



BUAP

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE PUEBLA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO
MATEMÁTICAS**

**ACTIVIDADES PARA EL APRENDIZAJE
DE LA FÍSICA EN LA EDUCACIÓN
SECUNDARIA.
UN ENFOQUE CONSTRUCTIVISTA**

T E S I S

PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO DE:

LIC. EN FÍSICA

P R E S E N T A:

ARIANNA LÓPEZ GERÓNIMO

A S E S O R:

PSIC. JOSÉ JUÁREZ NÚÑEZ – UPN

C O A S E S O R:

DR. APOLONIO JUÁREZ NÚÑEZ – FCFM, BUAP



PUEBLA, PUE. ABRIL 2023

Agradecimientos

Agradezco a mis padres y a mi familia quienes siempre han procurado mi bienestar y si no fuera por sus esfuerzos, mis estudios no hubiesen sido posibles. Les estaré siempre agradecida por su cariño y por todo lo que han hecho por mí.

A Luz, Adrián, Eddy, Víctor, Mike, Jessica, Iván, Cynthia, Ana, Liliana, a todos mis amigos y compañeros de la facultad con los que pasé horas repletas de alegría y estudio. Gracias por hacer de la universidad la mejor etapa de mi vida. Los mantendré siempre en mi memoria.

A Luis por ser uno de los principales soportes en mi vida personal y académica. Por estar a mi lado en los mejores y peores momentos de mi vida. Por ayudarme a estudiar las materias, y explicarme con toda la paciencia del mundo cuando no entendía nada. Agradezco tu apoyo incondicional.

Quiero agradecer de manera especial y sincera al Psic. José Juárez y al Dr. Apolonio Juárez por aceptarme en la dirección de esta tesis. Agradezco el haberme facilitado, en todo momento, los medios suficientes para llevarla a cabo. Gracias por la confianza y la paciencia con la que guiaron este trabajo, por su disposición para atender mis dudas todas las veces que lo necesité. Su apoyo ha sido fundamental no sólo en el desarrollo de este trabajo, sino también en mi formación como estudiante. Me quedo con un cúmulo de aprendizajes derivados de su notable participación como guías en este largo trayecto.

Agradezco también a los miembros del jurado por aceptar formar parte de este proceso y por sus contribuciones a este trabajo.

A todos ustedes, muchas gracias.

Índice

Resumen.....	4
1. Introducción	5
2. La visión constructivista del mundo	11
2.1 Postulados del Constructivismo	11
2.2 Teoría del Aprendizaje de Vygotsky	18
2.3 El mundo de Planilandia	25
3. El cerebro en el proceso de construcción de la realidad.....	35
3.1 ¿Cómo el cerebro determina lo que vemos?	35
3.2 Construyendo una realidad	47
4. Visión constructivista para el aprendizaje de la Física en la escuela secundaria	57
4.1 Aspectos en el aprendizaje de la ciencia	57
4.2 Educación Secundaria: Ciencias II	67
4.3 Actividades para la enseñanza de la física	73
5. Conclusiones	106
Referencias	109

Resumen

En las últimas décadas, la investigación en la didáctica de las ciencias ha sido influenciada por el *Constructivismo*. Esta corriente del pensamiento humano ha tenido una fuerte presencia en los planes de estudio en la educación básica. Sin embargo, poco o casi nada se ha logrado desarrollar en la práctica, pues en dicho proceso se ha mantenido el método de enseñanza-aprendizaje tradicional. En esta tesis se plantean actividades a partir de estrategias de enseñanza que encaminen a los estudiantes del nivel secundaria a un acercamiento de la ciencia desde un enfoque constructivista, de manera específica en el área de la física. Con esta finalidad, se introduce a la visión constructivista y sus postulados como fundamento epistemológico. Asimismo, se realiza un análisis de los procesos fisiológicos y físicos que permiten conducirnos a través del mundo que, a su vez, participan en la construcción de conocimiento. Finalmente, se resaltan algunos procesos que involucran tanto a profesores y estudiantes en el aprendizaje escolar, que permiten dar un giro al método tradicional y plantear su *enseñanza* desde un enfoque constructivista.

Capítulo 1

Introducción

La ciencia y la tecnología se encuentran en constante construcción y cambio; además, tienen un papel imprescindible para la sociedad, pues nos ayudan a tratar de intervenir el mundo en el que vivimos.

Por lo tanto, es preciso que en la educación básica se fomente en los estudiantes el estudio de los fenómenos que nos rodean. Sin embargo, el aprendizaje de la ciencia es un reto que tanto profesores como estudiantes enfrentan desde diferentes perspectivas, particularmente en la escuela secundaria [1,2,3].

Por lo general existe un ambiente de frustración por parte de profesores, debido al éxito limitado de sus esfuerzos como docentes en la ciencia. En el caso de los estudiantes, aprenden menos y su interés va en descenso. Esta situación genera una crisis que es necesario abordar si se busca que los estudiantes aprendan ciencia [4,2].

Empero, el origen de esta crisis tiene un trasfondo mucho más complejo que va más allá de lo que sucede únicamente en las aulas. Los diversos cambios en la ciencia y en la sociedad, han contribuido a que el problema de aprender ciencias aumente su complejidad y requiera enfrentarlo de manera distinta a la forma que por mucho tiempo se ha venido realizando.

Aspectos que hay que destacar en el ámbito educativo son los cambios políticos, pues en las últimas décadas, con la esperanza de una mejora en el aprendizaje, en México se han implementado una serie de reformas referentes a este ámbito. Entre dichas reformas se encuentran: el Acuerdo Nacional para la Modernización de la Educación Básica (1992), la Reforma Integral de la Educación Básica (2007), la Reforma Educativa de México 2013 y la Reforma Educativa 2017 “Aprendizajes Clave para la Educación Integral” [5,6,7].

En el sexenio actual, se espera la puesta en práctica de la nueva reforma educativa conocida como *Nueva Escuela Mexicana* [8].

Cabe señalar que, todos estos cambios en el ámbito educativo son de orientación constructivista.

Sin embargo, las dificultades presentes en el proceso de aprendizaje de la ciencia no son consecuencias de la aplicación de los nuevos planes con influencia constructivista; más bien, se deben al intento de mantener los métodos tradicionales, pues hay una fuerte desorientación respecto a los nuevos métodos por parte del profesorado, y se acude a los formatos tradicionales ya conocidos, buscando cumplir con las exigencias puramente políticas derivadas de los constantes cambios en las reformas educativas.

De igual manera, hay un desfase entre la ciencia que se ha venido “enseñando” y los propios estudiantes, pues a pesar de que la sociedad a la que va dirigido el aprendizaje y las demandas en la formación de los ciudadanos han cambiado considerablemente, la forma de “enseñar” se ha mantenido apegada a las prácticas de enseñanza tradicional. Por ello, se requiere adoptar nuevos métodos y metas vinculadas al llamado *constructivismo* en el aprendizaje dentro del aula.

El modelo educativo 2017 “Aprendizajes clave para la educación Integral” [9,10] hace explícitas las necesidades en torno a la educación básica donde se busca la formación de ciudadanos más libres, justos y prósperos que, a su vez, puedan formar parte de un mundo más cambiante, complejo e interconectado. Al mismo tiempo se parte de la premisa de que la educación no debe ser estática, sino que debe responder y evolucionar ante las características en las que está inserta, esto es, que los estudiantes no se desfasen de las necesidades sociales y tecnológicas y sean capaces de responder ante ellas.

Asimismo, ante las características actuales del mundo, es necesario cambiar la manera en que se imparte la educación, así como optar por un sistema en el que “la función de la escuela ya no sea únicamente *enseñar* a los estudiantes lo que no saben, sino contribuir a desarrollar la capacidad de **aprender a aprender**, que significa *aprender a pensar*; a cuestionarse acerca de los diversos fenómenos, sus causas y sus consecuencias; a controlar los procesos personales de aprendizaje; a valorar lo que se aprende en conjunto con otros; y a fomentar el interés y la

motivación para aprender a lo largo de toda la vida” [10].

Es importante señalar que, a pesar de que nos encontramos en un contexto en el que hay un creciente acceso a la información y aprendizajes informales, el papel de la escuela sigue siendo fundamental en la formación de ciudadanos. Al mismo tiempo, es responsabilidad de la escuela el facilitar aprendizajes a los estudiantes que les permitan ser parte de las exigencias sociales, culturales y tecnológicas de la actualidad, de manera que los estudiantes sean capaces de manejar la creciente información a su alcance, donde “la educación sea una herramienta para que los estudiantes aprendan a discernir lo relevante y pertinente, a evaluarla, clasificarla y usarla con responsabilidad” [10].

Otro aspecto involucrado dentro de las necesidades a tomar en cuenta en la didáctica de las ciencias es la inclusión de los “avances en la comprensión sobre cómo ocurre el aprendizaje y su relación con otros factores como la docencia, el contexto social, etc.” [10], pues la investigación en materia educativa indica que el aprendizaje responde a la construcción de ambientes favorables para este proceso. Dichos ambientes no hacen referencia solamente a los espacios físicos, sino que hacen referencia principalmente al aspecto emocional, el cual ha sido un ámbito fuertemente ausente en el siglo pasado, pero que es de suma importancia en el proceso de aprendizaje.

Dentro de la investigación de la didáctica de las ciencias, se ha ido consolidando el llamado paradigma constructivista, del cual se han ido derivando nuevos modelos y propuestas curriculares como las reformas mencionadas anteriormente.

Inicialmente, la visión constructivista en el aprendizaje de las ciencias estuvo principalmente influenciada por la psicología piagetiana y ausbeliana. Sin embargo, poco a poco tomó importancia la construcción social del conocimiento a través de los estudios realizados por Lev Vygotsky.

El modelo educativo *Aprendizajes Clave para la Educación Integral* está fundamentado desde el enfoque socio constructivista, “enfoque que considera relevante la interacción social del aprendiz y plantea la necesidad de explorar nuevas formas de lograr el aprendizaje que no siempre se han visto reflejados en el aula. Este enfoque considera al aprendizaje como “participación” o “negociación social”, en el cual los contextos sociales y situacionales son de gran relevancia para

producir aprendizajes” [10].

Dentro del proceso de aprendizaje de los estudiantes es necesario tomar en cuenta la cultura pedagógica, es decir, el papel del docente en dicho proceso, pues sigue prevaleciendo la “*enseñanza*” tradicional, donde el docente se centra, principalmente, en la exposición de contenidos, pero no hay una participación por parte del estudiante. Es necesario cambiar dicha cultura pedagógica por una que se centre en “generar aprendices activos, creativos, interesados por aprender y lograr los aprendizajes de calidad demandados por la sociedad actual” [10]. El docente es una pieza fundamental en el proceso educativo, pues funge como constructor de condiciones de aprendizaje, es quien tiene la tarea de “llevar a los estudiantes lo más lejos posible en el dominio de aprendizajes esperados” [10].

Los cambios en el ámbito educativo en México han sido frecuentes. Las reformas antes mencionadas, a pesar de sus múltiples diferencias, han tenido una influencia constructivista. Sin embargo, poco o casi nada de esta influencia se ha podido implementar a lo largo de los años [11] pues a pesar de que dichas reformas se han auto caracterizado como propuestas constructivistas, en la práctica, están muy lejos de serlas.

El *constructivismo* es una visión del mundo incompatible e inconmensurable con el *realismo* [12]. La visión del mundo realista afirma la existencia de un mundo independiente del sujeto cognoscente, donde el sujeto tiene la tarea de descubrir cómo es ese mundo “real” [13], cuya influencia en la educación se ve reflejada al pretender que el estudiante considere que el mundo se rige por las leyes y principios que la ciencia plantea.

Durante cientos de años, el *realismo* ha predominado en las sociedades y se fincó en éstas cuando se introdujo en la escuela. De ahí que será complicado lograr que los integrantes de nuestra sociedad modifiquen sus formas de concebir al mundo, pues, aunque actualmente las bases de la educación tengan influencia constructivista, en realidad se ha llevado a cabo bajo la práctica realista en el sentido de que la educación se ha centrado en el intento de repetir lo que el docente expone y dichos contenidos científicos son tomados como información fidedigna del mundo.

Por lo anterior, resulta relevante analizar la didáctica de las ciencias y sus consecuencias en la educación básica.

Así pues, el propósito de este trabajo es presentar actividades de enseñanza a partir de estrategias que encaminen a los estudiantes del nivel secundaria a un acercamiento de la ciencia desde un enfoque constructivista, de manera específica en el área de la física. Asimismo, con esta propuesta se pretende alcanzar los propósitos de la educación en el aprendizaje de las ciencias [10], en el que se espera que el estudiante explore e interaccione con fenómenos y procesos naturales, para desarrollar nociones y representaciones para plantear preguntas sobre los mismos y generar razonamientos en la búsqueda de respuestas. Al mismo tiempo, el propósito de estas actividades es que induzcan a que el estudiante sea capaz de desarrollar estrategias de indagación que ayuden a comprender los procesos científicos de construcción de modelos cuyo propósito es la generación de conocimiento, que pueda comprender el carácter provisional de la ciencia y relacionarlo con las diferentes áreas de conocimiento.

Esta tesis se ha estructurado de la siguiente forma:

El capítulo 2 está estructurado por tres apartados. En el primero se introduce la visión constructivista y sus postulados como fundamento epistemológico de este trabajo. En el segundo apartado introducimos la teoría del aprendizaje de Lev Vygotsky como un modelo de soporte constructivista que explica cómo se lleva a cabo el aprendizaje de los seres humanos y su influencia con las interacciones sociales y culturales. En el último apartado de éste capítulo, se presenta una síntesis argumentada del texto “*Planilandia: una novela de muchas dimensiones*” de Edwin A. Abbott [14], donde se aborda la perspectiva de diferentes mundos dimensionales. La revisión y análisis de esta novela se hace debido a que, por sus implicaciones epistemológicas, podría ser un texto necesario para abordarse en la educación básica, de manera que los estudiantes puedan reflexionar sobre la perspectiva desde la cual está escrito dicho texto y consecuentemente puedan discutir acerca de la particularidad de que el hecho de movernos en un mundo de tres dimensiones espaciales, **no implica que veamos el mundo de esas tres dimensiones**. La visión humana es bidimensional y el cerebro usa la visión estereoscópica para que podamos conducirnos en este mundo de tres dimensiones espaciales. El análisis de este texto implica reflexionar acerca de que el mundo que percibimos no es un mundo “real”, sino solamente una construcción.

En el capítulo 3, en un primer apartado, se presentan algunos conceptos fisiológicos y físicos para hacer énfasis en los mecanismos que permiten al cerebro

conducirnos a través de este mundo de tres dimensiones espaciales, procesos que, a su vez, tienen una importante participación en la construcción de nuestro ambiente. Posteriormente, para entender cómo construimos nuestra realidad, se aborda también el artículo del autor Heinz von Foerster denominado “Construyendo una realidad” [15], y al mismo tiempo, se relacionan los resultados de la sección anterior con la construcción de la realidad desde la perspectiva constructivista.

En el capítulo 4 se hace un análisis de los diferentes problemas que involucran tanto a profesores y estudiantes en el aprendizaje de la ciencia, específicamente de la física. Adicionalmente, se presenta el programa de estudios de la asignatura de *Ciencias II: Física* del nivel secundaria [16,10] y se aplica lo visto en los capítulos anteriores al proceso de aprendizaje de la física en el nivel secundaria a través de una serie de actividades que apuntan a introducir a los estudiantes al pensamiento científico. Se presentan algunas actividades para el aprendizaje de la física que tienen el objetivo de encaminar a los estudiantes a la construcción de algunos conceptos abordados dentro del programa de estudios de la asignatura Ciencias II así como actividades inspiradas en el texto de ***Planilandia*** antes mencionado. Esta propuesta pretende introducir a los estudiantes en el aprendizaje de las ciencias y romper con el paradigma tradicional del conocimiento mediante el análisis de nuestro mundo de tres dimensiones espaciales y cómo los mecanismos del cerebro nos permiten conducirnos a través de él.

Finalmente, se presentan las conclusiones de este trabajo, destacando que cualquier mejora en la calidad educativa en México, requiere que los docentes discutan y procesen lo que es la visión del mundo constructivista, partiendo de que el aprendizaje es siempre un proceso de construcción del conocimiento y no de una mera transmisión.

Capítulo 2

La visión constructivista del mundo

2.1 Postulados del Constructivismo

El *constructivismo* es una corriente de pensamiento que tiene sus inicios desde los presocráticos y se consolida en el siglo XVIII con Immanuel Kant (1724-1804) y Giambattista Vico (1668-1744). Sin embargo, no fue reconocida como tal en un principio. No fue hasta principios del siglo XX cuando el *constructivismo* tomó relevancia como corriente teórica en manos de investigadores de diversas áreas, tales como la filosofía, la física-matemática, la psicología, biología, entre otras.

A lo largo de la historia, uno de los principales intereses de la humanidad ha sido la naturaleza, el origen y las formas de conocer. El conocimiento, tal como se le concibe hoy, es el proceso progresivo y gradual desarrollado por el ser humano para aprehender su mundo y realizarse como individuo y especie [17]. En este contexto, la cuestión de cómo adquirimos conocimiento y si ese conocimiento es seguro y “verdadero” ha sido tema de investigación dentro del campo filosófico.

De aquí surge el término de teoría del conocimiento, el cual hace referencia al estudio filosófico sobre la naturaleza y el alcance de lo que podemos saber. Dicho de otro modo, aborda principalmente dos aspectos: el primero se refiere a cuál es la naturaleza del conocimiento y el segundo a cuál es el alcance de dicha teoría, ya que las respuestas a dichas preguntas tienen grandes consecuencias sociales. Una teoría del conocimiento no estudia los conocimientos particulares, más bien estudia la naturaleza del conocimiento general.

El *realismo* ha sido la teoría de conocimiento que más ha influido a lo largo de la historia y sigue teniendo un papel importante en la actualidad en diversas áreas. El *realismo* se basa en dos presupuestos fundamentales: que existe un mundo

completamente estructurado independientemente de cualquier ser humano cognoscente que lo experimente y que el ser humano tiene la tarea de descubrir cómo es ese mundo “real” y su estructura.

Hilary Putnam, filósofo de la ciencia dice que “desde los presocráticos a Kant no hay ningún filósofo que, en sus principios elementales, irreductibles, no haya sido realista metafísico” [15], pues dentro de la comunidad filosófica, a pesar de los desacuerdos existentes acerca de lo que realmente existe, había un acuerdo en cuanto al concepto de la verdad vinculada con la validez objetiva. Sumado a esto, Ernst von Glasersfeld dice que “un realista metafísico es aquel que sostiene que sólo tenemos derecho a llamar *verdad* únicamente a lo que corresponde con una realidad independiente y objetiva” [15]. La concepción metafísica de que el saber sólo es saber si permite conocer el mundo como tal, sigue dominando hasta nuestros días.

Por su parte, el *constructivismo* es una teoría del conocimiento que comenzó a tener relevancia recientemente. De manera opuesta al *realismo*, sostiene que existe un *mundo* independiente del sujeto que lo observa, pero que no puede ser conocido tal cual es; por tanto, es necesario construir teorías para describir la realidad. Augusto Ramírez en su artículo *La teoría del conocimiento en la investigación científica: una visión actual* [17], dice que “*el constructivismo concibe al sujeto-que-conoce y al objeto-por-conocer como entidades interdependientes y asume que la realidad es, en importante medida, hechura humana y por tanto el conocimiento sólo puede ser construido bajo el control de algo que ya es conocido*”.

Como se mencionó anteriormente, el pensamiento tradicional realista dice que existe un mundo independiente del sujeto cognoscente que lo observa y que puede ser conocido tal cual es. Se aferra a la idea al descubrimiento de las leyes de la naturaleza, a la acumulación de conocimientos, en pocas palabras a la presunción de saber.

El *constructivismo* radical es un esfuerzo por eliminar la presunción de saber de la humanidad. No niega la posibilidad de conocer [13], pero trabaja por cambiar esa perspectiva que el pensamiento tradicional nos ha hecho creer. Según Glasersfeld [13], los dos principios básicos del *constructivismo* son:

1. “El conocimiento no se recibe pasivamente, ni a través de los sentidos, ni por medio de la comunicación, sino que es construido activamente por el sujeto cognoscente.

2. La función de la cognición es adaptativa y sirve a la organización del mundo experiencial del sujeto, no al descubrimiento de una realidad ontológica objetiva”.

Aceptar estos dos principios significa salirse de los medios usuales y reconceptualizar una perspectiva muy diferente del mundo.

La diferencia principal entre el *constructivismo* y los demás ismos del mundo conceptual tradicional, se encuentra en la relación entre saber y realidad [15]. Para la concepción tradicional se considera esta relación siempre como un acuerdo o correspondencia gráfica. Por su parte, el *constructivismo* ve esta relación como una adaptación o ajuste en el sentido funcional. “El realista busca conocimiento que corresponde con la realidad de la misma manera en que se busca pintura para que corresponda con la pintura de una pared a la que se busca arreglar” [15]. Análogamente, el epistemólogo realista busca una equivalencia de relaciones. Por otro lado, cuando se habla de algo que *encaja*, hablamos de una relación diferente.

Para ilustrar el uso de este concepto recurramos al ejemplo de Glasersfeld de una llave que encaja en una cerradura, “cuando la llave abre la cerradura decimos que encaja, sin embargo, es bien sabido que existe una gran variedad de llaves con diferentes formas pero que de igual manera pueden abrir la cerradura. Desde el punto de vista constructivista, todos nosotros estamos frente al mundo circundante como un bandido ante una cerradura que debe abrir para adueñarse del botín” [15]. Esta analogía ilustra los caminos escogidos por la ciencia al tratar la realidad, donde estos caminos juegan el papel de la llave que se ajusta en la cerradura llamada realidad, que a pesar de ignorar cómo está hecha la cerradura, la llave sigue sirviendo para el propósito de quien la usa. Así, aunque no se conozca la “realidad”, los caminos tomados por la ciencia se mantendrán en uso siempre y cuando sigan cumpliendo su función de modelos aproximados.

En la teoría constructivista, frecuentemente se menciona la teoría evolucionista de Darwin para hacer énfasis al sentido dado en el concepto de encajar, pues es en esta teoría donde se habla **de la supervivencia del más apto**. En dicha teoría la supervivencia es el único criterio para la selección de especies, aquí solo hay dos posibilidades para las especies: encajan con el medio (sobreviven) o no encajan (mueren). Ahora bien, dentro de este proceso de supervivencia, el medio es el que pone límites a los seres vivos y suprime aquellos límites que impiden las posibilidades de vida en el medio ya limitado. Análogamente, dentro de la teoría constructivista, el mundo de la experiencia constituye el punto central para nuestras ideas, es decir,

nuestras experiencias en el laboratorio o la experiencia cotidiana, forman el punto central para la generación del conocimiento, el conocimiento está limitado por ese mundo experiencial. De aquí que, para el *constructivismo* “las regularidades, las reglas y las teorías se expresan como seguras o no, de manera posterior a la experiencia” [15].

En la teoría de la evolución y en la historia del conocimiento se habla acerca del concepto de *adaptación*, que a diferencia de lo que comúnmente se piensa, pasa que los organismos o nuestras ideas no pueden ajustarse al medio o a la realidad, sino que es la realidad la que limita lo que no es apto para la vida. “De aquí que la selección natural, tanto en la filogenia como en la teoría del conocimiento, no elige en un sentido al más apto, sino que funciona de manera negativa pues sencillamente deja que perezca todo aquello que no pasa la prueba” [15]. En la teoría del conocimiento el punto no es la supervivencia, sino la “verdad”.

La relación que existe entre estructuras orgánicas aptas para vivir y su medio, y la relación que hay entre estructuras cognitivas utilizables y el mundo de experiencia del sujeto pensante, es la misma, ya que ambas configuraciones encajan. La primera encaja porque el accidente natural de las mutaciones les dio la forma que ahora tienen; la segunda porque el propósito humano las formó para cumplir los fines que ahora ellas efectivamente cumplen. Esos fines son explicación, predicción y control de determinadas experiencias [15]. Ernst von Glasersfeld, dice que “nuestro conocimiento es útil, relevante, capaz de sobrevivir si resiste al mundo de la experiencia y nos capacita para hacer ciertas predicciones o para hacer que fenómenos ocurran o para impedir que ocurran” [15]. Sin embargo, las ideas, las teorías, así como las leyes de la naturaleza, se encuentran constantemente expuestas a cambios con base en nuestras experiencias.

