocimiento de "Fundamentos neurofisiológicas del aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela", no podrán faltar aspectos mostrados en el marco teórico y en el análisis de esta investigación, tales como:

- Durante la enseñanza de las ciencias naturales se debe aprovechar la posibilidad de la experimentación, la cual al involucrar la interacción de los estudiantes con el contexto real y el establecimiento de asociaciones entre la teoría y lo evidenciado a través de los modelos experimentales, favorece el pensamiento científico, y hace posible que los estudiantes le confieran sentido a la información aprendida y consoliden eficientemente en su memoria a largo plazo.
- El maestro de ciencias debe procurar que los estudiantes comprendan la lógica de la estructuración del conocimiento científico, las clases y las actividades. En otras palabras, es importante que los estudiantes entiendan la relación entre los objetivos de aprendizaje con la intención de las actividades y las formas de abordaje de los contenidos. En esta medida el estudiante tendrá un referente que le servirá en el proceso de autorregulación del aprendizaje y en sus análisis de tipo metacognitivo.
- Aunque ya lo han mencionado muchos pedagogos a lo largo de la historia, la comprensión neurofisiológica de la importancia de partir de los centros de interés para que los estudiantes se motiven frente al aprendizaje de los temas, resulta especialmente importante para el maestro de ciencias. Ya se mostro que distintas emociones aumentan la disponibilidad de neurotransmisores en el cerebro, que pueden hacer más efectivo el proceso de fijación de información en la memoria y que pueden contribuir a que el estudiante le confiera sentido al aprendizaje y lo emplee adecuadamente en situaciones reales.
- Posicionar al lenguaje científico como punto de partida para acercarse al conocimiento de las ciencias naturales en la escuela constituye una de las tareas más complejas y a la vez más importantes que debe resolver el maestro de ciencias. Aquí el establecimiento de asociaciones, el abordaje de los saberes previos de los estudiantes a

través de problemas y cuestionamientos y la construcción de analogías que relacionen elementos de la cotidianidad de los estudiantes pueden resultar especialmente útiles en la clase de ciencias. Se sabe que la apropiación del lenguaje depende de la necesidad de usarlo en situaciones desafiantes y de la capacidad de relacionarlo con fenómenos evidenciables y comprensibles para el estudiante.

- Posibilitar el empleo de los aprendizajes en la solución de problemas y en la construcción de argumentos.
- Promover la construcción de asociaciones que sin alterar el sentido de las teorías y conceptos científicos contribuyan a facilitar su comprensión por parte de los estudiantes.
- Enseñar a reflexionar en torno a las estrategias metacognitivas es otra de las tareas claves del maestro, especialmente de aquel maestro que comprende que la formación es en esencia autónoma y que el reto de la formación en ciencias, es aprender a pensar, a aprender y dirigir los aprendizajes hacia la solución de problemas reales.
- La alimentación y la respiración que realmente dotan al organismo del oxígeno y los nutrientes básicos para la formación del sustrato adecuado de neurotransmisores, enzimas y segundos mensajeros implicados en las rutas bioquímicas que implica el proceso de aprendizaje, se constituyen en determinantes claves de los procesos cognitivos. Los estudiantes deben hacer conscientes estos dos elementos, y el maestro debe promoverlos en su esfuerzo por garantizar aprendizajes efectivos.
- Un clima de aprendizaje que favorece la confianza y el respeto por las ideas, y que además promueve la construcción de argumentos para defender las concepciones individuales, es indispensable para que los estudiantes puedan desplegar su creatividad científica en procesos de argumentación y reflexión crítica.