Glasersfeld hace énfasis en que los cambios sociales, las variaciones del ambiente, así como las transformaciones de los conceptos en los que se base una ideología son mucho más profundos, para la generación que los vive, que las revoluciones pasadas puesto que éstas últimas ya han sido entregadas modificadas [15]. Esto ha valido para las teorías del conocimiento que han surgido a lo largo de la historia, para la perspectiva desde la que el pensador debe contemplar el mundo de la experiencia, y para el bien de la mente que suele llamarse conocimiento. El surgimiento del *constructivismo* nos lleva a pensar en que el “conocimiento”, ya no puede ser más la imagen o la representación de un mundo independiente del sujeto cognoscente que hace la experiencia.

La posición constructivista conduce inevitablemente a hacer del ser humano pensante el único responsable de su pensamiento, de su conocimiento e incluso de su conducta; es decir, el mundo en el que parecemos vivir lo debemos a nosotros mismos. Heinz von Foerster (1911-2002) lo expresa como **“la objetividad es la ilusión de que las observaciones pueden hacerse sin un observador”** [12].

En el marco escénico del *constructivismo*, donde las teorías, ideas y leyes resultan tan modificables y expuestas a la experiencia, surge la siguiente interrogante: “¿Cómo podemos explicar que experimentamos empero un mundo que es en muchos aspectos bastante estable y seguro, un mundo en el que hay muchas cosas duraderas, relaciones permanentes y reglas de causa y efecto que nos prestan buenos servicios?” [15]. Vico respondió a esta interrogante mediante el postulado de que: “... la verdad humana es lo que el hombre llega a conocer al construirlo, formándolo por sus acciones. Por eso la ciencia (scientia) es el conocimiento (cognitio) de los orígenes, de las formas y la manera en que fueron hechas las cosas” [15]. Dicho de otra forma, las cosas con las que amueblamos el mundo de nuestra experiencia han sido construidas por nosotros mismos.

Así que, de acuerdo con Vico, no resulta sorprendente que el mundo nos resulte estable, pues es un mundo que ha sido construido por nosotros mismos. Según Vico, el conocimiento es lo que llamaríamos adquirir consciencia de las operaciones, cuyo resultado es nuestra experiencia del mundo.

Por su parte, Kant en su obra de la “Crítica de la Razón Pura” desarrolla una idea similar a la de Vico anticipando parte del *constructivismo*: “La asociación por sí sola no puede llegar a nosotros mediante los sentidos pues es un acto de la espontaneidad de la imaginación, para diferenciarla de la sensibilidad, debemos llamarla entendimiento, por tanto, toda asociación, conscientes o no de ella, es un acto del entendimiento” [12]. Según Kant, no podemos representarnos nada asociado en el objeto sin haberlo asociado antes, la asociación es la única representación que no es dada por los objetos. La asociación sólo puede ser realizada por el objeto puesto que es un acto de la espontaneidad. Al hacer mención del término “asociación” Kant se refiere a todas las asociaciones que puede realizar nuestra cognición.

El proceso de asociación incluye tanto a la incorporación de objetos provenientes de características sensoriales individuales, como a la unión de objetos ya integrados anteriormente y a la conexión de una experiencia con otra, es decir, incluye todo tipo de asociación que contribuya a la construcción de conceptos y redes de conceptos. De

esta forma, todo lo que consideramos integrado y podemos atribuirle una “estructura”, es producto de nuestra capacidad de representación.

Hermann von Helmholtz retoma la idea de Kant de que no sólo el concepto de que las cualidades de nuestros órganos sensoriales determinan la calidad de nuestras percepciones, sino que también la idea de que “el espacio y tiempo deben ser considerados una inevitable construcción conceptual de la razón en vez de un hecho del mundo objetivo” [12]. De esta forma, si el tiempo y el espacio son principios de nuestra experiencia no es posible representarnos cosas más allá del mundo de la experiencia, ya que sin esos principios, la forma, el desarrollo de los procesos y cualquier tipo de ordenamiento resultan impensables. Así, resulta imposible que lo que llamamos saber pueda no ser tocado por la experiencia. Dicho de otra forma, una descripción objetiva de la realidad no es posible. Lo que sí es posible, es comparar nuestras percepciones con otras percepciones.

El *constructivismo* ha dado cabida al análisis de la manera en que se construye el conocimiento. Neus Sanmartí en su obra “*Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*” [18], hace énfasis en el papel de la ciencia en la construcción de interpretaciones de los fenómenos mediante teorías conceptos y *modelos*. Una teoría es más que una suma de conceptos, es una estructuración.

La concepción tradicional considera que la “verdad” existe y que los científicos buscan descubrirla y confirmarla. En contraste, las nuevas concepciones introducen la idea de que la ciencia construye interpretaciones de los fenómenos, los *modelos* [18]. De aquí es que se habla de una concepción constructivista, que según Sanmartí, entronca con las concepciones constructivistas del aprendizaje.

Una teoría cognitiva de la ciencia es la que intenta explicar cómo los científicos utilizan sus capacidades cognitivas para, interactuando con el mundo, construir la ciencia moderna [18]. Las teorías proponen principios que intentan explicar la naturaleza de los fenómenos del mundo, al mismo tiempo, dar apertura a la propuesta de modelos de la realidad los cuales, a su vez, a través de sus descripciones, permiten predecir el comportamiento de los fenómenos, pero siempre bajo las condiciones establecidas por el modelo en cuestión.

“El núcleo de una teoría científica no lo constituye un conjunto de axiomas o leyes, sino un conjunto de modelos. Estos modelos son entidades abstractas idealizadas, definidas por sus afirmaciones, por modelos a escala física o por medio de

ecuaciones, gráficos, diseños generados por el ordenador, etc.” [18]

A lo largo de la historia se ha intentado rigurosamente llegar a un acuerdo acerca de la manera en que se le da validez a una teoría. Inicialmente, se hablaba de que las teorías se derivan de los hechos, incluso en la actualidad sigue siendo un pensamiento muy común. Se discute también si esto ocurre de manera opuesta, es decir, si las teorías pueden surgir sin tener presentes los hechos. Se discute con mucha vehemencia la importancia de las observaciones en la construcción de las teorías que forman el conocimiento del mundo. Al mismo tiempo, las teorías y modelos también han sido objeto de discusión respecto a qué las hace más válidas que otras teorías. Así lo hemos visto con algunas posiciones como el falsacionismo de Karl Popper, los paradigmas de Thomas Kuhn, los programas de investigación de Imre Lakatos o la postura de Feyerabend para determinar la veracidad de las teorías científicas.

Sin embargo, las nuevas concepciones de la ciencia nos permiten ir más allá de la postura de darle validez a lo que el mismo ser humano construye. Esta apertura nos conduce a preguntarnos ¿por qué el mundo debería obedecer leyes? El *constructivismo* nos permite reflexionar acerca de este punto, pues como anteriormente se mencionó, **¿cómo puede la naturaleza obedecer las leyes, que como se ha visto a lo largo de la historia, no son otra cosa más que teorías provisionales?**

“Se considera que las teorías y los modelos son construcciones humanas que se ajustan más o menos a los *hechos* del mundo. Cada representación proporciona una perspectiva de dichos hechos, por lo que en cualquier caso siempre es parcial y algo imprecisa” [18].

“La conexión con el mundo *real* se hace a través de hipótesis teóricas que aseveran la similitud entre el modelo abstracto y cualquier cosa del mundo *real*. De aquí que los modelos se generan para dar respuesta a una “forma de mirar” la realidad ya que *el ajuste modelo-realidad, no es global, sino relativo a aquellos aspectos del mundo que los modelos intentan capturar*” [18]. Esto nos da una idea de que la manera en que se construye los modelos no es tan objetiva como se piensa, pues esta construcción está determinada por diferentes factores predeterminados en el proceso. “Del modelo se hacen preguntas y se hacen predicciones que se contrastan con los datos provenientes de la experimentación. Por ello se puede afirmar que de alguna manera la realidad observada forma parte del modelo, tanto porque se genera en relación a ella, como porque esta se observa a través de él” [18].

Para entender este punto podemos ejemplificarlo con las características de los mapas, pues el propósito de un mapa se refiere a mostrar alguna característica en específico, como mostrar costas, poblaciones, caminos, etc. La selección de las características a representar depende, tanto del deseo por parte de quien dibuja el mapa y del uso práctico para un determinado objetivo.

Podemos tener dos mapas que nos muestren un mismo objeto, por ejemplo, las carreteras de un país, pero uno puede estar enfocado principalmente en las carreteras más transitadas y otro en las carreteras interestatales. Posiblemente queramos ubicar una de las más transitadas en el mapa de las interestatales y no encontrarla, pero esto no quiere decir que el mapa de las interestatales no sea bueno, sino que su propósito es diferente. En contraste, muchos nos hemos topado con que un mapa nos ha ayudado a orientarnos a pesar de que el edificio no esté representado en él y de que tengamos conciencia de que existen mapas más especializados en para esa finalidad.

Los modelos sirven para conocer algo de lo nuevo a partir de lo ya conocido. Pensar a través de modelos posibilita establecer relaciones entre “lo real” y “lo construido” cuya finalidad es la de predecir y explicar.

Según el *constructivismo*, el conocimiento no es producto de una recepción pasiva, sino que es fruto de la actividad del sujeto activo. De acuerdo con esta teoría, la actividad cognoscitiva del individuo no puede llevar una imagen verdadera y certera del mundo. Esta forma de ver el mundo permite formular teorías para tratar de entender lo que nos rodea, sin imponer dichas teorías y leyes, pues siempre se mantendrán expuestas a los cambios según la viabilidad de éstas. “La ciencia es de naturaleza simbólica y negociado socialmente, y los objetos de la ciencia no son los fenómenos de la naturaleza sino los constructos que la comunidad científica ha elaborado para interpretarla” [18].

2.2 Teoría del Aprendizaje de Vygotsky

Una de las corrientes dentro de la teoría del conocimiento constructivista es el llamado *constructivismo social* o *socio constructivismo*. Este modelo, hace hincapié en el papel del contexto y de la interacción social de los individuos en el aprendizaje. Sugiere que la cognición y el aprendizaje funcionan como interacciones entre el individuo y la situación dada, siendo el conocimiento producto de la actividad, el contexto, así como de la cultura en la que el individuo se forma y desarrolla.

Lev Vygotsky (1896-1934), psicólogo y epistemólogo ruso, es considerado el precursor del *socio constructivismo*. Vygotsky considera al individuo como el resultado del proceso histórico y social donde el lenguaje funge como papel esencial en este proceso.

A diferencia de la teoría del *constructivismo* psicológico, en donde el aprendizaje se considera algo personal y dependiente del desarrollo en las diferentes etapas del individuo, Vygotsky considera al individuo como un ser eminentemente social y al conocimiento como un producto social.

Según Vygotsky, el desarrollo psicológico humano está conformado por dos líneas complementarias [19]: La primera línea de desarrollo define actos o procesos psicológicos que son compartidos con otros animales, tales como la atención, la percepción, la memoria y el pensamiento. Estos procesos son denominados elementales (o naturales). La segunda línea de desarrollo, artificial, cultural, implica acciones y procesos de tipo instrumental y se caracteriza por la incorporación de signos desarrollados históricamente, los cuales cambian por completo la naturaleza y expresión de los procesos psicológicos elementales, dando lugar a la aparición de los procesos psicológicos superiores (o instrumentales).

Podemos ejemplificar estos dos procesos psicológicos en el proceso de memorización: En la memoria natural un estímulo A es asociado a un estímulo B de acuerdo al mecanismo clásico de la formación de reflejos condicionados, es decir, luego de ser aparejados temporalmente en una o varias ocasiones, se establece un vínculo tal que el sujeto espera la aparición de B cuando percibe A. Este proceso corresponde a una forma directa de memorización: es la acción que realiza quien se repite a sí mismo muchas veces aquello que desea recordar (el día A debo telefonar a B). En el caso de la memoria instrumental o artificial, se incorpora un estímulo extra (X), el cual media la relación entre estímulos asociados.

Un proceso consistente en establecer una asociación o un vínculo para recordar una cosa corresponde a este estímulo extra, el cual modifica completamente la relación entre los estímulos originales. Ejemplo de ello es la acción de realizar un nudo en un pañuelo: desde A (encontrarse en el día específico) la acción se dirige a X (hacer un nudo en el pañuelo), y es X, como estímulo (palpar el nudo con el bolsillo), lo que dispara la aparición de B (recuerdo de llamar a la persona en cuestión) [19].

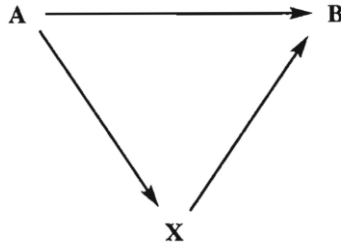


Figura 2.1: En este diagrama se ejemplifica la relación entre procesos psicológicos elementales y superiores [19].

Según Vygotsky, los procesos psicológicos elementales son controlados automáticamente por el entorno. En cambio, los procesos superiores son autorregulados por el individuo, de esta manera se puede afirmar que los procesos psicológicos superiores tienen un nivel más alto de regularización consciente. Además, los procesos superiores se caracterizan por su naturaleza social, pues es la participación en pequeños grupos lo que los lleva a su aparición.

Dentro de este enfoque socio constructivista, también se hace mención de que “el control voluntario, la realización consciente y la naturaleza social de los procesos superiores presuponen la existencia de herramientas psicológicas o signos, que pueden ser utilizados para controlar la actividad propia y de los demás” [19]. Aún más, Vygotsky también hace uso del término de *mediación semiótica* para definir la incorporación de estas herramientas psicológicas (de origen social).

Vygotsky, al basar su psicología en el concepto de actividad, considera que el ser humano no está limitado solamente a responder estímulos, sino que actúa sobre ellos, *transformándolos*. “Ello es posible gracias a la mediación de instrumentos que se interponen entre el estímulo y la respuesta. Frente a la cadena de estímulos y respuestas, Vygotsky opone un ciclo de actividad en el que, gracias al uso de instrumentos mediadores, el sujeto modifica el estímulo. No se limita a responder ante su presencia de modo reflejo o mecánico, sino que actúa sobre él. La actividad es un proceso de transformación del medio a través del uso de instrumentos” [20].

“Los mediadores son instrumentos que transforman la realidad en vez de imitarla. Su función no es adaptarse pasivamente a las condiciones ambientales, sino modificarlas activamente” [20]. Vygotsky establece dos clases de instrumentos con base en la función que llevan a cabo. En primer lugar, se

encuentra la herramienta, que actúan directamente sobre el estímulo, modificándolo. De esta manera, un martillo que actúa sobre un clavo, de tal forma que la acción a que da lugar, no solo corresponde al entorno, sino que lo modifica materialmente. La segunda clase de instrumentos son los signos que modifican al propio sujeto y a través de este a los estímulos. El sistema de signos más usado es el del lenguaje hablado, que al igual que otros tipos de signos, nos permite actuar sobre la realidad. A diferencia de la herramienta, el signo no modifica materialmente el estímulo, sino que modifica a la persona que lo utiliza como mediador [20].

Para aclarar este concepto, recurramos a la analogía establecida por Vygotsky entre herramienta y signo, donde hace mención de que “así como la introducción de las herramientas humanas transforman completamente la relación del trabajo del hombre con su medio físico, la incorporación del signo a una operación psicológica natural reestructura completamente su naturaleza” [19]. Sin embargo, esta analogía tiene un límite en el sentido en cuanto a la orientación hacia la cual están dirigidas las acciones de herramientas y signos. En el caso de herramientas físicas éstas se orientan de manera exterior. El ser humano las utiliza para hacer modificaciones en los objetos. Por otro lado, los signos tienen una orientación interna fungiendo como un medio que aspira a controlar los procedimientos psicológicos. Asimismo, las herramientas son construidas de acuerdo con las propiedades de los materiales, en el caso de los signos, cualquier estímulo puede convertirse en signo.

Una multitud de artefactos pueden ser considerados signos siempre y cuando cumplan la función de controlar y desarrollar capacidades psicológicas. Ejemplo de signos son los números, palabras, símbolos algebraicos, ayudas mnemotécnicas, diagramas, obras de arte, etc.

En diferentes momentos se presentan dos líneas de desarrollo, la línea natural y la línea cultural. Según Vygotsky, en los primeros años de vida que va de 0 a los 18-20 meses, la línea natural es la que se encuentra fundamentalmente arraigada. En esta etapa se observa el desarrollo de la inteligencia práctica, donde las capacidades perceptivas y motrices le permiten al individuo resolver tareas complejas dentro de su campo de percepción y capacidad motriz. Posteriormente, según Vygotsky, la aparición del lenguaje implica un cambio cualitativo en el desarrollo de los procesos psicológicos en dicho momento, pues el lenguaje abre la capacidad de control del individuo sobre su entorno. “La incorporación del lenguaje implica una reestructuración total, la

posibilidad de planeación de cierta acción incorporando signos que están más allá del campo visual” [19].

De aquí que Vygotsky establezca una relación complementaria pero distinta entre ambas líneas de desarrollo de la siguiente manera: “La línea natural de desarrollo se emparenta con los procesos de maduración y crecimiento, mientras que la línea cultural trata con los mecanismos de apropiación y dominio de los recursos e instrumentos que la cultura dispone” [19]. Asimismo, Vygotsky niega que la actividad externa e interna del sujeto cognoscente sean idénticas, pero afirma una conexión entre ellas de modo complementario, pues afirma que los procesos externos son transformados para crear procesos internos, es decir, la relación entre procesos externos e internos es de inherencia.

Según Vygotsky, los instrumentos de mediación son proporcionados por la cultura. Sin embargo, la adquisición de signos no consiste en sólo tomarlos del mundo exterior, sino que es necesario interiorizarlos.

Es en este proceso de adquisición de procedimientos donde surge un nuevo concepto denominado *internalización*. Vygotsky dice que los significados vienen del medio social externo, pero deben ser interiorizados por cada individuo, donde el medio está compuesto por objetos y personas que median en la interacción del individuo con los objetos. Dicho de otra manera, sería un proceso de transformación de acciones externas, sociales; en acciones internas, psicológicas. “La internalización es la reconstrucción interna de una operación externa” [19]. Según Vygotsky, la adquisición de conocimiento comienza como un objeto de intercambio social, es decir, se inicia como un proceso interpersonal para posteriormente internalizarse o hacerse intrapersonal. “En el desarrollo cultural del niño, toda función aparece dos veces: primero entre personas (interpsicológica), y después en el interior del propio niño (intrapsicológica). Esto puede aplicarse igualmente a la atención voluntaria, a la memoria lógica y a la formación de conceptos. Todas las funciones superiores se originan como relaciones entre seres humanos” [20]. A este vector de internalización en el desarrollo cultural es lo que Vygotsky llama como la *Ley de doble Formación*, ya que todo conocimiento es adquirido, por así decirlo, dos veces, primero a nivel social y posteriormente a nivel individual.

El proceso de internalización se aplica solamente a los procesos psicológicos superiores pues estos tienen su origen en la incorporación de signos al plano intrapsíquico. Cabe recalcar que una operación externa corresponde a procesos

sociales, es decir, a relaciones de carácter comunicativo transportado a través de signos.

Es preciso aclarar que el concepto de internalización no debe entenderse como una propuesta de un modelo transferencial, pues con frecuencia se presenta la confusión al visualizar este proceso como una copia, es decir, como un mero traspaso de las propiedades de los procesos externos a un medio interno. Sin embargo, contrario a esto, sucede que son los signos los que construyen al sujeto y a la conciencia.

La internalización es un producto del uso de un determinado comportamiento cognitivo en un contexto social. Uno de los ejemplos más conocidos respecto al proceso de internalización es el desarrollo del gesto indicativo en el que un niño pequeño empieza a señalar objetos con el dedo: En un inicio, el niño al intentar asir un objeto alejado de él tiende sus manos hacia el objeto, pero no logra alcanzarlo. Al mismo tiempo que mantiene sus brazos en el aire, los dedos hacen movimientos indicativos, pero cuando la madre le presta atención ésta interpreta que ese movimiento pretende no sólo agarrar sino señalar, entonces el niño empezará a interiorizar dicha acción como la representación de señalar.

Vygotsky afirma que el proceso de internalización consiste en una serie de transformaciones [19]:

- a) “Una operación que inicialmente presenta una actividad externa se reconstruye y comienza internamente”
- b) “Un proceso interpersonal queda transformado en otro intrapersonal”
- c) “La transformación de un proceso interpersonal en un proceso intrapersonal es el resultado de una prolongada serie de sucesos evolutivos”

En sus últimos años de investigación, Vygotsky hace énfasis en el ámbito de la educación planteando el problema de la relación *enseñanza-aprendizaje* y desarrollo cognitivo [19]. Es dentro de este ámbito donde utiliza el concepto de Zona de Desarrollo Próximo (ZDP). El uso de este concepto se deriva de la premisa de utilización de instrumentos semánticos compartidos intrapersonalmente, y que precede genéticamente a su dominio intrapersonal. Dicho de otro modo, explica su existencia a partir del concepto de internalización.

Para introducirnos al concepto de ZDP ejemplifiquemos el concepto en el

contexto de medición de las habilidades cognitivas: Tomemos a dos niños cuyas edades mentales son similares, por ejemplo, 8 años. Si ambos niños reciben ayuda de un adulto u otro niño mayor, cuya ayuda consiste en guías, claves o ejemplos, el desempeño de los niños, a la hora de ser evaluados, será mayor y probablemente distinto [19]. Esta distinción hace referencia a los niveles alcanzados por cada uno. En este ejemplo, al brindarles la ayuda anteriormente mencionada, uno de los niños podrá resolver tareas con éxito que normalmente son resueltas por niños de 10 años, mientras que el otro niño podría resolver las tareas que normalmente son resueltas por niños de 13 años, aquí se ha establecido la zona de desarrollo próximo de cada uno de ellos.

“Vygotsky afirma que esta medida de las tareas que el niño puede resolver con ayuda ofrece mucha mayor información acerca del desempeño escolar y del fruto que los niños podrán obtener de la *enseñanza*. Lo anterior debido a que aquello que el niño es capaz de hacer hoy con ayuda es lo que podrá hacer solo en el futuro próximo” [19].

La Zona de Desarrollo Próximo es la “distancia entre el *nivel real de desarrollo*, determinado por la capacidad de resolver independientemente un problema, y el *nivel de desarrollo potencial*, determinado a través de la resolución de un problema bajo la guía de un adulto o en colaboración de otro compañero más capaz” [21].

Dentro de esta definición de la ZDP, aparecen dos nuevos conceptos: el *nivel de desarrollo efectivo* (o nivel real de desarrollo) y el *nivel de desarrollo potencial*.

El nivel de desarrollo efectivo comprende el nivel de desarrollo de las funciones mentales del individuo, supone aquellas capacidades que puede realizar por sí solo y que son indicativos de sus capacidades mentales [19].

Por su parte, el nivel de desarrollo potencial está constituido por aquello que el individuo sería capaz de hacer con la ayuda de un adulto u otro compañero más capaz. Así, la zona de desarrollo próximo define aquellas funciones que aún no han madurado, pero que se encuentran en proceso de maduración.

“Vygotsky considera que el proceso de imitación puesto en juego en el desempeño asistido da importantes luces acerca de las características del funcionamiento mental del sujeto en cuestión. El niño puede imitar lo que se halla en las zonas de sus posibilidades intelectuales propias” [19], por ejemplo, si un individuo sabe aritmética, pero se topa con dificultades en la resolución de un problema, el mostrarle algunos caminos para resolverlo lo conducirá a su propia resolución, sin

embargo, si el individuo no conoce las matemáticas necesarias no servirá de nada la ayuda brindada.

De aquí que es preciso hacer énfasis en que “enseñar” algo que está más allá de las posibilidades en el estado actual del individuo no dará frutos, es decir, el individuo no tendrá posibilidades de aprender algo nuevo si no cuenta con un dominio de habilidades y conocimientos previos.

A diferencia de otros autores como Piaget, Vygotsky creía que, dentro de la zona de desarrollo próximo, el aprendizaje puede preceder al desarrollo, lo que significa que un niño puede aprender habilidades que van más allá de su madurez natural. También estableció una conexión explícita entre el habla y los conceptos mentales, argumentando que el habla interior se desarrolla a partir del habla externa a través del proceso gradual de internalización, es decir, el pensamiento mismo se desarrolla como resultado de la conversación, de este modo los niños más pequeños que no terminan este proceso sólo pueden “pensar en voz alta”. Una vez que se completa el proceso, el habla interior y el lenguaje hablado se vuelven independientes.

2.3 El mundo de Planilandia

En la sección anterior comentamos que el *constructivismo* afirma que el conocimiento no es resultado de una mera copia de la realidad preexistente, sino que es un proceso dinámico e interactivo a través del cual la información externa es interpretada por la mente que va construyendo progresivamente modelos cada vez más complejos y potentes [22].

Ahora, pasamos a exponer un resumen del texto *Planilandia: Una novela de muchas dimensiones*, cuyo fin es mostrar a dicho texto como ejemplo de la construcción de nuestra realidad, específicamente en el contexto de la construcción de nuestro mundo dimensional espacial.

Planilandia: Una novela de muchas dimensiones fue escrita por Edwin Abbott en 1884 bajo el pseudónimo de A. Square [14]. Esta obra fue escrita como una sátira de la era victoriana en Inglaterra.

A primera instancia, parecería que *Planilandia* fue escrita por un matemático, sin embargo, nuestro autor fue un profesor de escuela cuya

especialidad eran la literatura y la teología. Fue su interés por las matemáticas lo que hizo escribir su trabajo más famoso, dando vida a figuras geométricas en mundos dimensionalmente diferentes.

Planilandia es narrada por un ser de la segunda dimensión espacial, este ser es un Cuadrado que inicia describiendo su mundo de dos dimensiones a seres de tres dimensiones. Para este fin, Cuadrado se posiciona desde la tercera dimensión para hacer narrar su historia, donde la tercera dimensión es llamada Espaciolandia, mientras que Planilandia hace referencia al espacio conocido como segunda dimensión espacial. Una vez mencionada la dimensión desde la cual se ha escrito dicha obra, pasemos a presentar una síntesis comentada de la obra de Edwin Abbott.

Iniciemos posicionándonos en el mundo de tres dimensiones, Espaciolandia, e imaginemos una vasta hoja de papel en la cual líneas, rectas, triángulos, cuadrados y otras figuras se mueven libremente en lugar de permanecer fijas, pero sin la capacidad de elevarse por encima o hundirse.

Los habitantes de este mundo, a diferencia de los habitantes de Espaciolandia no pueden distinguirse entre ellos, lo único que pueden ver son líneas como cuando ponemos una moneda sobre la mesa que al retroceder hasta el borde de la mesa visualizamos la moneda como una línea recta (Figura 2.2).



Figura 2.2: Habitante de Planilandia, de forma similar a cuando se tiene una hoja de papel sobre la que hay figuras geométricas. Un ser de la tercera dimensión puede ver las figuras tal como se muestra en (1), conforme se retrocede hasta el borde de la hoja la figura comienza a verse como una sola línea como se muestra en (3), así, un habitante de Planilandia ve a sus compatriotas como líneas.

La estratificación de la sociedad en Planilandia satiriza la división de clases en la época victoriana donde la mujer era objeto de sumisión y la clase desposeída carecía de derechos. En Planilandia, el número de lados de cada habitante tenía un papel crucial para su aceptación en la sociedad: las mujeres están representadas por líneas, se encuentran por debajo de las clases más bajas, los triángulos

isósceles representan a los soldados y a las clases más bajas. Dada la morfología de los triángulos isósceles, resulta difícil diferenciarlos de las mujeres, por lo extremadamente puntiagudos que pueden llegar a ser sus vértices. La clase media de Planilandia está formada por triángulos equiláteros. Los profesionales y caballeros son cuadrados y pentágonos. El narrador y protagonista de esta historia forma parte de esta clase social. La nobleza inicia con los hexágonos hasta el honorable título de poligonal hasta el orden circular o sacerdotal.

Sobre el método de identificación en Planilandia. El primer método de identificación es el sentido del oído el cual es más desarrollado entre ellos. El segundo método es mediante el sentido del tacto y es el usado entre mujeres y las clases más bajas. Ya que en Planilandia, la neblina está presente la mayor parte del tiempo, se tiene un tercer método como identificación, este método es el de la visión. Sin embargo, el método de identificación visual sólo es practicado por la clase noble, siendo un lujo inalcanzable para las clases bajas.

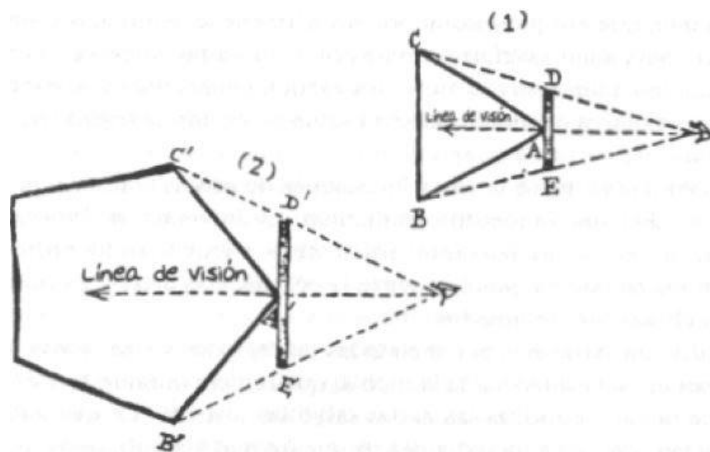


Figura 2.3: Identificación Visual: Dos habitantes de Planilandia se acercan a un observador, estos esquemas representan un análisis realizado desde la perspectiva de la tercera dimensión.

En un segundo apartado de la obra denominada como “otros mundos”, Cuadrado hace una descripción de su viaje a otras “realidades”. En el penúltimo día del año 1999 de su era, Cuadrado tiene un sueño en el que viaja al mundo de una dimensión, un mundo conformado por una sola línea sobre la que pequeñas líneas y puntos se mueven sobre una misma dirección. Sorprendido, Cuadrado se acerca para entablar un diálogo con lo que parece ser la línea más grande del lugar, que resulta ser el rey de este mundo llamada Linealandia. Cuadrado conversa con

el rey sobre la naturaleza de Linealandia. Ante los ojos de los habitantes de este mundo cada hombre, mujer, niños y cada cosa es un punto. Como cada individuo ocupaba el total de este universo, sólo era posible moverse de derecha a izquierda sin dejar paso para algo más. En este mundo es imposible usar el sentido de la vista para diferenciar rectas de puntos, así pues, esta situación implicaba otra forma de comunicación y convivencia entre estos habitantes, este método de identificación sería mediante el uso de la voz.

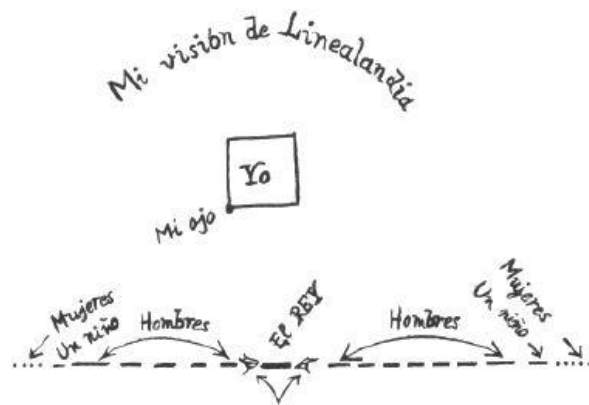


Figura 2.4: Cuadrado observando Linealandia. Este es un esquema visto desde la dimensión 3 de Cuadrado contemplando la dimensión 1.

Posteriormente, Cuadrado intenta explicar la naturaleza de Planilandia al rey de Linealandia sin éxito. Intenta hacerle ver al monarca que existen dos únicas direcciones que forman la segunda dimensión, pero ante la incredulidad del rey, Cuadrado procede a hacer una demostración física saliendo de la línea que conforma Linealandia, de modo que deja de ser visible ante los ojos del rey y cualquier Linealandés. Sin embargo, Cuadrado no tiene éxito en su intento de demostrar la existencia de la segunda dimensión espacial y es atacado por una multitud de voces enfurecidas que lo llevan a despertar en su *realidad* de Planilandia.



Figura 2.5: Cuadrado saliendo de Linealandia. Aquí podemos observar, como seres de la tercera dimensión, que Cuadrado sale de la primera dimensión en la cual sólo se manifiesta como una línea.

Estando en su mundo de Planilandia, Cuadrado discute con su nieto, un pequeño hexágono con mucho potencial, aspectos sobre geometría. El pequeño hexágono pregunta sobre el significado geométrico de elevar un número a la tercera potencia, pero es regañado por Cuadrado quién afirma que sus preguntas carecen de sentido pues el espacio está conformado sólo por dos dimensiones espaciales.

Posteriormente, Cuadrado y su esposa sienten una presencia en la habitación que pide hablar a solas con Cuadrado. Este desconocido visitante se trata de una Esfera que intenta predicar la existencia de un mundo de tres dimensiones espaciales llamado Espaciolandia. La Esfera trata de describir a Cuadrado lo que puede ver en Planilandia desde Espaciolandia, le habla también acerca de los conceptos “arriba” y el “abajo” para hacer referencia a la dirección en la que podría moverse si sale del plano de Planilandia.

La esfera procede a hacer una demostración ocular para que Cuadrado pueda comprender el hecho de que el reino de dos dimensiones no es lo suficientemente espacioso para representar una esfera, de manera que la Esfera sólo puede manifestarse como un círculo (Figura 2.6).

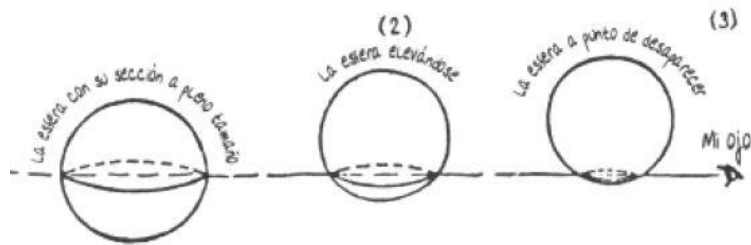


Figura 2.6: La Esfera saliendo del plano. Este es un esquema visto desde la tercera dimensión para mostrar cómo se manifiesta una esfera al salir del plano de dos dimensiones. La Esfera se manifiesta como un círculo de diferentes tamaños.

Por último, la Esfera procede a sacar a Cuadrado del plano bidimensional. Así pues, Cuadrado contempla un nuevo mundo. Por su parte, la Esfera le muestra Planilandia desde Espaciolandia.

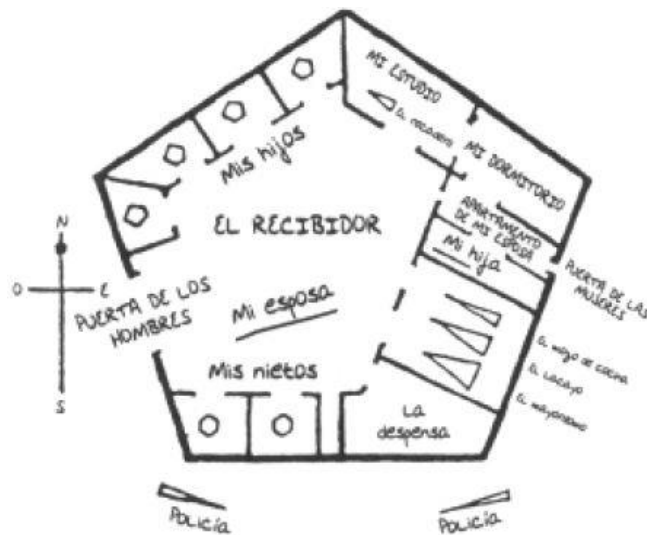


Figura 2.7: Vista superior de la casa de Cuadrado desde Espaciolandia.

La Esfera y Cuadrado observan desde Espaciolandia el edificio de la Asamblea General de los Estados en la Gran Metrópolis de Planilandia, posteriormente la Esfera salta donde estaban reunidos los sacerdotes de Planilandia manifestando sobre la existencia de un mundo de tres dimensiones.

Después de este suceso la Esfera le mostró a Cuadrado más acerca de

Espaciolandia, le habló sobre los sólidos y de cómo se forman algunos de estos como el cubo. Mas aún, mientras recorren este mundo, Cuadrado cuestiona a la Esfera acerca de la existencia del mundo de cuatro dimensiones espaciales, sin embargo, ésta sólo se limitó a imposibilitar esta idea mandando a Cuadrado de regreso a su mundo bidimensional.



Figura 2.8: Un cubo en Espaciolandia. Un cuadrado, dentro de las tres dimensiones, al moverse de forma paralela a sí mismo forma un cubo.

Nuevamente en su mundo, Cuadrado tiene un sueño en el que viaja al mundo donde no hay dimensiones: Puntolandia. Este mundo sólo está constituido por un punto, donde él mismo es su todo.

Finalmente, Cuadrado despierta entusiasmado de difundir el evangelio de las tres dimensiones a todo habitante de Planilandia. Sin embargo, mientras tomaba esta decisión escucha al pregonero anunciando la detención, encarcelamiento o ejecución de cualquiera que corrompiese mentalmente a los habitantes de Planilandia con decir haber tenido revelaciones de otro mundo dimensional. A pesar de esta prohibición, Cuadrado intentó transmitir a su nieto el evangelio de las 3 dimensiones sin éxito, pues el pequeño hexágono, aunque era pequeño, entendía que afirmar algo de este tipo era imposible de acuerdo con la nueva prohibición anunciada. Así, con el fin de evadir la ley, no habló de una dimensión física, sino de un Pensamientolandia desde la que, en teoría, una figura podía bajar la vista hacia Planilandia y ver simultáneamente el interior de las cosas.

Por desgracia, se vio obstaculizado por la imposibilidad de dibujar los diagramas necesarios para describir el mundo del que hablaba ya que, al pertenecer al mundo de dos dimensiones, no era posible hacer tales representaciones. Meses después, en un descuido, Cuadrado termina pregonando la existencia de una tercera dimensión y termina encarcelado. Es en la cárcel donde

nuestro protagonista escribe este relato y de cómo yace su esperanza de que algún día pueda ser conocido el mundo de las Tres Dimensiones.

Lo que podemos rescatar de Planilandia.

Una vez descrita la trama de esta historia, podemos destacar dos aspectos. El primero a destacar son las dificultades a las que se enfrentó Cuadrado en los viajes que realizó hacia las otras dimensiones. Inicialmente, cuando viajó al mundo de una dimensión pudo observar a los habitantes de ese mundo y describirlos con facilidad mediante el sentido de la visión, sin embargo, presentó dificultades al momento de mostrar al Rey de Linealandia que Cuadrado es un ser con las características de un ser bidimensional, pues le era imposible manifestarse como tal en un mundo cuyas dimensiones no son suficientes para este fin. Ya que a Cuadrado, al ser un ser de dos dimensiones, sólo le era posible manifestarse como una línea dentro del mundo de una sola dimensión, es decir de Linealandia. Por su parte, el Rey y los habitantes de Linealandia les fue imposible entender el concepto de “derecha e izquierda” al que Cuadrado se refería. Cabe destacar que dichos habitantes, dentro de su mundo habitado por líneas y puntos, sólo les es posible ver puntos a su alrededor debido a las características del espacio de una dimensión. Por lo que los habitantes debían tener un método de identificación en el cual pudieran ser capaces de identificar a otro habitante que estuviese más alejado, en este caso mediante el uso de la voz.

Posteriormente, justo antes de que Cuadrado viajara al mundo de la tercera dimensión espacial, se enfrenta a los mismos problemas que el rey de Linealandia tuvo para tratar de comprender sobre las características de la segunda dimensión. En este caso Cuadrado no logra comprender lo que la esfera le intentaba explicar acerca de la tercera dimensión ya que, para Cuadrado, así como para los habitantes de la dimensión 2, los conceptos como “el arriba” y “el abajo” son completamente desconocidos en el mundo bidimensional donde sólo se conoce el norte, sur y el izquierda y derecha. Este concepto sólo lo logra comprender cuando la Esfera lleva a Cuadrado a este mundo de tres dimensiones.

Es aquí, en Espaciolandia, donde Cuadrado experimenta una nueva forma de ver las cosas y, más aún, desde ese mundo tridimensional logra ver su mundo bidimensional de Planilandia, logra ver el interior de las casas y de todo lo existente en Planilandia, además logra observar a sus compatriotas reconociendo sus formas de manera visual, de una manera distinta a la forma en que los veía estando en

Planilandia, pues todos los habitantes del mundo bidimensional sólo les es posible ver puntos y líneas, de manera similar a cuando nosotros los habitantes de 3 dimensiones colocamos una moneda sobre una mesa y al acercamos para verla desde el borde, ésta es visible como una línea.

Finalmente, cuando Cuadrado regresa a su mundo, éste tiene un sueño donde viaja al mundo de dimensión cero. Este mundo está habitado sólo por un punto, cuya misma existencia es su todo pues no conoce idea de pluralidad.

El segundo aspecto a resaltar en esta lectura es que implica una reflexión acerca del mundo tridimensional en el que vivimos. A pesar de vivir en un espacio de 3 dimensiones espaciales no podemos ver como tal el mundo en 3 dimensiones, sino que lo que vemos lo percibimos en 2 dimensiones. ¿Qué significaría entonces ver en tres dimensiones espaciales? Tener la capacidad de ver en 3 dimensiones equivale a ver el interior de las cosas que están iluminadas, de manera análoga a la experiencia de Cuadrado al ver Planilandia desde Espaciolandia, así como al ver Linealandia y Puntolandia desde Planilandia. Así podemos darnos la idea de que sólo estando en un espacio de dimensión mayor a 3 es que seríamos capaces de ver nuestro mundo en 3 dimensiones espaciales. De manera general estando en un espacio de n dimensiones sólo es posible percibirlo en $n-1$ dimensiones, es decir, sólo podemos percibir una dimensión menor a la dimensión en la que nos encontramos. Es necesario subrayar que lo anterior forma parte de un modelo que intenta explicar la manera en que nos conducimos a través del mundo tridimensional y al mismo tiempo, nos permite abrir paso a la reflexión sobre lo que creemos conocer.

Ahora bien, surge la siguiente pregunta ¿Qué es lo que nos permite conducirnos a través de este mundo tridimensional que nos hace pensar que podemos ser capaces de ver en 3 dimensiones? La respuesta a esta pregunta es el fenómeno de la visión estereoscópica, cuya característica es combinar las imágenes ligeramente distintas percibidas por cada ojo para darnos la sensación de profundidad, este fenómeno será analizado más a fondo en el siguiente capítulo.

Cabe recalcar que, dentro del proceso de visión, es el cerebro el que determina lo que vemos. He aquí la importancia del análisis del dicho proceso, pues es un aspecto importante en la construcción de nuestra realidad que da lugar a un proceso dinámico e interactivo donde la información externa pasa a ser una interpretación de la mente construyendo modelos de los fenómenos percibidos. En el siguiente capítulo se abordan algunos aspectos que hacen énfasis en el proceso de la visión y, a su vez, al

proceso de construcción de “la realidad”. No perdamos de vista que, lo que a continuación mostraremos, es parte de un conjunto de modelos que permiten explicar los fenómenos de la visión y, al mismo tiempo, la manera en que podemos construir nuestro conocimiento desde una perspectiva fisiológica y física.

Capítulo 3

El cerebro en el proceso de construcción de la realidad

3.1 ¿Cómo el cerebro determina lo que vemos?

“El ser humano está acostumbrado a vivir con certidumbre, a vivir con solidez perceptual indisputada, donde nuestras convicciones prueban que las cosas sólo son de las maneras en que las vemos, y lo que nos parece cierto no puede tener otra alternativa. En nuestra situación cotidiana, en nuestra condición cultural, nuestro modo corriente de ser humanos”. Así lo expresan Humberto Maturana y Francisco Varela en su obra “El árbol de conocimiento: las bases biológicas del entendimiento humano” [23].

Maturana hace énfasis en los procesos biológicos que ocurren en el organismo que participan en la generación de conocimiento. Inicia mencionando la manera en que visualmente percibimos el mundo, y es que, valga la redundancia, vivimos con la aparente solidez de vivir en un mundo experiencial que al mirarla de cerca se hace sospechosa. Es por ello por lo que en este capítulo iniciamos exponiendo los aspectos fisiológicos y físicos que dan lugar en el proceso de la visión. Cabe destacar que estas descripciones forman parte de modelos y teorías que intentan explicar la manera en que nos conducimos a través del mundo.

La visión es la capacidad que tiene nuestro cerebro para percibir objetos en el entorno por medio de la luz que emiten o reflejan.

Desde los ojos llega al cerebro una gran cantidad de información que es procesada de forma veloz y eficaz para proporcionarnos una representación del medio. La visión se puede entender como una representación del mundo exterior mediante la extracción de información contenida en las imágenes retinianas. “Este proceso nos

permite orientarnos dentro del entorno que nos rodea, nos ofrece la posibilidad de detectar la posición espacial de un objeto, tanto su dirección como su distancia” [24].

Generación de la señal nerviosa

En la retina hay alrededor de 130 millones de bastones y alrededor de 6.5 millones de conos. A continuación, se presenta una gráfica que muestra la distribución de células fotorreceptoras en la retina. Los bastones, con aproximadamente 120 millones, son más numerosos que los conos, cuyo número aproximado de estos varía entre los 6 y 7 millones. Los conos, encargados de la visión a color, se encuentran distribuidos principalmente dentro de la mácula, específicamente dentro de la fovea central, libre de bastones, lo cuales se distribuyen principalmente fuera de la fovea.

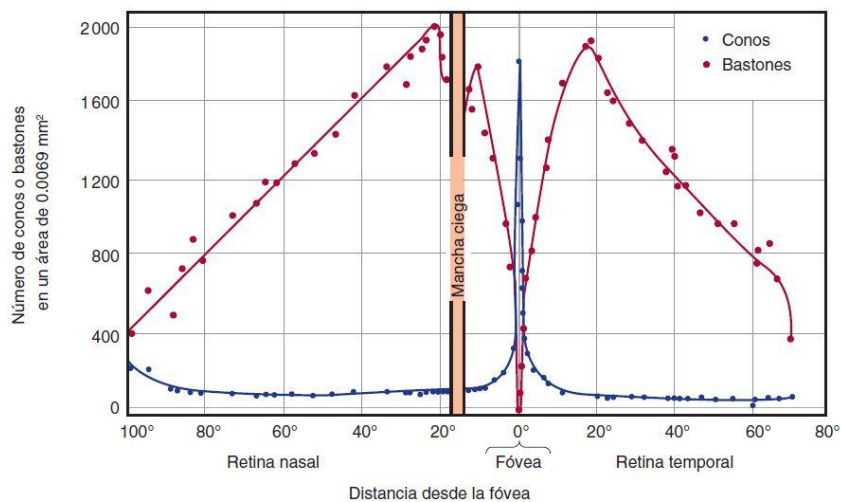


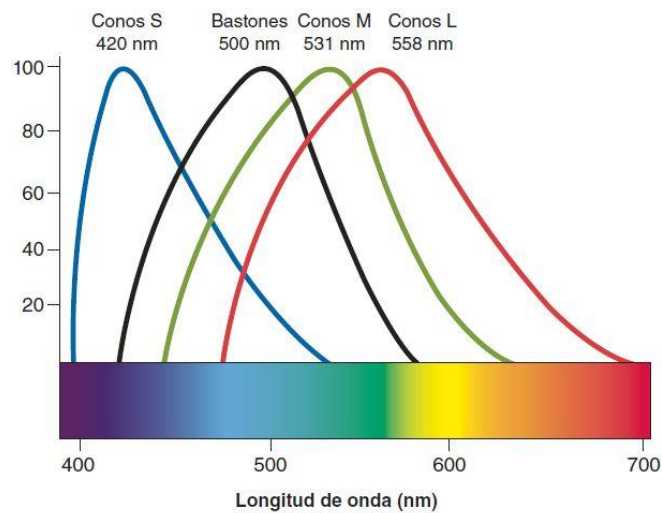
Figura 3.4: Densidad de conos y bastones a lo largo del meridiano horizontal a través de la retina humana [25].

La Figura 3.4 muestra las curvas de densidad de bastones y conos en la retina mostrando una enorme densidad de conos en la región de la fovea central. A los conos se les atribuye la visión del color y la más alta agudeza visual. Por su parte, los bastones están ausentes en la fovea, conforme nos alejamos de la fovea, la densidad de bastones se eleva y se esparcen enormemente sobre el resto de la retina [25]. A los bastones se les asocia la visión nocturna, la detección del movimiento más sensible, y de la visión periférica.