Finalmente, queda por decir que, a pesar de todos los esfuerzos por comprender los procesos biológicos que subyacen en el aprendizaje, hay un componente especialmente hermoso y único que desborda cualquier intento de teorización, es el deseo. El deseo es lo único que el maestro transmite. Inicia como un deseo de ser (cuando el maestro se convierte para el estudiante en un modelo que él quisiera encarnar) y se transforma en un deseo de saber (cuando el estudiante consciente o inconscientemente entiende que gran parte de la admiración y del halo mágico del maestro radica en la magia del saber. Es también cuando el

maestro demuestra que su función es dejar aprender). Este deseo que tal vez se produzca por la interacción de neuronas en el giro del cíngulo, hace posible el aprendizaje y lo determina en todas sus dimensiones. Frente a este gigante tan complejo y necesario solo me queda sugerir que se haga un pacto: un pacto entre el maestro y el deseo, en el que el primero se compromete a hacer todos los esfuerzos por reservarse el derecho de asombrarse, de amar la ciencia, de deseársela, y en esa medida, el segundo se potencia cada día en la magia del amor de los que aprenden, porque, si hay algo que debe quedar claro en todo esto, es, que como diría Goethe, solo aprendemos de aquellos a quienes amamos.



## **7. OPCIONES DE PROFUNDIZACIÓN QUE ABRE ESTA INVESTIGACIÓN**

Este trabajo da cuenta de las generalidades en torno a la manera como puede abordarse en el contexto de nuestra facultad y nuestro programa de licenciatura un estudio aplicado de la neurociencia al contexto pedagógico. Sin embargo quedan muchísimos aspectos por profundizar, teniendo en cuenta que los estudios neurocientíficos son relativamente recientes y a la ciencia le queda aún mucho por investigar y por decir al respecto de esta línea del conocimiento.

Investigar los procesos neurofisiológicos específicos que realiza el sujeto humano durante el aprendizaje de conceptos, teorías y modelos científicos en la edad escolar, y las formas como pueden potenciarse esos proceso a través de estrategias y métodos de enseñanza y actividades de aula, es el foco hacia el cual se sugiere continuar el proceso investigativo sobre las bases neurofisiológicas del aprendizaje. Una sugerencia para emprender este estudio es a través del uso de neuroimágenes, lo que puede lograrse reuniendo un grupo interdisciplinario que involucre maestros, médicos, estudiantes, padres de familia y neurocientíficos.

La aplicación en contextos reales de aula, de estrategias de enseñanza, construidas a partir de la lectura pedagógica de los presupuestos neurocientíficos acerca del aprendizaje y su correlación con lo que se conoce en didáctica sobre el aprendizaje de las ciencias, puede ser otra de las vías interesantes que podría tomar esta línea de investigación.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afifi A, Bergman R (2006). Neuroanatomía funcional: Texto y atlas. Segunda edición. México: McGraw-Hill
- Anderson, J (2001). Aprendizaje y memoria: Un enfoque integral. México: McGraw-Hill.
- Correa P, 2009. Cerebros Reprogramados. Diario El Espectador, Bogotá. Disponible en: <http://www.elespectador.com/impreso/articuloimpreso175507-cerebros-reprogramados> (Consultado el 3 de diciembre de 2009 11:12 am)
- Kandel E, Schwartz J, Jessel T. (2000) Principles of neural sciences. Fourth edition. USA: McGraw-Hill
- Quintana A., Montgomery W. (2006). Psicología: Tópicos de actualidad. Lima: UNMSM.
- Rodríguez, G.; Gil, J. y García, E. (1999). Metodología de la Investigación cualitativa. Málaga, España: Editorial Aljibe.
- Ruiz, J. I. (2003). Metodología de la investigación cualitativa. Bilbao, España: Universidad de Deusto.
- Barreto M., Blanco C. (2001) Investigación. Editorial Universidad Javeriana. Bogotá.
- Página web del proyecto Lernen und Gehirn. Recuperado el 20 de octubre de 2009 de: <http://www.edyounet.de/biologie/downloads/gehirn/doc/lernthesen.pdf>
- Pozo J, Gómez M. (1998) Aprender y enseñar ciencia: Del conocimiento científico al cotidiano. Ediciones Morata. Madrid.
- Pleger Burkhard, Foerster Ann Freya, Ragert Patrick, et al. Functional imaging of perceptual learning in human primary and secondary somatosensory cortex. Neuron 2003;40(3):643-53.
- Documento PRAE Escuela Normal Superior María Auxiliadora. Recuperado el 18 de Noviembre de 2009 de <http://praenormalcopa.blogspot.com/>
- Jensen E. Brain-Based Learning (2008). The new paradigm of teaching. Second Edition. Editorial Corwin Press.
- Anderson J. (2001). Aprendizaje y memoria: un enfoque integral. Segunda Edición. Editorial Mc Graw Hill.
- Londoño L (2008) Es lo mismo el aprendizaje y la memoria: Hacia una amplia conceptualización. Revista Pensando psicología. Vol. 4 Numero 6/7. Recuperado el 22 de septiembre de 2010 de <http://wb.ucc.edu.co/pensandopsicologia/files/2010/09/articulo-08-vol4-n6-7.pdf>