De acuerdo con la teoría de Young-Helmholtz, los conos se clasifican en tres tipos: “conos de onda corta (S), con sensibilidad máxima en una longitud de onda de

420nm, conos de onda media (M), con sensibilidad máxima de 531 nm y conos de onda larga (L) cuya sensibilidad máxima de 558 nm” [25]. Cada cono al ser más sensible a cada uno de los colores primarios se tendrá que la sensación de cualquier color depende de la frecuencia relativa de impulsos provenientes de cada uno de estos sistemas de conos. “La percepción de los colores se debe a una mezcla de señales nerviosas que representan conos con diferentes puntos de absorción” [26,27].

Observemos la Figura 3.5, en la columna central de la tabla tenemos un juego de proporciones de respuesta máxima del cono en porcentaje como la sensación del color.



Longitud de onda (nm)	Porcentaje de respuesta máxima del cono (S : M : L)	Tono percibido
400	50 : 0 : 0	Violeta
450	72 : 30 : 0	Azul
500	20 : 82 : 60	Azul verdoso
550	0 : 85 : 97	Verde
625	0 : 3 : 35	Anaranjado
675	0 : 0 : 5	Rojo

Figura 3.5: Espectro de absorción de las células retinianas: conos [27].

Por ejemplo, a 450 nm los conos S responden a 72 % de su capacidad máxima, los conos M responden a 30 % y los conos L no responden en lo absoluto. Para este juego de proporciones se tiene como resultado, la percepción de luz azul. La percepción visual de la luz blanca se debe a una estimulación aproximadamente equivalente de los conos rojo, verde y azul. Aun así, la luz blanca no tiene una sola longitud de onda que

corresponda al blanco pues es una combinación de todas las longitudes del espectro.

Los objetos emiten o reflejan ondas electromagnéticas que son detectadas mediante la excitación de las células fotorreceptoras, cuya interpretación final es determinada por el cerebro.

El espectro electromagnético es la distribución energética del conjunto de ondas electromagnéticas. Comprende longitudes de onda muy variadas que van desde radiación de longitud de onda corta hasta ondas de longitud largas. No existe un punto de división nítido entre un tipo de onda y el siguiente, pero suele clasificarse de la siguiente manera [28]:

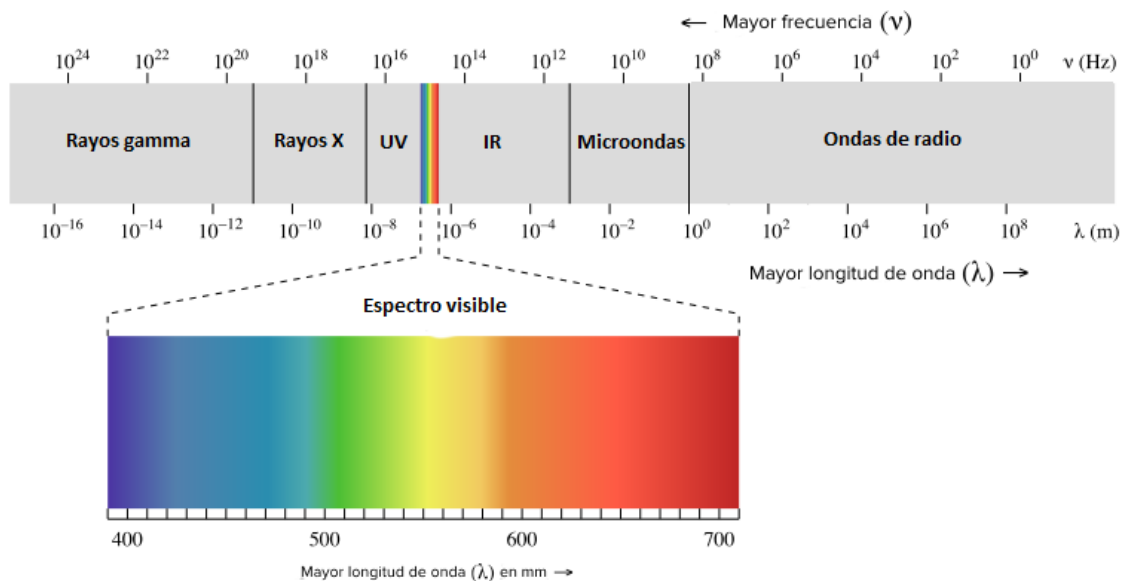


Figura 3.6: El espectro electromagnético. La visión humana está limitada a una pequeña región del espectro electromagnético, dicha región denominada como espectro visible comprende longitudes de onda desde 400 nm a 700 nm.

Ondas de Radio. Las ondas de radio son el resultado de cargas que se aceleran a través de cables conductores. Con una longitud de onda que va desde más de 10^4 m a aproximadamente 0.1 m, son generados por dispositivos electrónicos y se utilizan en sistemas de comunicación por radio y televisión.

Microondas La región de microondas se extiende desde aproximadamente 0.3 m a 10^{-4} m y también son generados por dispositivos electrónicos. Debido a sus longitudes de onda cortas, son muy adecuados para sistemas de radar y para estudiar

las propiedades.

Infrarrojo. Las ondas infrarrojas tienen longitudes de onda que van desde 10^{-3} m hasta la longitud de onda más larga de la luz visible, 7×10^{-7} m. Estas ondas, producidas por moléculas y objetos a temperatura ambiente, son fácilmente absorbidas por la mayoría de los materiales.

Espectro óptico. Esta región es la forma más familiar de ondas electromagnéticas, es la parte del espectro electromagnético que el ojo humano puede detectar. Las diversas longitudes de onda de la luz visible, que corresponden a diferentes colores, van desde el rojo ($\lambda \approx 7 \times 10^{-7}$ m o 700 nm) a violeta ($\lambda \approx 4 \times 10^{-7}$ m o 400 nm). La luz se produce por el reordenamiento de electrones en átomos y moléculas. La visión humana está limitada a esta pequeña región.

Radiación ultravioleta. Cerca de la región visible y justo detrás de ella en el espectro electromagnético se encuentra la región ultravioleta, estas ondas cubren longitudes de onda que van desde aproximadamente 4×10^{-7} m a 6×10^{-10} m. Los seres humanos no ven este tipo de ondas ya que la córnea las absorbe, especialmente a las de longitud de onda más corta.

Rayos X. Los rayos X, descubiertos en 1895 por Wilhelm Conrad Röntgen, tienen longitudes de onda en el rango de aproximadamente 10^{-8} m a 10^{-12} m. La fuente más común de rayos X es la desaceleración de electrones de alta energía que bombardean un objetivo metálico.

Rayos gamma. Las ondas electromagnéticas de esta región son emitidas por núcleos radiactivos y durante ciertas reacciones nucleares. Tienen longitudes de onda que van desde aproximadamente 10^{-10} m a menos de 10^{-14} m. Son altamente penetrantes y producen serios daños cuando son absorbidos por los tejidos vivos.

El cerebro en el proceso de la visión

Hasta este punto, hemos hablado acerca del ojo como uno de los órganos más importantes del sistema visual. Sin embargo, no es suficiente hablar del ojo para comprender el proceso de la visión. Es importante mencionar que el ojo sólo funciona como un instrumento para el cerebro, pues es este órgano el que determina lo que vemos. Cuando miramos el ambiente podemos ver que el ser humano, entre otros

animales, tiene la capacidad de ver el mundo que nos rodea con la siguiente característica: *la ilusión de una visión en tres dimensiones*. Pero ¿cómo explicamos esta ilusión?, este fenómeno es explicado por el modelo conocido como *Visión Estereoscópica*.

La visión estereoscópica es la percepción de profundidad, es la capacidad cerebral de integrar dos imágenes en una sola con la ilusión de percepción en tres dimensiones, de este modo resulta posible juzgar la distancia a la que están los objetos. Para que pueda darse este fenómeno es necesario que los campos visuales de cada ojo se superpongan, cada ojo verá un mismo objeto, pero desde un ángulo diferente [29,30]. El cerebro, al recibir dos imágenes ligeramente distintas registradas por cada ojo, creará una imagen única mediante la cual será posible percibir la altura, anchura y profundidad del objeto observado. La visión estereoscópica no es una capacidad innata, sino que es una capacidad que se desarrolla los primeros años de vida.

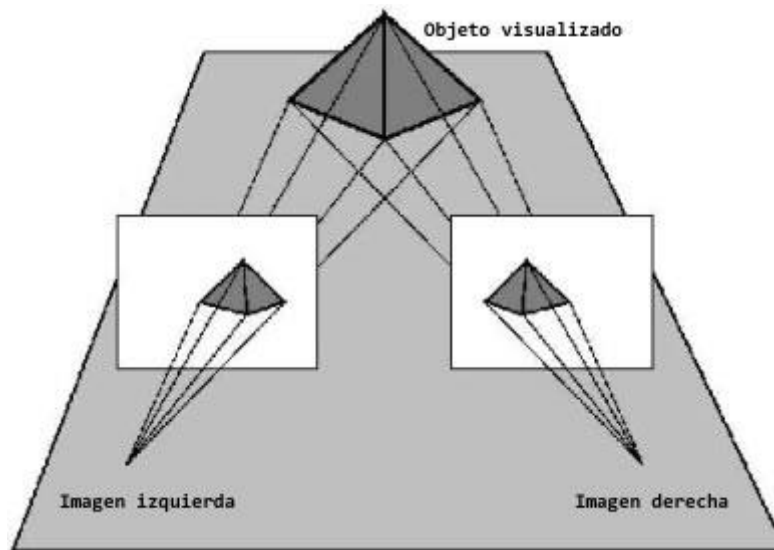


Figura 3.7: Visión Estereoscópica. El cerebro genera, a partir de esas dos imágenes, una sola imagen estereoscópica, con profundidad y en relieve.

Para que pueda llevarse a cabo el fenómeno de la visión estereoscópica es necesaria la visión binocular.

La *visión binocular* es un tipo de visión mediante el cual se tiene la capacidad de integrar las imágenes recibidas por cada uno de los ojos en una sola imagen. Condiciones para la visión binocular [24]:

1. “Los campos visuales monoculares deben solaparse en una región suficientemente amplia para obtener un campo binocular extenso,
2. Los ojos deben moverse de forma coordinada para que los ejes visuales se crucen sobre un mismo punto de fijación permitiendo que se formen áreas simétricas en las retinas de los dos ojos,
3. La formación en ambas retinas debe transmitirse a regiones asociadas del córtex visual, es decir, debe existir correspondencia retiniana, y
4. El cerebro debe tener la capacidad de fusionar las imágenes neurales, es decir, partiendo de las dos imágenes retinianas sea posible crear una sola imagen final”.

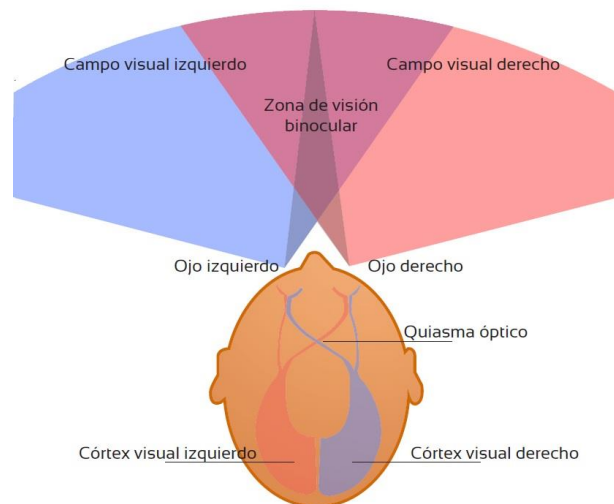


Figura 3.8: Visión Binocular. Un ser vivo con visión binocular es capaz de integrar las dos imágenes en una sola por medio del cerebro (sistema nervioso central). Éste último es el encargado de percibir las sensaciones que tanto un ojo como otro están viendo y de enviar una respuesta única.

Disparidad Binocular

Es la diferencia entre las posiciones y formas de las imágenes en los dos ojos debido a los diferentes puntos de vista desde los cuales los ojos ven el medio [29,30].

Los ojos están, en promedio, a unos 6.5 cm de distancia y, por lo cual ven los objetos desde diferentes puntos de vista. Esto hace que las imágenes de un objeto tridimensional difieran en los dos ojos. Por ejemplo, el ojo izquierdo percibe más el

lado izquierdo de un objeto tridimensional y el ojo derecho percibe más el lado derecho. Las diferencias de lado a lado en las posiciones de imágenes similares en los dos ojos se denominan disparidades horizontales y pueden producir una sensación de tridimensionalidad.

Como ya se mencionó anteriormente, la visión estereoscópica es la capacidad de percepción de 3 planos. Es debido a este tipo de visión, que es posible ver el mundo que nos rodea con la sensación de profundidad. A continuación, se presentan algunos ejemplos derivados de la visión estereoscópica [24]:

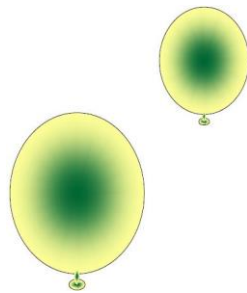


Figura 3.9: A pesar de que ambos globos se encuentran sobre un mismo plano, parecería que el globo pequeño se encuentra más alejado que el globo grande.

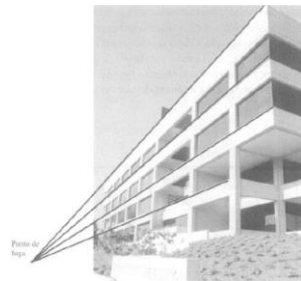


Figura 3.10: La perspectiva geométrica dota a los objetos de profundidad



Figura 3.11: Las sombras contribuyen a la sensación de profundidad

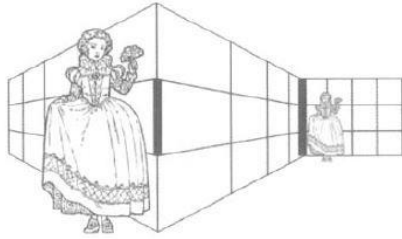


Figura 3.12: La perspectiva geométrica y el tamaño aparente hacen que nos parezca que el tamaño de las dos líneas más gruesas sea distinto.



Figura 3.13: Cualquier objeto, a medida que se va alejando, subtiende un ángulo menor en la retina produciendo la ilusión de que los objetos lejanos son mucho más pequeños que las de los objetos cercanos.

Vías hacia la corteza

El cerebro forma parte del sistema nervioso central, es responsable de la inteligencia, el control del comportamiento, el aprendizaje, el inicio de los movimientos corporales y de la interpretación de los sentidos. Está dividido en dos hemisferios izquierdo y derecho, y a su vez, cada hemisferio se divide en regiones denominados lóbulos cerebrales: lóbulo frontal encargado del procesos del razonamiento, movimiento voluntario, las emociones, atención y el lenguaje; el lóbulo parietal: se encarga del procesamiento del dolor, el razonamiento matemático y de sentidos como el tacto, gusto, olfato; lóbulo temporal: aquí se llevan a cabo procesos

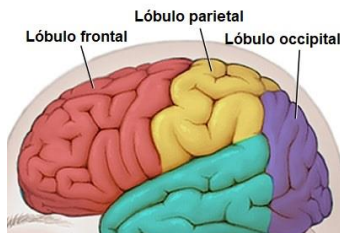


Figura 3.14: Cada hemisferio del cerebro está dividido en lóbulos.

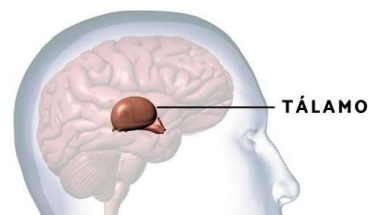


Figura 3.15: El tálamo, localizado casi en la parte central del cerebro, funge como estación de relevo de las señales nerviosas.

como la audición, la memoria, aprendizaje y emociones; y por último el lóbulo occipital, encargado de procesar e interpretar la información visual.

La información obtenida por los ojos es transmitida, a través del nervio óptico, por medio de señales eléctricas hacia la corteza visual localizada en el lóbulo occipital.

A continuación, se describe el camino que recorren las señales eléctricas para llegar a la corteza visual:

El cable que forma el nervio óptico llega a un punto en el que se cruza al hemisferio contralateral en una región llamada quiasma óptico, aunque no toda la información se cruza, hay una parte que continúa por el mismo camino y acaba en el hemisferio que está en el mismo lado. A partir del quiasma óptico el cable formado es el tracto óptico que conecta con el tálamo. El tálamo funciona como una primera estación, está formado por varios núcleos, pero el encargado de la visión es el Núcleo Geniculado Lateral. La información viene segmentada y se mantiene segmentada. El núcleo geniculado lateral está compuesto por seis capas donde las dos capas internas se conocen como capas magnocelulares y las otras cuatro parvocelulares (Figura 3.17). Las koniocelulares son las capas que se encuentran entre cada una de las capas magno y parvocelulares [25].

Las células magnocelulares son las encargadas de procesar la información relacionada con el movimiento, la orientación y el espacio. Las capas parvocelulares y koniocelulares están relacionadas con el color o con la estructura de la forma del objeto que percibimos. Los axones de las neuronas del cuerpo geniculado forman las radiaciones ópticas conectadas a la corteza visual localizada en el lóbulo occipital.

En la corteza visual primaria es donde comienza la percepción. Antes de llegar sólo se ha capturado el estímulo, pero la información no se había procesado lo suficiente como para que lleguemos a ser conscientes de ello. La corteza visual primaria está compuesta por diversos módulos y en cada módulo se procesa información diferente, en algunos el color, en otros la profundidad y la orientación. las señales de la corteza visual primaria se encargan principalmente de los contrastes en la escena visual. La corteza visual no solo detecta la existencia de líneas y bordes en las diferentes zonas de la imagen retiniana, sino también la dirección en la que cada una de ellas está orientada, es decir, si son verticales u horizontales o si guardan un cierto grado de inclinación.

El camino no acaba en la corteza visual, sino que la información se sigue procesando en las cortezas adyacentes, va a la corteza extraestriada (área de asociación visual). Esta corteza extraestriada o área de asociación visual es un área cerebral, dentro del lóbulo occipital, de gran importancia en el procesamiento de diferentes características y elementos de la información visual, ya que es donde se asocian los diferentes componentes de la imagen y se integran. Es aquí donde podemos comenzar a hablar de una visión completa. La Figura 3.18 muestra las funciones de las áreas de proyección visual en la corteza extraestriada.

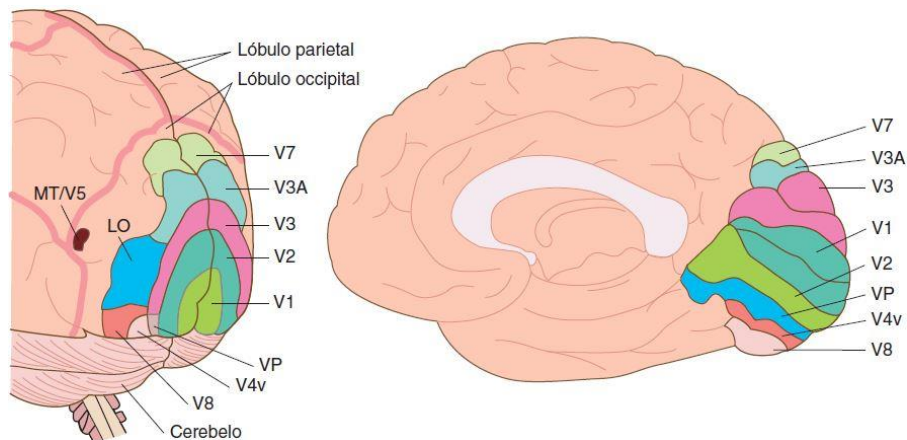


Figura 3.18: Algunas de las principales áreas hacia las que se proyecta la corteza visual primaria (V1) en el cerebro humano [25].

Las funciones de la corteza visual primaria y de las principales áreas a las que se proyecta la corteza visual primaria son las siguientes [25]:

- V1: Corteza visual primaria; recibe información del núcleo geniculado lateral, empieza la transformación desde el punto de vista de la orientación, los márgenes, etc.
- V2, V3, VP: Continúa la transformación, campos visuales más grandes
- V3A: Movimiento.
- MT/V5: Movimiento, regulación del movimiento.
- LO: Reconocimiento de objetos grandes.
- V8: Visión cromática.

Hasta aquí hemos analizado algunos aspectos fisiológicos y físicos involucrados en el proceso de la visión. Cabe destacar que este fenómeno de la visión forma parte de

la dinámica de interacciones dadas entre el sistema nervioso con el medio. Considerar este aspecto nos permite analizar lo que sucede en el proceso de construcción de nuestra realidad.

Comúnmente se tiene la idea de que el sistema nervioso funciona como un instrumento mediante el cual el organismo obtiene la información del ambiente que posteriormente utiliza para hacer una representación del mundo que le permite computar una conducta adecuada a su sobrevivir en él. Esta visión exige que el medio especifique en el sistema nervioso las características que le son propias. Sin embargo, el sistema nervioso como parte de un organismo opera con determinismo estructural [23], es decir, los cambios que pueda sufrir el sistema nervioso en la interacción con el medio dependen de la dinámica de interacciones permitidas por la estructura del sistema nervioso y que no están especificados o definidos por el agente ambiental que efectúa la perturbación.

Ahora bien, “si el sistema nervioso no opera con una representación del mundo circundante, ¿cómo surgen entonces la extraordinaria efectividad operacional del hombre y su enorme capacidad de aprendizaje y manipulación del mundo? Si negamos la objetividad de un mundo cognoscente ¿no quedamos acaso en el caos de la total arbitrariedad porque todo es posible?” [23].

Hacia un lado tenemos el suponer que el sistema nervioso opera con representaciones del mundo, lo cual cierra la posibilidad de dar cuenta cómo funciona el sistema nervioso en su operar momento a momento como sistema determinado con clausura operacional. Hacia el otro lado, se tiene el caos y la arbitrariedad de la ausencia de lo objetivo, donde cualquier cosa parece posible, es decir, tenemos la trampa de negar el medio circundante, la de suponer que el sistema nervioso funciona completamente en el vacío, donde todo vale y todo es posible. Este es el extremo de la absoluta soledad cognoscitiva o solipsismo, donde esta visión no nos permite la posibilidad de explicar cómo hay una adecuación o conmensurabilidad entre el operar del organismo y su mundo [23].

Maturana establece que habrá que mantenerse en una línea media, es decir, sin caer al lado solipsista ni al lado donde se afirma que el mundo opera con representaciones. Como veremos a continuación, Heinz von Foerster, hace frente a esto último.

3.2 Construyendo una realidad

El *constructivismo* hace énfasis en que el individuo es el constructor de su realidad. Heinz von Foerster, en su artículo Construyendo la realidad [15], describe experimentos mediante los cuales pretende describir la idea de que el ambiente, tal como nosotros lo percibimos, es invención nuestra. A continuación, se presenta una síntesis comentada del capítulo de Foerster.

- El primer experimento es sobre el punto ciego: Sosteniendo la hoja con la mano derecha se cierra el ojo izquierdo mientras se fija el ojo derecho en la estrella de la Figura 3. 19, luego se mueve la hoja hacia adelante y atrás hasta que el círculo desaparezca a una distancia entre 30 y 35 cm. Si se sigue mirando fijamente la estrella, el círculo seguirá siendo invisible aun cuando la hoja se mueva en cualquier dirección. Este fenómeno se debe a que el disco óptico en la retina, descrito anteriormente, carece de células fotorreceptoras (conos o bastones). Así que, cuando la imagen del círculo negro se proyecta sobre este punto ésta desaparece. Esta ceguera no es percibida como una mancha oscura, más bien no se percibe de ninguna manera.



Figura 3.19: Experimento del fenómeno del punto ciego

- Un caso clínico importante en la descripción de Foerster es el escotoma, el escotoma es la disminución de la sensibilidad en cualquier punto del campo visual y puede ser absoluto o relativo, el escotoma absoluto se refiere a la pérdida total de la sensibilidad y escotoma relativo es la pérdida parcial de la sensibilidad. Lesiones cerebrales muy circunscriptas en la región occipital, se cursan con rapidez sin que haya disminuciones en la capacidad de visión, sin embargo, a lo largo de semanas comienzan a aparecer trastornos motores como por ejemplo la pérdida del control de algunas extremidades, del cuerpo, etc, daños que, aunque el sistema motor no esté dañado, se deben a la pérdida del campo visual. Una terapia importante para este tipo de casos consiste en vendar los ojos del paciente por un par de meses, de modo que, al

retirar su atención de los puntos de referencia visuales para su movimiento corporal, se logre recuperar el control sobre el sistema motor, dirigiendo la atención hacia aquellos canales en buen funcionamiento, de tal forma que le llegará información sobre su postura corporal a través de sensores alojados en los músculos y articulaciones.

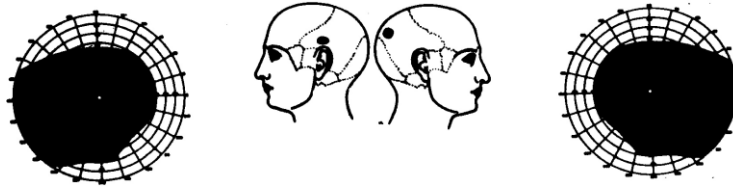


Figura 3.20: Un escotoma es una alteración en el campo visual en el cual existe una zona en la que la visión es nula.

- Un segundo experimento es acerca de la reproducción de palabras alternas: en una cinta magnetofónica se graba una palabra aislada que es reproducida repetidamente con un volumen elevado, después de haber sido escuchada por uno o dos minutos, la palabra que en un inicio solía ser clara, se convierte repentinamente en una palabra nueva, significativa y perceptible, se convierte en una palabra alterna. A continuación, esta nueva palabra alterna se reproduce de forma repetida y, como pasó con la primera palabra, surgirá una segunda palabra alterna y así sucesivamente.

- Finalmente, Foerster menciona un último experimento acerca de la comprensión: Se implantan microelectrodos en el sistema conductor de estímulos acústicos de un gato, mediante los cuales es posible registrar las señales eléctricas locales desde las células nerviosas en el oído interno hasta las células del centro auditivo de la corteza cerebral. El gato es colocado dentro de una jaula donde hay un recipiente con comida, cuya tapa sólo puede abrirse oprimiendo una palanca, pero esta función sólo puede llevarse a cabo cuando se emite un sonido leve que se repite cada 6 segundos. El gato debe aprender que la emisión del sonido en cada 6 segundos “significa” comida.

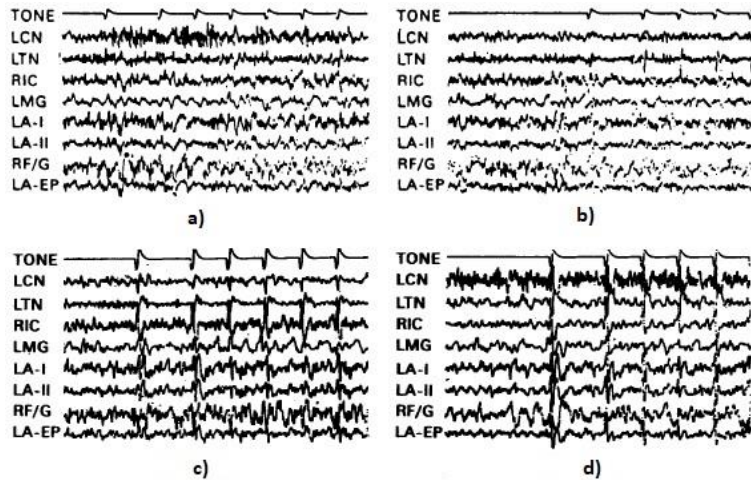


Figura 3.21: Oscilogramas del comportamiento de un gato.

En este experimento se presentan los oscilogramas correspondientes a la conducta del gato Figura 3.21, donde la figura a) corresponde a la búsqueda sin rumbo fijo del gato, la figura b) a la investigación de la palanca, la figura c) la opresión inmediata de la palanca y la figura d) la aproximación inmediata a la palanca consciente del objetivo, dicho de otro modo, la comprensión total de la situación.

“Los experimentos anteriores describen situaciones en las que vemos y oímos lo que no está y en las que no vemos ni oímos lo que está a menos que la cooperación de impresión sensorial y motora nos permita asir lo que parece estar ahí” [15]. Maturana y Varela también mencionan el fenómeno del punto ciego donde surge la pregunta acerca de ¿por qué en nuestra visión no hay un agujero presente de manera permanente? “Nuestra experiencia visual es de un espacio continuo y, a menos que hagamos esas manipulaciones ingeniosas, no percibimos que de hecho hay una discontinuidad que debería aparecer. Lo fascinante del punto ciego que *no vemos que no vemos*” [23].

Maturana y Varela, retoman el experimento de Roger Sperry en el que se toma un renacuajo para someterlo a una pequeña cirugía en la que, respetando su nervio óptico, se rota 180°. Después de operar al animal se deja completar su desarrollo larval y metamorfosis hasta convertirse en adulto. Posteriormente, se toma al sapo y se le muestra un gusano cubriendo su ojo operado. Al disparar su lengua se observa que el sapo hace un blanco perfecto. Ahora bien, se repite el experimento, pero esta vez cubriendo su ojo normal. En este caso, la lengua del sapo sale disparada con una desviación de 180°. Es decir, si el gusano se encuentra abajo en la parte frontal del

sapo, al tener su ojo rotado, sucede que la lengua sale disparada justo atrás y arriba del sapo. Cada vez que se repite la prueba, el sapo sigue teniendo el mismo error. El anfibio sigue lanzando su lengua como si la zona de la retina donde se forma la imagen de la presa estuviese en su posición normal.

Según Maturana, este experimento revela lo que para el animal no existe como para el observador que lo observa y estudia, el arriba o el abajo, el adelante o el atrás referidos al mundo exterior a él. Lo que hay es una correlación interna entre el lugar donde la retina recibe una perturbación determinada, y las contracciones musculares que mueven la lengua, la boca, el cuello y en último término, todo el cuerpo del sapo [23].

Puede ser visto como evidencia directa de que el operar del sistema nervioso es expresión de su estructura de conexiones, y que la conducta surge según el modo como se establecen en él sus relaciones de actividad internas.

Foerster hace mención del principio de la codificación no diferenciada: “En la respuesta de una célula nerviosa no es la naturaleza física de la causa de la excitación la que está codificada. Solamente se codifica *cuánta* intensidad de esta causa de excitación, es decir, un *cuánto* pero no un *qué*” [15].

Para comprender lo que se quiere decir con este principio, usaremos un ejemplo del fenómeno de la visión. Una célula fotorreceptora de la retina, que absorbe la radiación electromagnética de una fuente de luz lejana, que a partir de la absorción se modifica el potencial electroquímico de la célula receptora provocando descargas eléctricas periódicas en las demás células que componen la retina. Estas descargas corresponden, por su frecuencia, a la intensidad de las radiaciones electromagnéticas, pero no dan indicios de que fue la radiación la que excitó a la célula fotorreceptora. De la misma manera pasa con las demás células sensoriales relacionadas con sensaciones como frío, calor, olor, sonido, etc. Las células sensoriales receptoras responden únicamente a la cantidad de la excitación, pero no a la calidad de ésta. “Ya que la calidad de la excitación no interviene en la actividad nerviosa surge la siguiente duda: ¿Cómo evoca nuestro cerebro la abrumadora multiplicidad del mundo que experimentamos en todo momento?” [15]. Al hacer esta interrogante, Foerster señala el problema del conocimiento: la búsqueda de la comprensión de los procesos del conocimiento. Durante su intento de responder a la pregunta anterior, Foerster parafrasea “Conocimiento” de la siguiente manera:

Conocimiento → computando una realidad

Sin embargo, al hacer esta paráfrasis, se encuentra con algunas objeciones ya que sustituye el concepto de conocimiento por otros tres nuevos conceptos. En primer lugar, con el concepto de *computando* parecería que todo objeto, desde un reloj hasta las grandes galaxias lejanas pueden ser calculadas. Sin embargo, el concepto “*computando*” se usa en un sentido más general, “con computar se denomina toda operación (no necesariamente numérica), por medio de la que transforma, modifica, rearregla, ordena y demás, entidades físicas observadas y sus representaciones” [15]. En cuanto al uso del artículo en la expresión “una realidad”, es posible entender que si se usara la expresión “la realidad” caeríamos en el *realismo* metafísico inclinándonos a la confirmación de una única realidad fidedigna. Además, si se toma en cuenta que los procesos de conocimiento no computan objetos, sino que, las descripciones de entidades, puede sustituirse la paráfrasis anterior por la siguiente:

Conocimiento → computando descripciones de una realidad

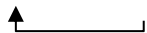
Ahora, de acuerdo con esta nueva paráfrasis, se puede objetar al uso del concepto de “realidad”, así que eliminando esta realidad desconocida es posible reescribir la paráfrasis de la siguiente manera:

Conocimiento → computando descripciones



Y ya que computando descripciones no significa otra cosa que computar, se tiene que:

Conocimiento → computando de



De aquí, que Foerster, propone los procesos del conocimiento como procesos ilimitadamente recursivos de cálculo. Ahora bien, Foerster involucra la neurofisiología para hacer descriptible su interpretación.

Foerster incursiona en las manifestaciones más elementales para explicar que el principio de la computación recursiva está en la base de todo proceso de conocimiento. Parte de los efectores independientes, las unidades sensoriomotrices independientes (ver Figura 3.22). La parte superior de esta unidad, que sobresale de la superficie, es la sección sensoria, la parte en forma de bulbo es la sección motora contráctil. La modificación de sensaciones provoca modificaciones en estas unidades. El siguiente

paso consiste en separar las unidades motoras de las sensorias (ver Figura 3.23), aun así, se mantienen unidas por filamentos delgados llamados axones, los cuales se encargan de transmitir las perturbaciones de los sensores a otras células.

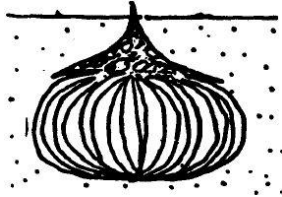


Figura 3.22: Unidad sensoriomotriz. La parte sobresaliente corresponde a la unidad sensoria, mientras que la parte en forma de bulbo es la sección motora.

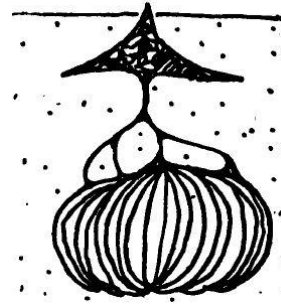


Figura 3.23: Separación de la unidad sensoria de la motriz. Aún después de la separación, se mantienen conectadas mediante los axones

Un elemento importante en la evolución del sistema nervioso central es la aparición de una célula interpuesta entre las unidades sensoriales y motoras (Figura 3.24). La función de esta tercera célula consiste en actuar sobre un agente universal, es decir, actúa en presencia de la actividad eléctrica de axones que terminan en el área circundante próxima.

Debido a la actividad que despliega esta célula y su influencia en su capacidad posterior se introduce el concepto de computación al reino animal otorgándoles a los organismos una gran capacidad de formas de conducta.

En la Figura 3.25 se muestra la neurona, la célula más importante del sistema nervioso central, es capaz de responder a estímulos generando un impulso que transmite a otras neuronas. Poseen tres características distinguibles; las dendritas son prolongaciones cortas ramificadas hacia arriba y hacia abajo, el cuerpo ciliar o soma, es una especie de bulbo central que contiene el núcleo central, y el axón es una fibra lisa continua que se extiende hacia abajo. Las ramificaciones del axón finalizan en las dendritas de otras neuronas, en algunos casos terminan en las de la misma neurona.

En el interior de la membrana que cubre el cuerpo celular hay una tensión eléctrica de un décimo de voltio aproximadamente. Cuando dicha carga sufre perturbaciones mayores a una cierta medida en el área de las dendritas, la neurona dispara transmitiendo esta perturbación a través del axón hacia sus terminaciones, esto es, la sinapsis.

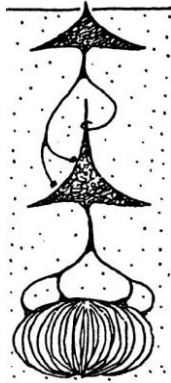


Figura 3.24: Célula interpuesta entre la unidad sensorial y motora.

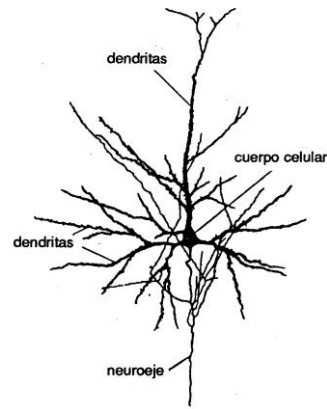


Figura 3.25: La neurona es la célula principal del sistema nervioso.

En la Figura 3.26 se muestra una unión sináptica, los impulsos viajan a través del axón (Ax) que termina en un engrosamiento, que a su vez está separado de la protuberancia(sp) de la dendrita (D) destino por una pequeña luz denominada cisura sináptica (sy).

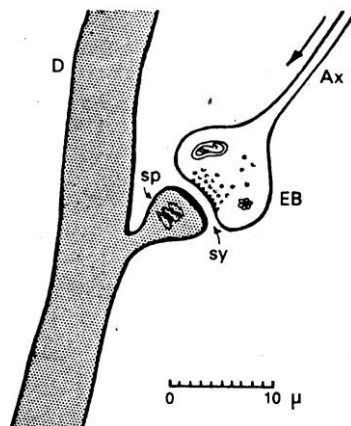


Figura 3.26: Esquema de una unión sináptica.

La cisura sináptica puede ser considerada como un “microentorno” de un órgano terminal sensible debido a que la sustancia transmisora que llena la cisura sináptica ejerce como “efecto facilitador” pues fortalece a algún impulso de manera que provoca que la neurona se dispare, del mismo modo, la sustancia transmisora produce un “efecto inhibitor” eliminando otros impulsos de distinta naturaleza.

Regresando al fenómeno de la visión, la retina nos brinda un ejemplo de computación neuronal, en la Figura 3.27 se muestra un esquema de la retina (ver la Figura 3.3), en la capa 1 se encuentran las células fotorreceptoras (conos y bastones), la capa 2 representa los cuerpos y núcleos de éstos; la capa 3 representa la unión, por medio de sinapsis de los axones de las células fotorreceptoras con las dendritas de las células bipolares representadas por la capa 4. A su vez, las células ganglionares crean sinapsis, capa 5, con las dendritas de las células ganglionares representadas por la capa 6. Luego, las señales eléctricas son enviadas a través de los axones de las células ganglionares, que forman el nervio óptico, hacia la corteza visual. En este sistema, la computación se lleva a cabo en las capas 3 y 5, dicho de otro modo, es en estas capas donde se lleva a cabo la sinapsis.

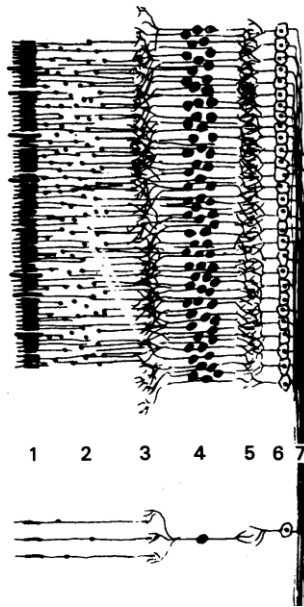


Figura 3.27: Capas de la retina. La computación se lleva a cabo en las capas 3 y 5.

Para no perder de vista el que un organismo es un todo que funciona, se muestra la Figura 3.28, en la que se representan los módulos fisiológicos, en su relación

funcional. Los cuadros negros etiquetados con N representan haces de neuronas que se vinculan, por medio de sinapsis, con neuronas de otros haces; la superficie sensorial, representada por ss, se localiza en el extremo izquierdo, de forma opuesta, en el extremo derecho se encuentra la superficie motora (MS). Las cisuras sinápticas están representadas por los espacios entre los cuadros. La banda punteada en la parte inferior corresponde a la neurohipófisis (NP). Los impulsos nerviosos se desplazan de izquierda a derecha actuando finalmente sobre la superficie motora, cuyos movimientos son percibidos por la superficie sensorial, este desplazamiento queda representado por las flechas.

Por su parte, los impulsos verticales, que van de arriba hacia abajo, estimulan la neurohipófisis ocasionando el derrame de hormonas esteroides en las cisuras sinápticas. De esto modo, se modifica el modus operandi de las uniones sinápticas y, por tanto, del sistema en su totalidad. En la Figura 3.29 se tiene esquematizado el doble cierre del círculo con el fin de explicar que el sistema no solamente actúa sobre el que “ve”, sino también sobre aquello con que elabora lo “visto”. Para este cierre del círculo se envuelve la Figura 3.28 alrededor de sus ejes de simetría de tal forma que se obtiene la forma toroidal que se muestra en la Figura 3.29, el meridiano rayado de enfrente corresponde a la cisura sináptica entre la superficie sensorial y motora. La franja horizontal punteada corresponde a la neurohipófisis. Las operaciones de cómputo dentro del toroide obedecen al siguiente postulado: “el sistema está organizado de manera que computa una realidad estable” [15]. Dicho postulado supone autonomía, dicho de otro modo, autorregulación para todo organismo viviente.

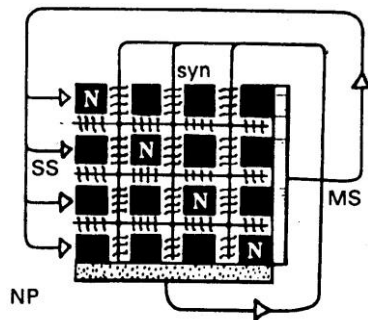


Figura 3.28: Esquema de los módulos fisiológicos.

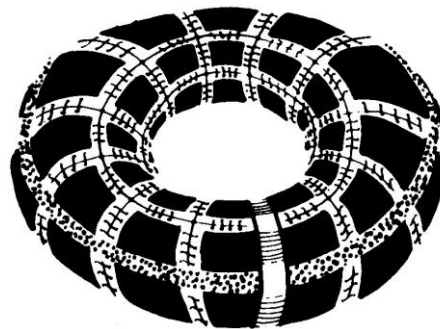


Figura 3.29: Cierre del círculo que representa la autorregulación de todo organismo viviente.

Estos experimentos fortalecen la idea de que los modelos neurofisiológicos actuales pueden ser compatibles con la teoría constructivista del conocimiento, pues Foerster argumenta que el conocimiento es una computación de la realidad donde los procesos cognitivos son procesos de computación recurrente. Según Foerster, las computaciones del sistema nervioso están sujetas a una construcción no trivial de manera que se organiza a sí misma computando una realidad estable, estipulando la autonomía y la autorregulación de todo ser viviente. Según Foerster, el concepto de autonomía parecería ser interpretado como una manera en la que caemos en el solipsismo, es decir, de pretender que el mundo sólo existe en la imaginación del individuo, pues, además, para el individuo esa realidad creada es única. Por otro lado, parece ser que esto mismo es lo que se describió anteriormente, pero el *constructivismo* sólo describe esto para un organismo aislado, ya que la situación cambia de manera inmediata cuando hay dos organismos, donde la construcción de conocimiento parte de procesos internos que se enriquecen a través de la interacción con los demás individuos.

Maturana y Varela mencionan que la clausura operacional del sistema nervioso nos dice que su operar no cae en ninguno de los dos extremos: ni representacional ni solipsista. No es solipsista porque, como parte del organismo, el sistema nervioso participa en las interacciones de éste en su medio, las que continuamente gatillan en él cambios estructurales que modulan su dinámica de estados. Para el sistema nervioso no hay un afuera ni adentro, sino solo mantenimiento de correlaciones propias que están en continuo cambio. No es representacional porque, en cada interacción, es el estado estructural del sistema nervioso el que especifica cuáles perturbaciones son posibles y qué cambios desencadenan ellas en su dinámica de estados. Es adecuado reconocer el sistema nervioso como una unidad indefinida por sus relaciones internas en las que las interacciones sólo actúan modulando su dinámica estructural, esto es, como una unidad operacional. Dicho de otra manera, el sistema nervioso no “capta información” del medio como a menudo se escucha, sino que, al revés, trae un mundo de la mano al especificar que configuraciones del medio son perturbaciones y qué cambios gatillan éstas en el organismo [23].

Capítulo 4

Visión constructivista para el aprendizaje de la Física en la escuela secundaria

4.1 Aspectos en el aprendizaje de la ciencia

Como ya se mencionó, dentro de la comunidad estudiantil, así como parte del profesorado, ha existido un ambiente de frustración a la hora de aprender y “enseñar” ciencia. Los profesores suelen frustrarse ante el escaso éxito de sus esfuerzos docentes, pues tal parece que los estudiantes muestran cada vez menos interés en aprender. Esta situación, muchas veces es atribuida a los cambios en los contenidos del currículo en la materia. Sin embargo, las causas de esta crisis educativa parecen ser aún más profundas, pues los estudiantes se mantienen alejados de los frutos que la ciencia les puede ofrecer, y más aún, cuando tienen un mayor acercamiento con la ciencia, no parecen disfrutarlo.

A pesar de los esfuerzos docentes, en repetidas ocasiones, los estudiantes enfrentan dificultades para adquirir destrezas, ya sea para realizar una gráfica a partir de datos o para maniobrar materiales de laboratorio. Pero otras veces, el problema es que “los *alumnos* saben hacer las cosas, pero no entienden lo que hacen, y consiguientemente, no logran explicarlas ni aplicarlas a nuevas situaciones” [11]. Esta situación es muy frecuente y se manifiesta sobre todo en la resolución de problemas, pues el estudiante tiende a afrontar los problemas de forma repetitiva, es decir, como ejercicios simplemente rutinarios, en vez de enfrentarlos como problemas de reflexión que involucren la toma de decisiones.

Estas dificultades, forman parte de las consecuencias de centrar las propias prácticas escolares en tareas rutinarias con escaso significado científico, lo cual, además de limitar su utilidad o aplicabilidad por parte de los estudiantes, limita

también el interés y la relevancia de los contenidos científicos.

Dicho de otra manera, escasea no sólo su motivación sino también la valoración de sus saberes. Esto, da paso a las formas de conocimiento poco compatibles con el pensamiento científico como la astrología y otras pseudociencias. En adición, los estudiantes adoptan posiciones pasivas en las que esperan respuestas en lugar de formularlas, conciben los experimentos como meras demostraciones y no como investigaciones, terminan adoptando la idea de la ciencia como un tipo de conocimiento neutro desligado de las repercusiones sociales y asumen la superioridad del conocimiento científico frente a otras formas de conocimiento.

Esta situación es común dentro de las aulas. Es un problema que se ha mantenido por décadas y que, a pesar de los intentos en la aplicación de nuevos métodos, parece ser que hay una fuerte inercia por parte de los profesores y estudiantes a adoptar nuevos métodos de aprendizaje aferrándose a los métodos tradicionalistas, es decir, a lo básico.

“El deterioro en la educación científica se manifiesta en el descenso de los niveles de aprendizaje de los estudiantes, una apreciable desorientación entre el profesorado ante la multiplicación de las demandas educativas a las que tiene que hacer frente (nuevas materias, nuevos métodos, etc.)” [11]. De aquí que se busque un regreso a lo básico, un regreso a los contenidos y métodos tradicionales aplicados a la educación científica practicado por años. Esta búsqueda a lo básico funciona como una especie de reflejo ante la amenaza del desfase creciente entre las demandas formativas de los estudiantes y los currículos frecuentemente cambiantes de orientación constructivista.

Sin embargo, las dificultades que enfrentan los profesores no son consecuencias de la aplicación de los nuevos planes con orientación constructivista, más bien, se deben al intento de mantener los métodos tradicionales, pues hay un desconcierto a los nuevos métodos y se acude a los formatos ya conocidos, los cuales, por muchos años cumplieron medianamente su función social y hasta política.

Asimismo, hay un desajuste entre la ciencia que se imparte y los propios estudiantes, pues la forma de “enseñar” se sigue manteniendo a pesar de que la sociedad a la que va dirigida esa *enseñanza* y las demandas formativas si han

cambiado. Por ello, se requiere adoptar nuevos métodos y metas vinculadas al llamado *constructivismo* en el aprendizaje dentro del aula.