- Mora S. (2008). Fundamentos biológicos del aprendizaje. Recuperado el 23 de Febrero de 2010 de <http://www.slideshare.net/Sergiourbano/como-aprende-el-cerebro-presentation>
- Gallegos M, Gorostegui M. Procesos cognitivos. Recuperado de internet el 15 de Julio de 2010, de [http://files.procesos.webnode.com/200000027-94236951d3/procesos\\_cognitivos\\_simples.pdf](http://files.procesos.webnode.com/200000027-94236951d3/procesos_cognitivos_simples.pdf)
- Jiménez Aleixandre, M.P., Bugallo Rodríguez, A. Y Duschl, R.A. (2000). "Doing the lesson" or "Doing Science": Argument in High School Genetics. *Science Education*, 84.
- León, J.A. (2010). Neuroimágen de los procesos de comprensión de la lectura y el lenguaje. *Revista Nebrija de Lingüística aplicada*. 7(4) 99-116.
- Luria, A.R. (1979) *The making of mind: A personal account of soviet psychology*. Harvard University Press.
- Labarca, A. La técnica de observación en la sala de clases. Recuperado el 15 de septiembre de 2010 de [\(http://www.umce.cl/publicaciones/mie/mie\\_modulo3.pdf/](http://www.umce.cl/publicaciones/mie/mie_modulo3.pdf/)
- AUSUBEL, P.D (1983). *Psicología educativa, un punto de vista cognoscitivo*. México: Editorial Trillas.
- Vygotsky L. (1964). *Pensamiento y lenguaje*. Buenos Aires: Editorial Lautaro.
- Pittman, K.M. (1999). Student-generated analogies: another way ok knowing? *Journal of Research in science Teaching*, 36(1), 1-22.
- RENDON, M. y ZAPATA, P. (2009). Intervención cognoscitiva en los procesos ejecutivos para el procesamiento de información: Un programa con profesores y estudiantes de secundaria.. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra: VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, pp. 1955-1958
- Blanco R, Aguado A. Procesos de pensamiento lógico en un caso de lesión vascular cerebral. *REV NEUROL* 2002;34:1048-1052.
- De la Barrera M, Donolo D. (2009). Neurociencias y su importancia en contextos de aprendizaje. *Revista Digital Universitaria*: Volumen 10 - Número 4 - ISSN: 1067-6079 (Disponible en <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num4/art20/int20.htm>)
- Enríquez S, Enríquez M, Bonilla B. La aplicación de la neurofisiología en el proceso educativo. Recuperado el 20 de Octubre de 2010 de [http://www.ciie.cfie.ipn.mx/2domemorias/documents/m/m14b/m14b\\_71.pdf](http://www.ciie.cfie.ipn.mx/2domemorias/documents/m/m14b/m14b_71.pdf)
- Campos A. (2010). Neuroeducación: uniendo las neurociencias y la educación en la búsqueda del desarrollo humano. *Revista digital La educación*. Organización de los estados americanos. # 143.