El *constructivismo* tiene como idea básica que el aprender y “enseñar” implica transformar la mente de quien aprende. A diferencia de los métodos tradicionalistas en el que la ciencia se ve como un “proceso de descubrimiento de leyes cuidadosamente enterradas bajo la apariencia de la realidad” [11], esta forma de ver la ciencia sigue firmemente arraigado en los medios de comunicación y en las escuelas. Incluso es sabido que dentro de la educación se sigue “enseñando” el llamado “método científico”, según el cual las leyes y principios se extraen de la observación de los hechos. Y aunque esta concepción ha sido cuestionada entre filósofos de la ciencia, no se ha podido redimir de los demás ámbitos como el educativo.

Es necesario dejar atrás la concepción tradicionalista de la ciencia donde ésta es vista como un discurso sobre “lo real”. Ya que como se ha visto a lo largo de la historia, el conocimiento científico no se extrae de la realidad, sino que “procede de la mente de los científicos que elaboran modelos y teorías en el intento de dar sentido a esa realidad” [11].

Las teorías no son saberes absolutos, más bien, son procesos de construcción de modelos para interpretar la realidad, son aproximaciones relativas que construyen la estructura del mundo. “No es la voz cristalina de la Naturaleza la que escucha el científico cuando hace un experimento, lo que escucha es más bien el diálogo entre su teoría y la parte de la realidad interrogada mediante ciertos métodos o instrumentos. Nunca podemos oír la voz de la naturaleza. Los conceptos y leyes que componen las teorías científicas no están en la realidad, sino que son parte de esas mismas teorías” [11].

Aprender ciencia, debe ser una tarea de comparar y diferenciar modelos y no de adquisición de saberes absolutos y verdades como se ha venido haciendo desde siempre, puesto que la ciencia es un proceso y no un producto acumulado de saberes.

Es necesario que los estudiantes perciban la naturaleza de la ciencia como algo provisional y su compromiso con los demás ámbitos sociales, culturales y tecnológicos. Fomentando, en este ajuste, la participación de los estudiantes en el proceso de construcción de su conocimiento sin dejar de lado sus dudas e

incertidumbres, guiándolos hacia la búsqueda de significados e interpretación.

Una de las limitaciones de la “enseñanza” tradicional es que ésta se ha apegado a la memorización de conceptos por parte de los estudiantes, empero, los seres humanos tenemos una capacidad limitada de memoria de trabajo pues no nos es posible atender tanta información a la vez, por lo cual se convierte en un obstáculo en el aprendizaje.

Asimismo, la educación ha exigido repetir o reproducir las cosas con exactitud, cosa para lo que menos estamos dotados. Lo que necesitan los estudiantes, no es una saturación de información, lo que necesitan es la capacidad de organizarla y de interpretarla. El sistema educativo debe “formar a los futuros ciudadanos para que sean aprendices más flexibles, eficaces y autónomos, dotándolos de capacidades de aprendizaje y no sólo de conocimientos o saberes específicos que suelen ser menos duraderos” [11].

El problema de la educación no termina en la persistencia del sistema tradicional, pues aunado a estos métodos, los profesores se enfrentan a las actitudes de los estudiantes en su proceso de aprendizaje. Es importante considerar el papel de las actitudes que toman los estudiantes en este proceso, pues en el aula rara vez se les considera como parte de los objetivos y contenidos esenciales, que irónicamente, las actitudes son el principal problema al que se enfrentan los profesores durante su labor docente que, al mismo tiempo, están poco preparados y dispuestos a incentivar a los estudiantes a comportarse en clase y cooperar. Esta situación encaja bien con el modelo tradicional en el que se da prioridad a la “enseñanza” de conocimientos verbales de las materias, omitiendo el énfasis en aspectos formativos generales como las actitudes.

La motivación es uno de los problemas más graves del aprendizaje, los estudiantes no tienen interés en la ciencia, no intentan esforzarse ni estudiar, y debido a que el aprendizaje de la ciencia es un proceso complejo y exigente, fracasan.

En el caso de los estudiantes del nivel secundaria, hay un factor adicional referente a su propio desarrollo personal, pues es en la adolescencia cuando enfocan sus intereses en sus propias metas y establecen sus preferencias.

La motivación es un factor determinante en el proceso de aprendizaje: Sin

motivación no hay aprendizaje. “Los *alumnos* no aprenden porque no están motivados, pero a su vez no están motivados porque no aprenden. La motivación no es ya sólo una responsabilidad de los *alumnos* sino también un resultado de la educación que reciben y de cómo se les *enseña* la ciencia” [11].

Con frecuencia, el profesor suele enfrentar esta dificultad mediante la *motivación extrínseca*, como el uso de recompensas y castigos, pero su eficacia es poco duradera pues comúnmente a un gran número de estudiantes les deja de preocupar este tipo de estimulación.

Por otro lado, lo mejor sería recurrir a la *motivación intrínseca*, en la cual el estudiante se esforzaría en comprender lo que estudia. “Cuando lo que mueve al aprendizaje es el deseo de aprender, sus efectos sobre los resultados obtenidos parecen ser más sólidos y consistentes que cuando el aprendizaje está movido por motivos externos” [11]. Y es que cuando el estudiante tiene deseos de aprender, los efectos de lo aprendido son mayormente duraderos y sólidos que cuando el estudiante se ve sometido al proceso de aprendizaje mediante estímulos externos. “Los motivos intrínsecos o el deseo de aprender están típicamente vinculados más a un aprendizaje constructivo, a la búsqueda del significado y sentido de lo que hacemos, que al aprendizaje asociativo” [11].

Por lo anterior, es que se debe buscar esa conexión entre el aprendizaje científico y los intereses de los estudiantes y, de esta forma, el estudiante encuentre una relación en los frutos que ofrece la ciencia y los ámbitos de su interés.

Así como las actitudes de los estudiantes no han sido objetivo central de la educación en la ciencia, los procedimientos tampoco han sido objeto central en el aprendizaje.

Es bien sabido que, si algo ha permanecido, característico de la educación tradicional, es que la “*enseñanza*” ha sido principalmente parte de un conocimiento verbal, un método en el que los profesores han hecho el papel de explicar y los estudiantes el de escuchar y copiar. Y es que a pesar de que, dentro del aprendizaje en física, la docencia se ha dedicado a entrenar a los estudiantes en algoritmos y técnicas de cuantificación, ésta se ha tratado principalmente como otro contenido verbal, es decir, se les indica cómo deben hacer las cosas y no se les suele proporcionar la ayuda para que aprendan a hacerlo.

Es necesario descentralizar el aprendizaje en esta típica estrategia de “solución de problemas” con carácter cuantitativo. Se debe guiar a los estudiantes durante el proceso de solución de problemas, dejar atrás la repetición para enfocar la manera en resolver problemas y que este proceso sirva también en la construcción de adquisición de su conocimiento no sólo dentro del aula, sino también en su futura formación académica, laboral y social. “En una sociedad en donde los conocimientos y las demandas formativas cambian con tanta rapidez, es esencial que los futuros ciudadanos sean aprendices eficaces y flexibles, que tenga procedimientos y capacidades de aprendizaje que les permitan adaptarse a las nuevas demandas” [11].

Debemos tomar en cuenta que el conocimiento procedimental, el saber hacer, no se aprende ni se instruye igual que los contenidos verbales (el saber decir), pues tienen características o rasgos específicos que se deben considerar a la hora de enseñar ciencia.

De hecho, se cree ciegamente en que las dificultades en el “saber hacer” se deben a la incapacidad de aplicar lo que se “sabe decir”. Dicho de otra manera, que la teoría siempre precede a la práctica. Pero, contrario a lo que se piensa, “la moderna psicología cognitiva del aprendizaje ha mostrado que se trata de dos tipos de conocimiento que se adquieren por procesos diferentes y hasta en cierto punto independientes. La idea básica de esta distinción es que las personas disponemos de dos formas diferentes, y no siempre relacionadas de conocer el mundo” [11]. Y es que “sabemos decir cosas sobre la realidad física y social, y, por otro lado, sabemos hacer cosas que afectan a nuestras mismas realidades” [11]. Ejemplo de ello es cuando los estudiantes no pueden convertir sus conocimientos teóricos o verbales en acciones, y a la inversa, muchas veces no pueden describir sus acciones.

“El conocimiento declarativo es fácilmente verbalizable, puede adquirirse por exposición verbal y suele ser consciente. En cambio, el conocimiento procedimental no siempre somos capaces de verbalizarlo, se adquiere más eficazmente a través de la acción y se ejecuta a menudo de modo automático, sin que seamos conscientes de ello” [11].

Los diferentes procedimientos que deben ser abordados en el proceso de aprendizaje, incluyen secuencias de actividades que van desde las técnicas más simples, como el aprendizaje de mediciones sencillas, hasta la formulación de

hipótesis sobre los fenómenos de la naturaleza. De manera general, se componen desde las más simples técnicas y destrezas hasta las estrategias de aprendizaje y razonamiento. Las técnicas son rutinas automatizadas resultado de la práctica repetida, mientras que las estrategias conllevan una planificación y toma de decisiones en la ejecución de los pasos a seguir. “Las estrategias se componen de técnicas e implicarían un uso deliberado de las mismas en función de los objetivos de la tarea” [11], pues la puesta en marcha de una estrategia requiere del dominio de técnicas.

Se ha visto que en la educación secundaria aún se sigue implementando una “enseñanza” principalmente basada en técnicas, pero muy poco se emplean estas técnicas aprendidas para la formulación de estrategias dirigidas a problemas cualitativos que requieren de una planificación más profunda.

“Una tarea es meramente repetitiva (ejercicio) o novedosa (problema) en función no sólo de sus propias características sino de los conocimientos de la persona que se enfrenta a ella” [11]. Esto quiere decir que no podemos definir en términos absolutos qué tareas representan un ejercicio o problemas, pues para lo que un profesor es un simple ejercicio calcular la densidad de una sustancia, para un estudiante esto puede resultar un problema. En consecuencia, que una tarea pueda verse como un ejercicio o problema dependerá de lo imprevisible y novedosa que esta tarea sea. Cuando una tarea es vista como problema, el estudiante reflexionará sobre lo que sabe (técnicas y estrategias) y lo que debería hacer (toma de decisiones).

Dentro del proceso de aprendizaje de la física hay tres tipos de problemas: problemas cualitativos, problemas cuantitativos y pequeñas investigaciones.

Los problemas cualitativos “son problemas abiertos en los que se debe predecir o explicar un hecho, analizar situaciones cotidianas y científicas e interpretarlas a partir de los conocimientos personales y/o del marco conceptual que proporciona la ciencia” [11]. Estos problemas se pueden resolver sin necesidad de cálculos numéricos utilizando razonamientos teóricos. El estudiante puede relacionar teorías, modelos con los fenómenos de estudio. El papel del profesor consiste en ayudar al estudiante con el reconocimiento y fijación de parámetros, incitando y fomentando al debate.

Los problemas cuantitativos “son los más adecuados para trabajar las

habilidades que implican el manejo de los lenguajes matemáticos y algebraicos. Son problemas en los que el *alumno* debe manipular datos numéricos” [11]. Este tipo de problemas son los que más se manejan dentro del aprendizaje de la física, sirven como instrumentos en la solución de problemas más complejos. Una de las dificultades presentes en este tipo de problemas es que muchas veces aparecen superpuestos el problema físico y el matemático de tal manera que el problema matemático enmascara al físico, esto implica que se convierta en un simple ejercicio rutinario en el que sólo se realizan operaciones a partir de una fórmula.

Las pequeñas investigaciones “son actividades en las que el *alumno* debe obtener las respuestas a un problema por medio de un trabajo práctico, tanto en el laboratorio escolar como fuera de él” [11]. Este tipo de tareas tienen como objetivo acercar al estudiante al trabajo científico, buscando conexiones entre los conceptos teóricos de la física con sus aplicaciones. Una de las dificultades en estas tareas es que la investigación puede convertirse en una simple “demostración”, para evitar esto es necesario que el profesor ayude a definir el problema y fomente la reflexión acerca de lo realizado, así como de sus consecuencias.

El objetivo común de estos tres tipos de problemas es el de introducir al estudiante a los procedimientos para hacer ciencia, específicamente física. Pero es importante recalcar que es necesario hacer uso de los tres tipos de problemas para que pueda existir una comprensión en el aprendizaje y no sumergirse nuevamente en la “enseñanza” tradicional.

“Un objetivo de la educación debería ser fomentar el desarrollo del pensamiento formal como uno de los modos de alentar el paso de una inteligencia adolescente, o de transición de las operaciones concretas a las formales, a una inteligencia adulta, plenamente formal” [11].

Como ya se ha visto, en el proceso de aprendizaje se ha mantenido la centralización de los contenidos verbales, en la cual los estudiantes sólo se han limitado en aprender datos y conceptos que rara vez llegan a ser comprendidos. El aprendizaje de este tipo de contenidos debe tomar una dirección diferente a la tradicional, donde los estudiantes, lejos de seguir con la memorización repetitiva entiendan los contenidos.

“Hay tres tipos de contenidos verbales: los datos, conceptos y los principios. Un dato o hecho son información que declara algo sobre el mundo” (declaraciones

como: el hielo se derrite, un kilómetro equivale a 1000 metros) [11]. Los datos o *hechos* se aprenden tanto en el ámbito educativo como en el ámbito cotidiano. Hay que diferenciar entre conocer un dato y darle significado. Comprender el dato es más complicado, requiere de relacionar datos dentro de la red de significados que expliquen por qué se producen y qué consecuencias tienen. Es decir, comprender un dato requiere del uso de conceptos. Por otro lado, conocer un dato permite reproducirlo, pero no necesariamente darle sentido. “La ciencia debe proporcionar marcos conceptuales para interpretar no sólo esos datos nuevos, sino también la información factual que los *alumnos* tienen sin necesidad de estudiar ciencias” [11].

Aunque ya se ha mencionado que es necesario descentralizar el aprendizaje en contenidos puramente verbales, no quiere decir que éstos deban dejar de incluirse en el proceso de aprendizaje, pues no se puede aprender ciencia sin datos. Los datos funcionan como un medio para acceder a otras formas de conocimiento verbal próximas a la comprensión, es decir, sirven para facilitar otros aprendizajes más significativos. Asimismo, “si los datos ayudan a adquirir conceptos, éstos a su vez son la forma más eficaz de retener datos” [11]. Cuando el estudiante les da sentido a las cosas, los datos dejan de ser una simple declaración y, en consecuencia, son más fáciles de retener.

Se ha visto también que, dentro del método realista tradicional, el profesor suele “explicar” o “enseñar” conceptos que los estudiantes suelen solamente copiar y memorizar. “El aprendizaje de hechos o datos es un proceso que no admite grados intermedios; si no se producen las condiciones adecuadas no se aprende. En cambio, el proceso de comprensión es gradual, es prácticamente imposible lograr una comprensión óptima la primera vez que nos enfrentamos a un problema” [11].

Además, otra diferencia entre el aprendizaje de datos y la comprensión es la capacidad de retener lo aprendido. Mientras que la repetición de datos va en descenso, el aprendizaje de datos irá quedando en el olvido, pero cuando comprendemos las cosas, lo aprendido no se difumina totalmente como el aprendizaje de datos. La comprensión de hechos o datos tiende a permanecer por más tiempo [11].

Nosotros, de forma inconsciente, construimos nuestro propio conocimiento o nuestra propia comprensión mediante aquellos conocimientos conceptuales

previos. Cada vez que una persona intenta comprender algo requiere de activar ideas o conocimientos previos para darle sentido y pueda surgir un nuevo conocimiento.

Sin embargo, a pesar de que los conocimientos previos son de gran ayuda a la hora del aprendizaje, también pueden derivar dificultades en la comprensión de nuevas cosas, pues muchas veces los estudiantes suelen interpretar los conocimientos de la física tratados en el aula en términos de sus conocimientos cotidianos que poco o nada tienen que ver con la visión de la ciencia.

En el proceso de aprendizaje hay una desconexión entre el conocimiento que debe tratarse en la materia, lleno de conceptos abstractos y símbolos extraños, y el conocimiento que los estudiantes generan para darle sentido al mundo que les rodea, un mundo cotidiano de objetos y personas.

Las concepciones que tienen los estudiantes reflejados en su intento de aprender tienen un origen sensorial, cultural y escolar. Las concepciones espontáneas, de origen sensorial, se derivan en el intento de “dar significado a las actividades cotidianas y se basarían esencialmente en el uso de reglas de inferencia causal aplicadas a datos recogidos mediante procesos sensoriales y perceptivos” [11].

Las representaciones sociales, derivadas del ámbito cultural, hacen referencia a las concepciones socialmente inducidas sobre los hechos y fenómenos del mundo con las que los estudiantes acceden a las aulas. Este tipo de concepciones han tenido su influencia a través de medios de comunicación y de publicidad, medios que, en el afán de divulgación, han mostrado de forma inadecuada los conceptos físicos.

Por último, las concepciones analógicas, de origen escolar, hacen referencias a los posibles “errores” conceptuales “enseñados” dentro del aula, a “errores” didácticos donde la presentación de los conocimientos físicos no es vista como saberes diferentes de otros tipos de conocimiento.

El que los estudiantes tengan como partida concepciones muy arraigadas, ajenas a la concepción de la ciencia, implica dificultades en la comprensión adecuada de los conceptos físicos. La educación tradicional intenta sustituir los pensamientos cotidianos de los estudiantes con una concepción científica. Sin embargo, la forma de pensar de los estudiantes no difiere mucho de la manera de

resolver los problemas por parte de los científicos. “La ciencia no es una tarea tan alejada del conocimiento cotidiano, ya que, más allá de su imagen social o su estereotipo, en ella se usan categorías prototípicas, conocimientos implícitos, reglas heurísticas, sesgos inferenciales, etc., es decir que la ciencia, lejos de ser una tarea racional, sería un producto más de la racionalidad limitada de los seres humanos” [11]. Esto no quiere decir que la ciencia sea una tarea menos racional, más bien la ciencia es una empresa distinta, tanto desde el punto de vista social y cognitivo, de otras formas de conocimiento.

4.2 Educación Secundaria: Ciencias II

La ciencia es una actividad esencial para entender e intervenir el mundo en el que vivimos, construyendo teorías y modelos en la búsqueda del entendimiento de los fenómenos de la naturaleza. “La educación básica debe inspirar y potenciar el interés y disfrute del estudio, e iniciar a los estudiantes en la exploración y comprensión de las actividades científicas y tecnológicas, la construcción de nociones y representaciones del mundo natural y de las maneras en cómo funciona la ciencia, el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y creativo, al mismo tiempo que adquieran capacidades para la indagación y la autorregulación de los aprendizajes” [10].

Los cambios en los currículos de ciencias se derivan de la necesidad de hacer frente a los problemas de aprendizaje de la ciencia, de la construcción de conceptos y de los nuevos contextos de desarrollo de la sociedad. Según el plan de estudios actual, dichos cambios “promueven la percepción de la ciencia en un contexto histórico orientado a la solución de situaciones problemáticas derivadas de la interacción humana con su entorno, así como en las formas de aproximación a la construcción del conocimiento, más que a la adquisición de conocimientos específicos o a la resolución de ejercicios” [16].

Este plan de estudios está basado en los llamados *Aprendizajes Clave* [10]. “Un aprendizaje clave es un conjunto de conocimientos, prácticas, habilidades, actitudes y valores fundamentales que contribuyen sustancialmente al crecimiento integral del estudiante” [10]. Estos aprendizajes se desarrollan de manera importante en la escuela, cuyo aprendizaje disminuye carencias difíciles de compensar en la vida del estudiante y al mismo tiempo posibilita que pueda desarrollar un proyecto de vida.

Los contenidos que habrían de aprender los estudiantes es un tema de constante discusión, pero la formación integral exige contenidos de diversa naturaleza. Los aprendizajes clave se concretan con *aprendizajes esperados* [10] cuando los primeros se formulan en términos de dominio de un conocimiento, una habilidad, una actitud o valor. Así, los aprendizajes esperados son las metas de aprendizaje de los estudiantes.

El plan de estudios 2017 plantea la organización de los contenidos en tres componentes curriculares: *Campos de Formación Académica*, el cual está organizado en tres campos [10]: Lenguaje y comunicación, Pensamiento Matemático y Exploración y Comprensión del Mundo Natural Social. El segundo componente es el de *Áreas de Desarrollo Personal y Social* que se organiza en tres componentes: Artes, Educación Socioemocional y Educación Física. El último componente denominado como *Ámbitos de la Autonomía Curricular* está organizado en cinco ámbitos: Ampliar la formación académica, Potenciar el desarrollo personal y social, Nuevos contenidos relevantes, Conocimientos regionales y proyectos de impacto social.

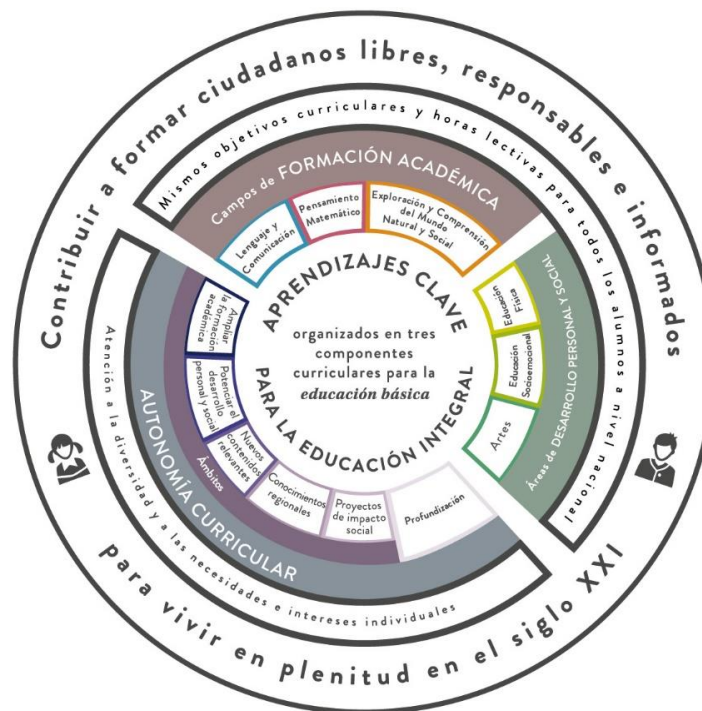


Figura 4.1: Esquema integrador de los tres componentes curriculares que componen el plan de estudios Aprendizajes Clave para la Educación Integral.

Para nuestros fines, pondremos énfasis en el campo de Exploración y Comprensión del Mundo Natural y Social. “Este campo está constituido por los enfoques de diversas disciplinas de las ciencias sociales, la biología, la física y la química, así como por aspectos sociales, políticos, económicos, culturales y éticos” [10].

A medida que los educandos avancen, irán aplicando su capacidad para cuestionar e interpretar tanto ideas como situaciones o datos de diversa índole, en el que desarrollen su pensamiento crítico aprendiendo a analizar y a evaluar la consistencia de los razonamientos. “Un objetivo central de este campo es que los educandos adquieran una base conceptual para explicarse el mundo en que viven, que desarrollen habilidades para comprender y analizar problemas diversos y complejos; en suma, que lleguen a ser personas analíticas, críticas, participativas y responsables” [10].

Este campo forma parte de todos los niveles de la educación básica. Para el caso del nivel Secundaria, dicho campo, está integrado por las materias de Ciencias y Tecnología: Ciencias I: Biología en primer grado, Ciencias II: Física en segundo grado y Ciencias III: Química en tercer grado.

Se presentan a continuación los propósitos del plan de estudios de Ciencias para la educación Secundaria [16]:

1. Concebir la ciencia y la tecnología como procesos colectivos, dinámicos e históricos, en los que los conceptos están relacionados y contribuyen a la comprensión de los fenómenos naturales, al desarrollo de tecnologías, así como la toma de decisiones en contextos y situaciones diversas.

2. Reconocer la influencia de la ciencia y la tecnología en el medioambiente, la sociedad y la vida personal.

3. Demostrar comprensión de las ideas centrales de las ciencias naturales, a partir del uso de modelos, del análisis e interpretación de datos experimentales, del diseño de soluciones a determinadas situaciones problemáticas, y de la obtención, evaluación y comunicación de información científica.

4. Explorar la estructura y diversidad biológica y material, desde el nivel

macroscópico hasta el nivel submacroscópico, estableciendo conexiones entre sistemas y procesos macroscópicos de interés, sus modelos y la simbología utilizada para representarlos.

5. Identificar la diversidad de estructuras y procesos vitales, como resultado de la evolución biológica.

6. Valorar el funcionamiento integral del cuerpo humano, para mantener la salud y evitar riesgos asociados a la alimentación, la sexualidad y las adicciones.

7. Explorar modelos básicos acerca de la estructura y procesos de cambio de la materia, para interpretar y comprender los procesos térmicos, electromagnéticos, químicos y biológicos, así como sus implicaciones tecnológicas y medioambientales.

8. Comprender los procesos de interacción en los sistemas y su relación con la generación y transformación de energía, así como sus implicaciones para los seres vivos, el medioambiente y las sociedades en que vivimos.

9. Aplicar conocimientos, habilidades y actitudes de manera integrada, para atender problemas de relevancia social asociados a la ciencia y tecnología.

Los Programas de Ciencias Naturales y Tecnología de la educación básica, están organizados en tres ejes y once temas cuya intención es propiciar un tratamiento articulado de las disciplinas científicas y tecnológicas [16] en contextos cotidianos y sociales, en especial los asociados a la materia:

Materia, energía e interacciones

- Propiedades
- Interacciones
- Naturaleza Macro, Micro y Submicro
- Fuerzas
- Energía

Sistemas

- Sistemas del cuerpo humano y salud
- Ecosistemas
- Sistema solar

Diversidad, continuidad y cambio

- Biodiversidad
- Tiempo y cambio
- Continuidad y ciclos

Materia, energía e interacciones: En este eje, como su nombre lo dice, abarca el estudio de la materia, la energía y las interacciones, iniciando con lo más inmediato, lo perceptible y lo concreto de manera que pueda avanzarse hacia la comprensión de descripciones y procesos abstractos. El eje plantea un primer acercamiento a la perspectiva macro, micro y submicro de la naturaleza, en la cual se encuentra desde la materia perceptible a escala astronómica hasta la materia imperceptible a simple vista.

Sistemas: La finalidad de este eje es que los estudiantes inicien un proceso de comprensión de las formas de organización de la materia en la conformación de sistemas, a fin de que construyan explicaciones sobre el funcionamiento sistémico de la naturaleza. Asimismo, que reconozcan a los sistemas como conjuntos de componentes que interactúan de manera coordinada entre sí y que son más que la suma de sus partes. Uno de los sistemas de grandes dimensiones es el sistema planetario, el cual se estudia con base en las características y fenómenos asociados a la Luna y el Sol, para avanzar hacia aspectos básicos de la estructura y dinámica del Sistema Solar, y para valorar la tecnología que permite explorarlo.

Diversidad, continuidad y cambio: Este bloque hace referencia a los cambios y continuidades presentes en la naturaleza. Donde algunos de ellos se manifiestan en ciclos y otros han generado gran diversidad, tanto en los seres vivos como en la materia.

Una vez que se hizo una breve descripción acerca de la estructura de los planes de estudio del programa de ciencias, hagamos énfasis en el programa de la asignatura *Ciencias II: Física* abordada dentro del currículo de segundo grado. En la Figura 4.2 se presentan los aprendizajes esperados de esta asignatura.

La física es una de las disciplinas de las llamadas ciencias naturales que tiene como objetivo el estudio del mundo y sus fenómenos, la materia, energía, tiempo y el espacio.

El primer encuentro con la física que se presenta a los estudiantes de este nivel se centra básicamente en el estudio del comportamiento macroscópico de la materia. Esto es, que el contenido de esta materia hace referencia al estudio del movimiento de los cuerpos desde el enfoque de la cinemática y la dinámica. En

CIENCIAS Y TECNOLOGÍA. FÍSICA. SECUNDARIA. 2º		
EJES	Temas	Aprendizajes esperados
MATERIA, ENERGÍA E INTERACCIONES	Propiedades	<ul style="list-style-type: none"> Describe las características del modelo de partículas y comprende su relevancia para representar la estructura de la materia. Explica los estados y cambios de estado de agregación de la materia, con base en el modelo de partículas. Interpreta la temperatura y el equilibrio térmico con base en el modelo de partículas.
	Interacciones	<ul style="list-style-type: none"> Describe, explica y experimenta con algunas manifestaciones y aplicaciones de la electricidad e identifica los cuidados que requiere su uso. Analiza fenómenos comunes del magnetismo y experimenta con la interacción entre imanes. Describe la generación, diversidad y comportamiento de las ondas electromagnéticas como resultado de la interacción entre electricidad y magnetismo.
	Naturaleza macro, micro y submicro	<ul style="list-style-type: none"> Explora algunos avances recientes en la comprensión de la constitución de la materia y reconoce el proceso histórico de construcción de nuevas teorías. Describe algunos avances en las características y composición del Universo (estrellas, galaxias y otros sistemas). Describe cómo se lleva a cabo la exploración de los cuerpos celestes por medio de la detección y procesamiento de las ondas electromagnéticas que emiten.
	Fuerzas	<ul style="list-style-type: none"> Describe, representa y experimenta la fuerza como la interacción entre objetos y reconoce distintos tipos de fuerza. Identifica y describe la presencia de fuerzas en interacciones cotidianas (fricción, flotación, fuerzas en equilibrio).
	Energía	<ul style="list-style-type: none"> Analiza la energía mecánica (cinética y potencial) y describe casos donde se conserva. Analiza el calor como energía. Describe los motores que funcionan con energía calorífica, los efectos del calor disipado, los gases expelidos y valora sus efectos en la atmósfera. Analiza las formas de producción de energía eléctrica, reconoce su eficiencia y los efectos que causan al planeta. Describe el funcionamiento básico de las fuentes renovables de energía y valora sus beneficios.
SISTEMAS	Sistemas del cuerpo humano y salud	<ul style="list-style-type: none"> Identifica las funciones de la temperatura y la electricidad en el cuerpo humano. Describe e interpreta los principios básicos de algunos desarrollos tecnológicos que se aplican en el campo de la salud.
	Sistema Solar	<ul style="list-style-type: none"> Describe las características y dinámica del Sistema Solar. Analiza la gravitación y su papel en la explicación del movimiento de los planetas y en la caída de los cuerpos (atracción) en la superficie terrestre.
DIVERSIDAD, CONTINUIDAD Y CAMBIO	Tiempo y cambio	<ul style="list-style-type: none"> Analiza cambios en la historia, relativos a la tecnología en diversas actividades humanas (medición, transporte, industria, telecomunicaciones) para valorar su impacto en la vida cotidiana y en la transformación de la sociedad. Comprende los conceptos de velocidad y aceleración. Identifica algunos aspectos sobre la evolución del Universo.

Figura 4.2: Aprendizajes Esperados *Ciencias y Tecnología Física* [16].

adición, los estudiantes se enfrentan a la manipulación de datos numéricos y a la resolución de problemas de carácter cuantitativo. Así, los estudiantes están familiarizados con muchos de los contenidos de la física pues llegan con muchas ideas previas y opiniones sobre los fenómenos de la naturaleza, que en un principio resultan ser muy ventajosos para el profesor a la hora de proporcionar ejemplos

cotidianos para ayudar en la comprensión de los contenidos de la materia.

Más adelante se introducen contenidos referentes a la energía y electricidad, pero siguiendo con un enfoque puramente macroscópico, es decir, continuando con el análisis de las propiedades visibles de estos fenómenos. Posteriormente, se profundizan estos contenidos a situaciones más complejas ligadas a la llamada física moderna, donde el objeto de estudio va más allá del mundo visible, a un mundo más abstracto, con el que los estudiantes poco o nada están familiarizados. En esta etapa, los estudiantes se enfrentan a una mezcla de datos y conceptos extraños. Por su parte, los profesores se enfrentan a la necesidad de recurrir a instrumentos de aprendizaje para facilitar la representación de los fenómenos que no pueden verse.

Finalmente, los estudiantes se adentran al estudio de la relación entre ciencia y sociedad, reflexionando acerca de las implicaciones de la física en el desarrollo de soluciones de las necesidades actuales.

Cabe destacar que, dentro de los programas de ciencias, hay flexibilidad en cuanto a la secuenciación de los temas, de manera que pueden abordarse de acuerdo a la conveniencia según el contexto y las necesidades educativas de los estudiantes.

4.3 Actividades para la enseñanza de la física

En la sección anterior se comentaron algunos aspectos importantes acerca de la estructura del plan y programa de estudios de ciencias en nivel secundaria, de manera específica al programa de estudios de la asignatura Ciencias II: Física, correspondiente al segundo grado.

A continuación, se presentan seis actividades dirigidas a lograr algunos de los aprendizajes esperados que se señalan en el programa de la asignatura de física, las cuales están destinadas a facilitar la construcción del conocimiento, a que los estudiantes se adentren a la manera en cómo se crean y establecen conceptos físicos, así como analizar su importancia en la construcción de modelos para describir los fenómenos naturales. Esto corresponde a los propósitos que el plan de estudios actual busca lograr, al mismo tiempo, son actividades que dan apertura a que el estudiante sea el protagonista de su aprendizaje, cuando durante el

desarrollo de la actividad opina y participa activamente en discusiones a través de la mediación del docente, con el propósito de tomar consciencia de las concepciones que tiene sobre los diversos contenidos que se abordan. (Actividades 1 y 2 tomadas de [31], las actividades restantes son propias de esta tesis)

Es importante mencionar que a estas actividades propuestas les subyacen estrategias de enseñanza desde un enfoque constructivista, según Monereo *“una estrategia de enseñanza es un conjunto de decisiones que toma el docente para orientar la enseñanza con el fin de promover el aprendizaje de sus estudiantes. Son orientaciones generales acerca de cómo enseñar un contenido disciplinar considerando qué buscamos que los estudiantes comprendan, por qué y para qué”* [32].

Dicho de otro modo, podemos ver a las estrategias de enseñanza como un proceso intencionado que implementa una serie de acciones educativas con la aplicación de un método o de herramientas didácticas apoyados de una serie de recursos que conllevan a un resultado previamente planeado.

De manera particular, la aplicación de estas actividades se rige por una discusión guiada por el docente, preparando y comunicando al estudiante acerca de lo que va a aprender, no sin antes recurrir a una discusión acerca de las concepciones previas de los estudiantes.

Asimismo, su desarrollo se basa en un aprendizaje colaborativo, es decir, en que los estudiantes trabajen con sus compañeros y el docente, de manera que puedan construir nuevos conocimientos y desarrollar habilidades a través de la interacción social.

Dado que una estrategia de enseñanza, según Monereo, hace referencia a que son un conjunto de decisiones, orientaciones generales, procesos intencionados, antes de cada actividad explicitaremos la estrategia considerada en cada una de ellas.

Actividad 1

Propósito: Se señala explícitamente que el alumno comprenderá que el Sistema Internacional de Unidades es una convención establecida y aceptada por una comunidad de países.

Desarrollo:

En el punto 1 de esta actividad, con la organización de equipos, con el intercambio y contrastación de sus opiniones, se busca que el estudiante tome conciencia de sus ideas previas y las de sus compañeros.

En el punto 2 y 3 se ofrece información dirigida a mostrar que el tiempo ha sido medido de diversas formas en diferentes culturas, lo que permite al estudiante a generar su propio sistema de medición. Lo que se desarrolla en estos puntos tiene la intención de llevar al estudiante a la reflexión acerca de las diferentes maneras que las culturas han medido el tiempo.

En el punto 4 se proporciona al estudiante información sobre la manera en cómo ha cambiado, a través del tiempo, el Sistema Internacional de Unidades, esto con la intención de contrastar sus ideas previas, de reflexionar junto con sus compañeros el hecho de que este sistema de unidades no es absoluto.

El punto 5 induce al estudiante a una interacción de significados con los miembros del equipo a partir de la nueva información proporcionada, a manera de evaluación registrará en el cuadro proporcionado al final de la actividad los cambios que observó durante el proceso sobre la concepción que tenía acerca del Sistema Internacional de Unidades.

Actividad 1. Características de algunas magnitudes fundamentales

Propósito: Discutir el origen y la evolución del Sistema Internacional de Unidades, en el contexto de que éste es una convención establecida y aceptada por una comunidad de países.

Desarrollo:

1. Formen equipos de tres estudiantes y consigan un reloj, una regla y algún objeto de aproximadamente una masa de un kilogramo. Cada uno explicará lo que significa un segundo, un metro y un kilogramo. A continuación, enriquezcan el intercambio de opiniones sobre el tiempo comentando su utilidad y significado; analicen el tema mediante la comparación de diferentes eventos y, en los mismos términos, reflexionen sobre lo que significa un metro y finalmente un kilogramo. ¿Coincidieron los significados que cada miembro del equipo expresó? ¿o existen diferencias?

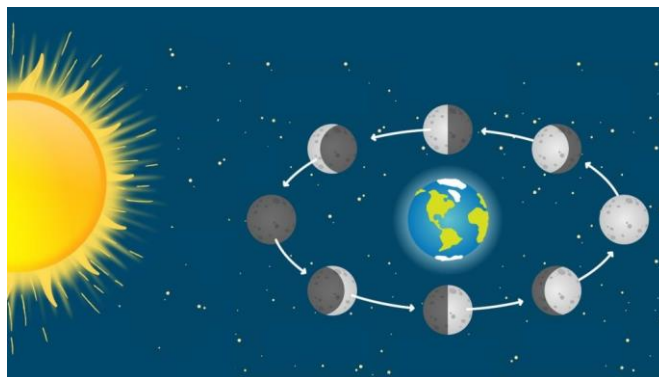


2. Ahora repasemos cómo surgieron estas unidades: el segundo se aproxima al tiempo en que ocurre un latido del corazón de un adulto; el metro se corresponde con nuestra altura, y el kilogramo se asocia con la masa que tenemos (¿te imaginas dar nuestra masa en toneladas?).

Para medir el tiempo, algunas culturas consideraron el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol. Otras se inclinaron por el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra. En ambos casos, los movimientos son periódicos, es decir, se repiten con el tiempo. Por ejemplo, podríamos establecer un sistema de medición del tiempo en términos del número de vueltas que da la luna alrededor de la Tierra, de esta manera cualquier persona puede calcular su edad en términos de vueltas de la Luna alrededor de la Tierra. El mes sinódico es el tiempo que transcurre entre dos mismas fases consecutivas de la luna desde un punto en la Tierra y tiene una duración de 29.53 días aproximadamente. ¿Qué piensas de estas diferentes maneras de medir el tiempo en algunas culturas?

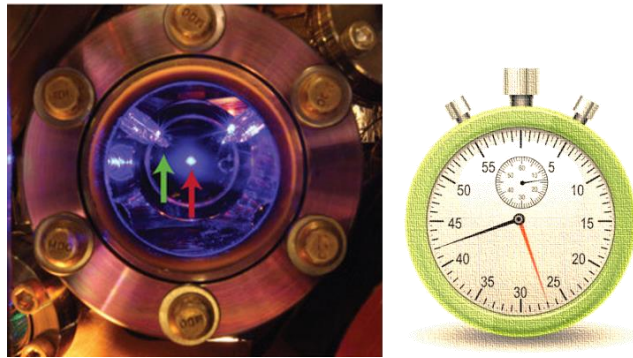
3. Realicen el cálculo de la edad de cada miembro del equipo a partir del ciclo lunar.

Respuesta: Mi edad es _____ vueltas de la Luna alrededor de la Tierra.



4. La actividad científica y técnica ha permitido que las magnitudes fundamentales tengan cada vez mayor precisión. A continuación, te proporcionamos una breve descripción de cómo se han ido **adaptando** los patrones para el metro, el kilogramo y el segundo.

Segundo: Se le definió como $(1/86\ 400)$ parte del día solar medio. Sin embargo, debido a que se ha detectado que la Tierra gira cada vez más despacio, la definición de segundo ya no es consistente. Por tal razón se ha optado por definir el segundo en función de constantes atómicas. Desde 1967, el segundo se define como la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental no perturbado del átomo de Cesio - 133.



Metro: Originalmente fue la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre. Un intento para uniformar esta unidad se dio en 1889 cuando se definió el metro patrón como la distancia entre dos finas rayas de una barra de aleación platinoiridio que se encuentra en el Museo de Pesas y Medidas de París. En 1960 el metro se definió como la longitud igual a 1 650 763.73 longitudes de onda, en el vacío, de la radiación correspondiente a la transición entre los niveles $2p_{10}$ y $5d_5$, del átomo de Kriptón 86. En 1983 se definió como la longitud del espacio recorrido por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de $1/299\ 792\ 458$ de segundo.

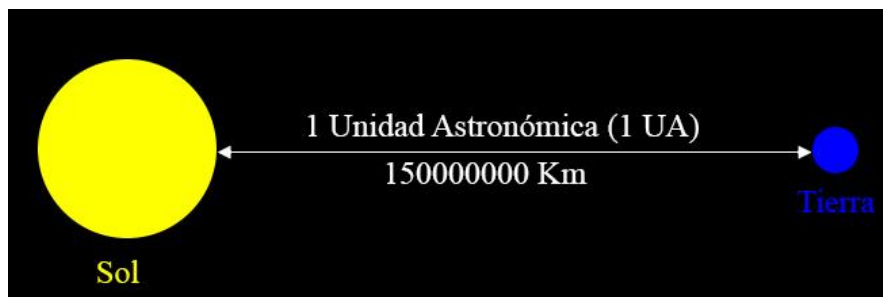


Kilogramo: Inicialmente, el kilogramo fue considerado como la masa de un litro de agua destilada a la temperatura de 4 °C. En 1889 se definió el kilogramo patrón como la masa de un cilindro de una aleación de platino e iridio que se conservan en el Museo de Pesas y Medidas en París. Actualmente, se ha adoptado la definición para el kilogramo basada en una constante de la naturaleza conocida como la constante de Planck $h = 6.62607015 \times 10^{-34} J \cdot s$, consecuentemente, en función del segundo y el metro.



Aunque se ha llegado a un acuerdo para definir esas unidades fundamentales, a medida que avanza la exploración del universo se han introducido unidades auxiliares acordes con esas dimensiones.

En lo que respecta a la longitud tenemos: La unidad astronómica que es la distancia media entre la Tierra y el Sol (aproximadamente 150 millones de kilómetros) y el año-luz (es la distancia que recorre un rayo de luz en un año, equivalente a 9.46×10^{12} de kilómetros).



El Pársec, equivale a 3.26 años-luz.

El Ángstrom, a una diezmilmillonésima parte del metro. Éstas son algunas unidades poco familiares entre la población, pero de uso frecuente en el estudio del macrocosmos y el microcosmos.

¿Qué distancia recorre la luz en un año?

La luz se mueve, aproximadamente, a una velocidad de trescientos mil kilómetros por segundo. Para realizar el cálculo multiplica 300 000 por 31 536 000 (número de segundos que hay en un año). El resultado de este producto es nueve billones, cuatrocientos sesenta mil ochocientos millones de kilómetros.



Imagínate que la distancia estimada entre nuestro Sol y la estrella que hasta ahora se considera más cercana es del orden de cuatro años-luz, y suponemos que existen objetos que están a más de ¡10 000 millones de años-luz!

- Ahora discutan sobre la información que se te ha proporcionado y compárenla con lo que antes pensaban. Cada integrante del equipo anote sus ideas en el siguiente cuadro:

Lo que pensaba antes	Lo que pienso ahora

Como pudiste darte cuenta, a partir de la información que se te proporcionó, el Sistema Internacional de Unidades es también arbitrario y se encuentra sujeto a constante discusión y revisión.

Si bien la mayoría de los países ha adoptado este sistema de unidades, la situación podría cambiar en el futuro!

Actividad 2

Propósito: Se señala explícitamente que el alumno comprenderá algunos conceptos para describir el estado de movimiento de los cuerpos.

Desarrollo:

En el punto 1 de esta actividad, a través de la interacción en equipos, se da apertura los estudiantes reflexionen e intercambien sus ideas previas acerca de los objetos en movimiento.

En el punto 2, con el fin de reflexionar sobre sus ideas previas, se lleva al estudiante a una discusión acerca de los tipos de movimiento, y la clasificación de los cuerpos en movimiento a su alrededor. Finalmente, se les proporciona información acerca de este concepto para llevarlos a contrastar sus ideas previas con la información dada en la actividad.

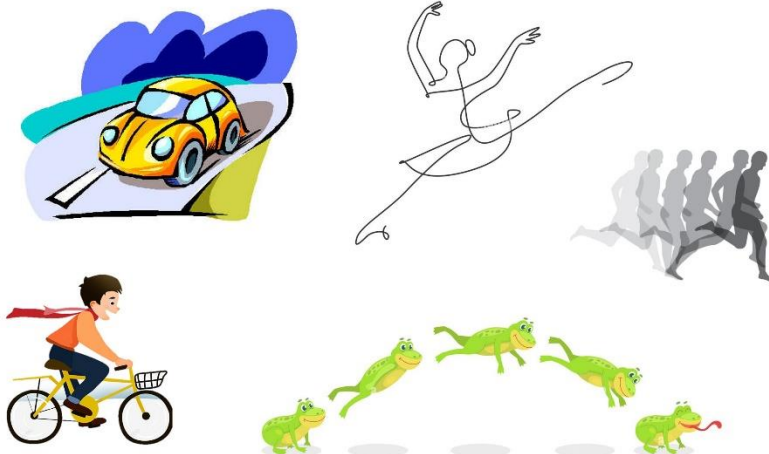
En el punto 3 y 4 se proporciona al estudiante información sobre los conceptos de velocidad, rapidez y desplazamiento. Así mismo, se les invita a comparar la información dada con otras fuentes con la finalidad de que puedan hacer uso de lo aprendido.

El punto 5 está destinado a proporcionar información sobre el movimiento relativo, de manera que los integrantes del equipo interaccionen para discutir sobre ello y tomen conciencia de que los sistemas de referencia son convenciones hechas por el observador. Este punto también pretende que el estudiante pueda involucrar el concepto con la vida cotidiana.

El punto 6 introduce información sobre las características de los movimientos acelerados. Esto lleva al estudiante a discutir con los miembros del equipo sobre el concepto de aceleración y hacer uso de ello en la vida cotidiana.

Actividad 2. Movimiento, velocidad y aceleración

Propósito: Reflexionar sobre el concepto de movimiento y, con base en esta reflexión, discutir sobre los conceptos de velocidad y aceleración.



Desarrollo:

1. Formen equipos de tres y hagan una lista de cinco objetos que se puedan mover respecto a la posición en la que se encuentran. Intercambien puntos de vista acerca de lo que determinó que escogieran esos objetos. Respondan lo siguiente:

¿Qué criterios utilizaron para decidir qué objeto se movía?

Con base en su respuesta definan el concepto de movimiento.

Movimiento es: _____

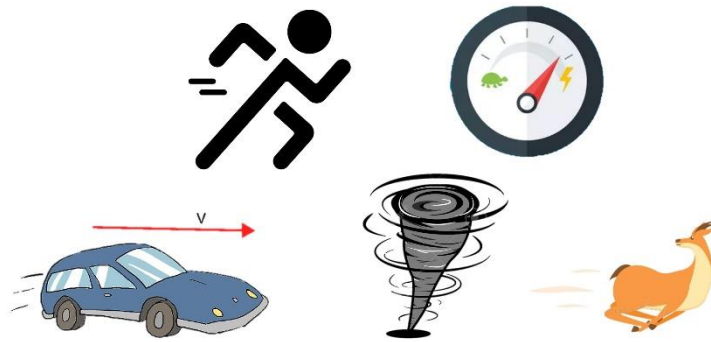
2. Hasta ahora sólo hemos pedido que analicen el movimiento de los objetos sin importar que se lleve a cabo de forma rápida o lenta. Ahora nos fijaremos en la rapidez con la que se mueve un objeto.



Observen nuevamente el movimiento de los objetos seleccionados en el inciso 1. Ahora consideren la rapidez con la que se mueven. Pongan primero en la lista los que consideren que se movieron lentamente y después los que lo hicieron rápidamente. Pueden usar un reloj con segundero o también el pulso.

Movimientos lentos: _____

Movimientos rápidos: _____



¿Qué criterio utilizaron para decidir que el movimiento era lento o rápido?

Discutan acerca de los criterios y escriban su conclusión ¿qué diferencia existe entre un movimiento rápido y uno lento?

Los movimientos rápidos se caracterizan por: _____

Los movimientos lentos se caracterizan por: _____

Para concluir que un objeto se mueve, éste debe cambiar de posición en el espacio respecto a quien está observando el movimiento. Por lo tanto, podemos decir:

Movimiento el cambio de posición en el espacio de un objeto respecto de otro.

En el inciso 2 tomamos en cuenta el tiempo y lo relacionamos con el movimiento.