- Francis, S. (2005) El aporte de la neurociencia para la formación docente. Revista Electrónica Actualidades Investigativas en Educación. Volumen 5, Número 1.
- Ortega C, Franco J. Ortega C, Franco J.(2010) Neurofisiología del aprendizaje y la memoria. Plasticidad neuronal. iMedPub Journals. Archivos de medicina. 2010 Vol. 6 No. 1:2 doi: 10.3823/048
- Duran, T. (2010). Importancia del proceso de aprendizaje y sus implicaciones en la educación del siglo XXI. Revista electrónica de pedagogía ODISEO. Año 7, núm. 14. Enero-junio 2010. ISSN 1870-1477
- Escera C. (2004) Aproximación histórica y conceptual a la neurociencia cognitiva. *Cognitiva*, 2004, 16 (2), 000-000 Fundación Infancia y Aprendizaje, ISSN: 0214-3550
- Campanario J, Cuerva J, Moya A, et al. La metacognición y el aprendizaje de las ciencias. Recuperado el 20 de noviembre de 2010, de [www2.uah.es/jmc/ln1.pdf](http://www2.uah.es/jmc/ln1.pdf)
- Vázquez G, Barcena F. Pedagogía cognitiva: La educación y el estudio de la mente en la sociedad de la información. Revista Teoría de la educación. Vol. 1. ISSN 1138-9737. Disponible en:

[http://campus.usal.es/~teoriaeducacion/rev\\_numero\\_01/articulo6.html](http://campus.usal.es/~teoriaeducacion/rev_numero_01/articulo6.html)

- Ministerio de educación nacional. Lineamientos curriculares Ciencias naturales y educación ambiental. Bogotá-Colombia.
- Documento Maestro del programa Licenciatura en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental: formato para la solicitud de los registros calificados de los programas académicos, Decreto 1295 del 20 de abril de 2010.

## 9. ANEXOS

Universidad de Antioquia  
Facultad de Educación

Abril de 2010

Respetado Estudiante-Profesor:

Con el propósito de avanzar en el desarrollo de la investigación: ***"La formación de los estudiantes de licenciatura en ciencias naturales de la facultad de educación de la universidad de Antioquia en las bases neurofisiológicas del aprendizaje de las ciencias naturales como estrategia para mejorar sus prácticas de enseñanza y potenciar sus competencias pedagógicas"***, le solicito comedidamente, basado en su experiencia formativa y en sus conocimientos pedagógicos, conceder su opinión al respecto de las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son las estructuras biológicas implicadas en el aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela?
2. Que procesos cognitivos realiza el sujeto durante el aprendizaje de las ciencias.
3. Qué condiciones neurofisiológicas están implicadas en el aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela.
4. Puede el maestro potenciar los procesos cognitivos asociados al aprendizaje de las ciencias a partir de sus diseños didácticos. (En caso de afirmativo, como)
5. Considera usted que los estudiantes de licenciatura en ciencias naturales de la facultad de educación de la Universidad de Antioquia en general conocen las particularidades en torno a los procesos neurofisiológicos asociados al aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela. (porque pueden acceder a dicha formación durante la carrera)
6. Según Usted, como impactaría la formación de los futuros maestros en las bases neurofisiológicas asociadas al aprendizaje de las ciencias naturales, en sus prácticas pedagógicas y en los procesos de aprendizaje de los estudiantes.
7. Qué opinión le merece la inclusión en el pensum de la licenciatura de un espacio de formación que posibilite el abordaje, de teorías, concepciones, propuestas e interrogantes asociados con la temática de esta investigación y el posible impacto que podría tener dicho espacio en sus futuras prácticas pedagógicas.

8. Considera usted que en el marco de los referentes legales en los que se apoya el sistema educativo colombiano cobra relevancia la figura de un maestro que comprende como aprende el sujeto y utiliza dicha comprensión en el diseño, la ejecución y la reflexión de su práctica pedagógica. ¿Reconoce usted la figura de ese maestro en la facultad de educación de la U de A?

Nota: Con su firma, autoriza que sus respuestas sean utilizadas para efectos de análisis y publicación dentro de la investigación, manteniendo siempre su identidad en completa reserva.

Agradezco enormemente su importante colaboración y aporte a esta investigación.

Catalina Baena Gómez

Est. Lic. Ciencias naturales y educación ambiental U de A

Est. Medicina UPB.