Cuando introducimos el tiempo para analizar el movimiento podemos decidir si un movimiento es rápido o lento.

Sin embargo, muchas veces no es fácil decidir cuándo un objeto se mueve rápida o lentamente basándonos sólo en el tiempo en que se lleva a cabo el movimiento. Para tomar una decisión, en ocasiones es necesario considerar la distancia a la que estamos observando dicho movimiento. Por ejemplo, pueden tener dificultades si tratan de decidir en un avión que cubre la bóveda celeste en un tiempo de 15 minutos y la Luna que durante ese mismo tiempo aparentemente permaneció en el mismo lugar.

3. Cuando se calcula el tiempo en el que un objeto se desplaza y su dirección, estamos introduciendo otra magnitud física que se denomina velocidad. La

velocidad es una magnitud vectorial y además de proporcionar su valor (a lo que generalmente se llama rapidez), se debe proporcionar también su dirección. La velocidad implica otra magnitud vectorial que se denomina desplazamiento. La magnitud del desplazamiento es la distancia.



4. Consulten en su libro de texto de física, y dos textos más, el significado de la magnitud vectorial desplazamiento, con base en esa información resuelvan el siguiente ejercicio.

Un objeto se desplaza 40 metros en la dirección este, posteriormente se desplaza 30 metros en la dirección norte. ¿Cuál es el desplazamiento total del objeto? ¿Cuál fue la distancia total recorrida? Para facilitar la solución a este ejercicio hagan una gráfica.

5. Ahora veremos que el movimiento siempre depende del sistema de referencia. Cuando el autobús en el que viajan rebasa a otro, podrán ver la cara de alguno de los pasajeros del otro autobús y por un momento les parecerá que ambos están en reposo. Cuando termina el rebase, aprecian que su autobús viajaba a gran velocidad con respecto a, por ejemplo, un árbol en la carretera; sin embargo, por un instante les pareció que estaban en reposo respecto al otro pasajero en el otro autobús.



Con tus compañeros comenten qué otros ejemplos de movimiento relativo hay en la vida cotidiana.

¡Así es el movimiento! Lo medimos y lo sentimos de acuerdo con las condiciones en que nos encontramos. Por esto se dice que el movimiento es relativo. ¡Sí!, relativo al sistema de referencia utilizado.

6. Existe otra magnitud física (también vectorial), que relaciona la velocidad con el tiempo. A ésta se le llama aceleración, y es la magnitud física vectorial que nos indica qué tan rápido cambia la velocidad de un objeto. Puesto que la aceleración es un vector, además de su magnitud, debemos considerar su dirección. De acuerdo con su definición, la aceleración nos indica un doble cambio, esto es: cómo varía en el tiempo y cómo modifica su posición respecto al tiempo. La mayoría de los movimientos a los que estamos acostumbrados son acelerados. Por ejemplo, cualquier vehículo automotor que se mueva en una carretera o en las calles de la ciudad tiene un movimiento acelerado, ya que por causa de topes, semáforos, curvas o baches cambia constantemente su velocidad.

Elaboren una lista de cinco movimientos acelerados que se presenten cotidianamente. Discute esos ejemplos con tus compañeros y argumenten por qué son movimientos acelerados.

Actividades 3-6 (explicitación de las acciones sugeridas)

Propósito: El estudiante reflexionará sobre cómo vemos el mundo y se iniciará en la comprensión del proceso de construcción del conocimiento.

Las primeras actividades, “Las dimensiones” y “El mundo de Planilandia”, están enfocadas en destacar algunas características geométricas del espacio, derivando una reflexión al tema de la percepción en las diferentes dimensiones espaciales.

Estas primeras actividades dan paso a las siguientes actividades denominadas como “Nuestra Percepción en el Mundo Tridimensional” y “¿Cómo funciona el cine 3D?”, las cuales dan cabida a la discusión y reflexión acerca de la manera en que percibimos el mundo.

Desarrollo:

En la actividad 3 se ofrece información acerca del concepto de dimensiones espaciales, con la finalidad de que el estudiante se introduzca en algunos conceptos de nivel abstracto.

En la actividad 4 se proporciona un video sobre *Planilandia: Una novela de muchas dimensiones*. Posteriormente se pretende que los estudiantes participen de forma activa en la realización de actividades en equipo que los inducirán a la discusión de las diferentes perspectivas y características dentro de las dimensiones espaciales abordadas en la historia.

En la actividad 5 se induce al estudiante a que reflexione sobre su percepción de lo que le rodea y discutirá acerca del espacio tridimensional en el que vivimos. Se le dará información acerca de la visión estereoscópica, llevando a los estudiantes a elaborar un estereoscopio con materiales sencillos para que puedan comprender la manera en que la percepción visual nos permite conducirnos a través del mundo tridimensional.

En la actividad 6 se proporciona información a los estudiantes acerca de algunas de las técnicas para la obtención de imágenes estereoscópicas y su aplicación en ámbitos de la vida cotidiana. Se les lleva a realizar material didáctico con el propósito de elevar su curiosidad en los efectos tridimensionales creados a partir de imágenes, llevando a los estudiantes a comprender la manera en que percibimos el mundo.

Actividad 3: Las dimensiones espaciales

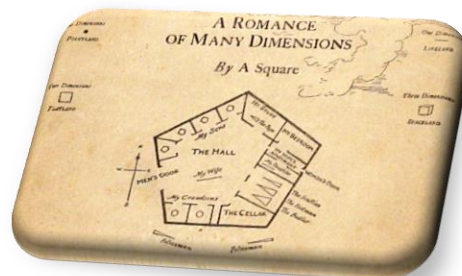
Propósito: Introducir y ejemplificar el concepto de dimensiones espaciales para potenciar la abstracción de los estudiantes en la comprensión de nuevos conceptos matemáticos y físicos.

Desarrollo:

Como sabes, vivimos en un mundo de tres dimensiones espaciales. Pero ¿Alguna vez te has imaginado cómo sería un mundo de dos dimensiones espaciales? ¿de una dimensión? ¿o de ninguna dimensión? ¿Existirán mundos de dimensiones 4, 5 o más dimensiones espaciales?

En esta actividad haremos una reflexión sobre este tema mediante el texto *Planilandia: una novela de muchas dimensiones*. Ésta es una obra escrita por Edwin Abbott a finales del siglo XIX y ambientada en dicha época. Este texto es una sátira de las condiciones de la sociedad de la época y al mismo tiempo hace referencia al concepto de dimensiones espaciales múltiples.

Este clásico de la ciencia-ficción representa una novela precursora en el sentido de que no sólo es una obra de un notable ingenio matemático para la época en la que fue escrita, sino que también resulta inquietante debido a las limitaciones de nuestra percepción cotidiana.



Antes de adentrarnos a esta historia, entremos en contexto acerca de lo que son las dimensiones espaciales.

Cuando hablamos de la dimensión de un objeto nos referimos al número mínimo de coordenadas necesarias para especificar un punto del objeto. Este término se usa para hacer alusión a las características esenciales del espacio en que un determinado objeto existe, o las direcciones en las que es posible el movimiento:

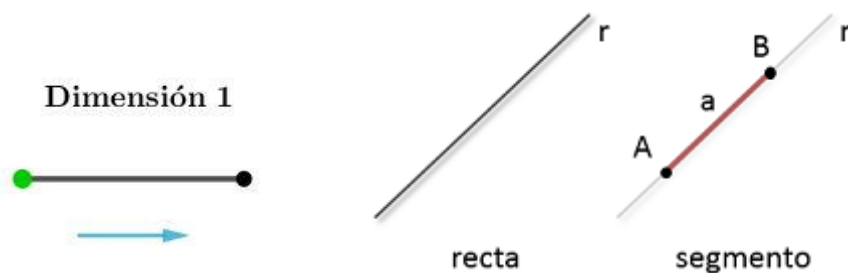
Dimensión cero: Imagina un lugar donde sólo exista un punto, en el que no sea posible moverse hacia ningún lado. Así es como se *describe* la dimensión cero, como un punto sin la posibilidad de desplazarse hacia ninguna dirección,

pues en este espacio no existen direcciones para desplazarse.

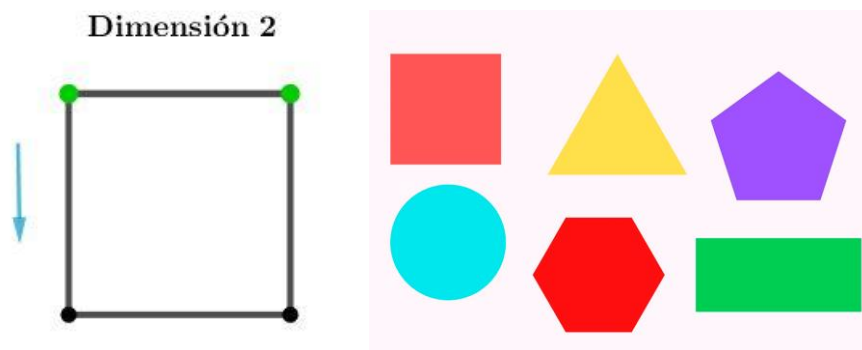
Dimensión 0



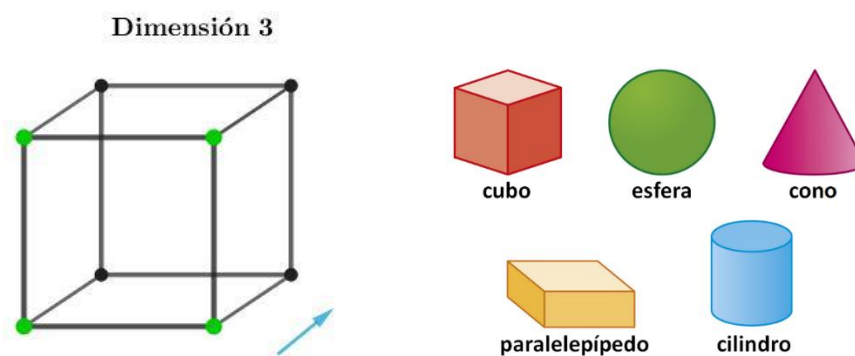
Dimensión uno: Si el universo fuera una línea y viviéramos en este mundo nos daríamos cuenta de que sólo existirían dos sentidos para desplazarse, pero sólo puede hacerse en una dirección, esto es, sobre la línea. Por ello decimos que la línea sólo tiene una dimensión. En esta dimensión es posible la existencia de objetos como los segmentos de recta, que no eran posibles en la dimensión cero. Estos objetos también son de una sola dimensión, por eso se les dice unidimensionales. Notarás que es posible medir las partes de estos objetos para obtener su longitud.



Dimensión dos: Ahora imagina un espacio donde existan sólo dos direcciones en la cual moverse, este espacio sería un plano. En un plano hay infinitos sentidos para moverse. Sin embargo, sólo hay dos direcciones sobre las cuales se pueden mover un objeto en el plano. Así pues, el plano es bidimensional. En una superficie, como es el caso de un plano, necesitamos dos coordenadas para especificar un punto de dicho plano, como ejemplo tenemos el plano cartesiano en el cual necesitamos dos coordenadas (x, y) para localizar un punto. En este espacio es posible la existencia de figuras que no eran posibles en las dimensiones cero y uno, como los triángulos, cuadrados, círculos, etc.



Dimensión tres: Para pasar de la dimensión dos a la dimensión tres necesitamos una dirección más en la cual desplazarnos, de manera que obtengamos el espacio tridimensional. Dicho de otra manera, los movimientos que pueden hacerse en este espacio están reducidos a tres direcciones, así podemos decir que el espacio tiene 3 dimensiones. En este espacio es posible la existencia de objetos que no eran posibles en la dimensión anterior, como cubos, esferas, pirámides, cilindros, etc. De esta manera, para ubicar un punto en el interior de un cubo, de un cilindro o una esfera se necesitan 3 coordenadas. En este caso los objetos tienen tres dimensiones espaciales.



Actividad 4: El mundo de Planilandia

Propósito: Discutir acerca del concepto de dimensiones múltiples, así como de las diferentes perspectivas espaciales dentro de las diferentes dimensiones.

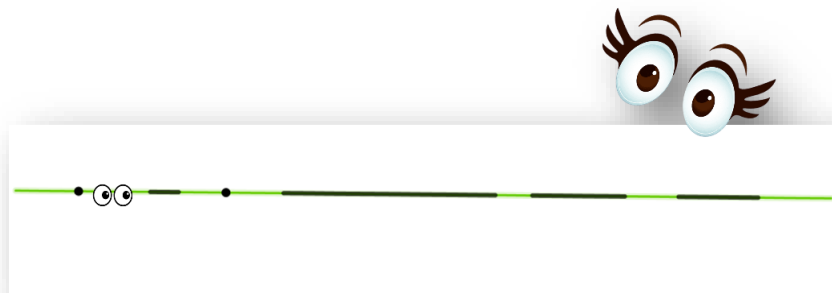
Desarrollo:

Abre el siguiente enlace y observa el video *Planilandia: una novela de*

muchas dimensiones, y comenta con tus compañeros acerca de las características de este fascinante mundo: <https://youtu.be/6PA6lq-x2NQ>



- Necesitarás una regla, una escuadra, una moneda y otros objetos planos. Coloca estos objetos sobre la mesa, observa las figuras desde arriba y describe las formas de los objetos. Posteriormente, observa las figuras desde el borde de la mesa y describe lo que ves. Desde esta perspectiva, ¿los objetos siguen percibiéndose como cuando los observaste desde arriba?
- Imagina que eres un habitante de Planilandia, y que al igual que Cuadrado, viajas al mundo de la dimensión uno. ¿cómo te manifestarías en este mundo de una dimensión? Si fueras un habitante de la dimensión 1, ¿cómo verías a tus compatriotas?



- Necesitarás dos esferas de unicel de distintos tamaños y otros objetos que puedan cortarse de manera transversal. Necesitarás también pintura para sellos. Corta de manera transversal los objetos, coloca la pintura en el área cortada y como si fuera un sello marca sobre una hoja de papel. Observa las figuras que resultan de la intersección de las figuras sólidas y el plano

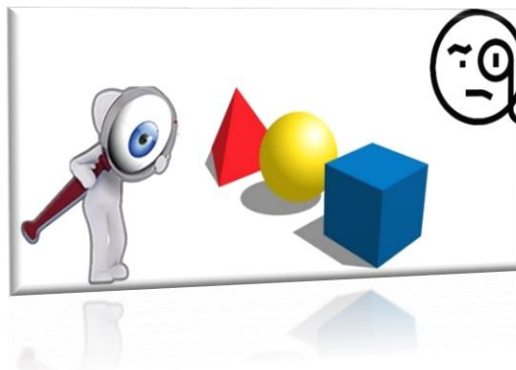
representado por la hoja.



- Ahora imagina que viven en el mundo donde no hay dimensiones y con tus compañeros reflexiona lo siguiente: ¿Cómo te imaginas que sería este mundo? ¿podría haber otro habitante además de ti?



- Discute con tus compañeros la manera en que los seres de tres dimensiones vemos a nuestro alrededor y acerca de lo que significa ver en tres dimensiones espaciales.



Ahora bien, es importante mencionar el significado de ver en 3 dimensiones espaciales, pues comúnmente se piensa que vemos en 3 dimensiones. Sin embargo, Planilandia nos invita a reflexionar acerca de este punto, pues como vimos los habitantes de las respectivas dimensiones no podían verse de la misma manera que los seres de la siguiente dimensión podían verlos. Cuadrado podía observar fácilmente a los seres de las dimensiones anteriores, pero en su mundo de Planilandia, a pesar de que sus habitantes son seres bidimensionales, sólo podían ver rectas y puntos, es decir, lo que podían percibir a su alrededor son objetos de una sola dimensión. De igual manera en Linealandia, el mundo de una dimensión, donde los habitantes eran segmentos de recta de diferentes tamaños, sólo les era posible ver puntos a su alrededor, es decir veían objetos sin dimensiones. Posteriormente, en la historia aparece el mundo de cero dimensiones, un mundo donde sólo el mismo punto es su todo, no conoce idea de la existencia de algún otro ser ni idea de dirección alguna, pues él lo es todo en su mundo.

Cuando Cuadrado estuvo en el mundo de 3 dimensiones pudo observar Planilandia como nunca lo había visto, es decir, lo observó en dos dimensiones. Es aquí donde podemos reflexionar acerca de la manera en que vemos el espacio de tres dimensiones. Análogamente a la historia, nosotros no vemos el mundo que nos rodea en tres dimensiones espaciales, sino que lo vemos en dos dimensiones espaciales. Si pudiéramos verlo en tres dimensiones podríamos ver el interior de las cosas, así como cuando Cuadrado observó Planilandia desde Espaciolandia.

- Si quieres saber más sobre lo visto en esta actividad observa el video “*Carl Sagan Terraplana y la cuarta dimensión*” en: <https://youtu.be/TqwtAFDKjE>

Actividad 5: Nuestra Percepción en el Mundo Tridimensional

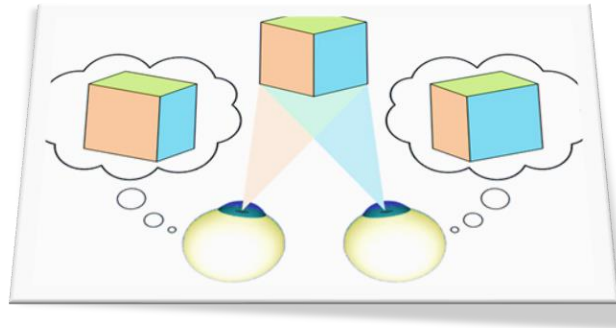
Propósito: Discutir acerca del espacio tridimensional en el que vivimos y la manera en que la percepción visual nos permite conducirnos a través de él.

Desarrollo:

Ahora surge la siguiente pregunta ¿cómo es posible esto si vemos los relieves, la profundidad y las distancias entre los objetos a nuestro alrededor? Nuestra vista dispone de visión binocular, lo cual nos permite tener visión estereoscópica, es

decir, la capacidad de percibir imágenes con profundidad dando la sensación de ver en tres dimensiones.

¿Cómo sucede esto? Cuando vemos una foto normal todos los objetos están sobre un mismo plano, la imagen es plana. Podemos asignarles una posición más adelantada o posterior en la imagen debido a los diferentes tamaños que tienen en la imagen, así como las partes menos enfocadas pueden ser asociadas con distintos planos en la imagen, pero no son imágenes en 3 dimensiones.



Cuando vemos con dos ojos disponemos de dos imágenes diferentes pues son vistas desde diferente ángulo. Es nuestro cerebro el que recibe la información visual obtenida por cada ojo desde diferentes puntos de vista, pero al final obtenemos una sola imagen.

Coloca tu dedo índice a unos 20 cm de tus ojos, cierra tu ojo izquierdo y mantén fija la mirada en tu dedo. Luego cierra el ojo derecho y abre el izquierdo, de igual manera manteniendo la mirada hacia tu dedo. Cierra y abre cada ojo de manera alternada. Te darás cuenta de que pareciera que tu dedo cambia de lugar, sin embargo, esto no es así, sino que esto se debe a que cuando observas solamente con el ojo derecho obtienes una imagen diferente a la imagen obtenida cuando observas el dedo con el ojo izquierdo.

Es el cerebro el que reconstruye la imagen que nos permite percibir la profundidad y la distancia de los objetos.

El estereoscopio es un instrumento óptico que fue inventado por Charles Wheatstone en 1838 como una de sus aportaciones en la investigación binocular. Inicialmente fue un arreglo de espejos y lentes mediante el cual, a partir de dos imágenes de un mismo objeto obtenida desde dos puntos de vista diferentes, es posible obtener una imagen con profundidad.



Estereoscopio de espejos



Estereoscopio de lentes

Para que puedas entender mejor este fenómeno puedes elaborar un estereoscopio con materiales sencillos.

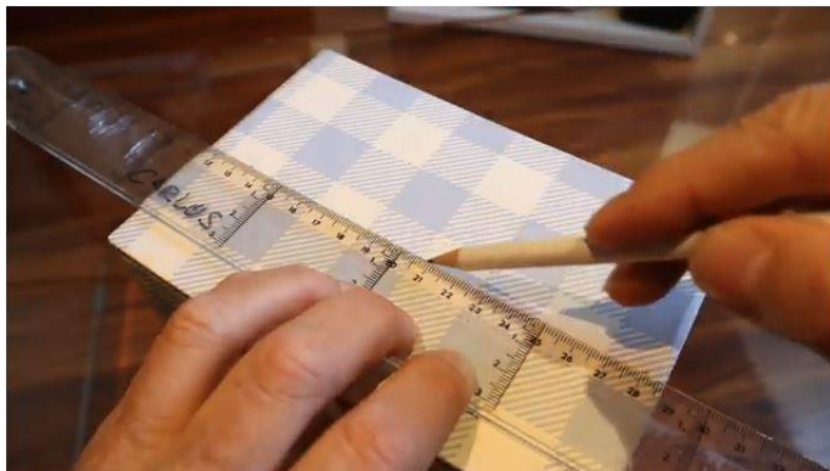
Estereoscopio casero

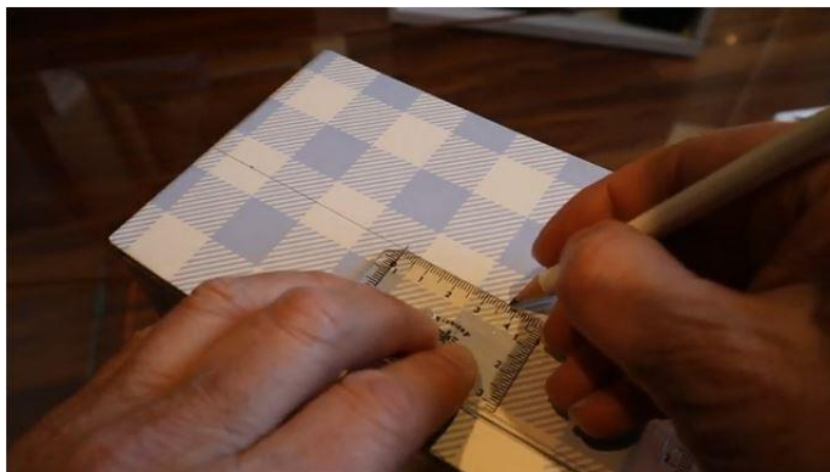
Materiales:

Lápiz
Tijeras
Compás
Pegamento
1 tornillo pequeño o chinche
Palo de madera de 1 – 2 cm de diámetro
Dos lupas de 5 cm de diámetro
Una caja de cartón donde quepa una fotografía de 10 x 15 cm
Fotos estereoscópicas de 10 × 15 cm que se encuentran al final de esta sección

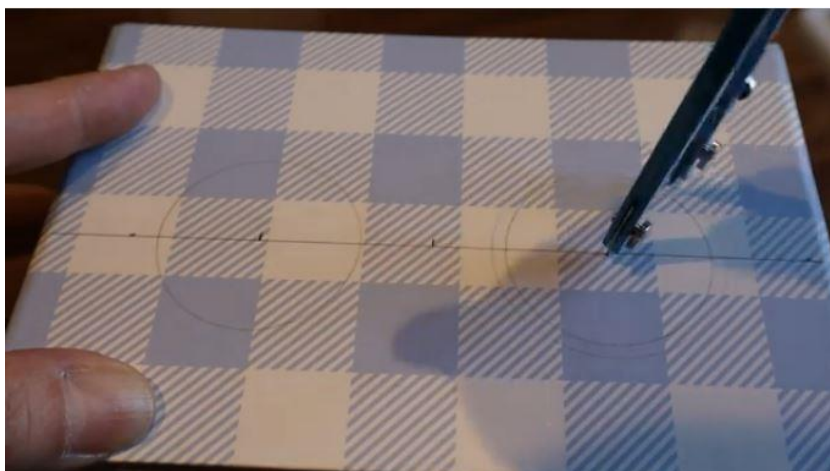
Procedimiento:

Como la foto que usaremos es de 15 cm de largo, debemos colocar los centros de las lupas a la misma altura que los centros de las imágenes estereoscópicas. En este caso los centros de las lentes deben estar separadas 7.5 cm. En uno de los extremos pequeños de la caja, a unos 5 cm de la base, dibujaremos una línea paralela a la base donde colocaremos los centros de las lentes. Para ello, marcamos el centro de la línea trazada y partir de esta marca medimos 3.75 cm sobre la línea donde marcaremos los centros de las lentes:





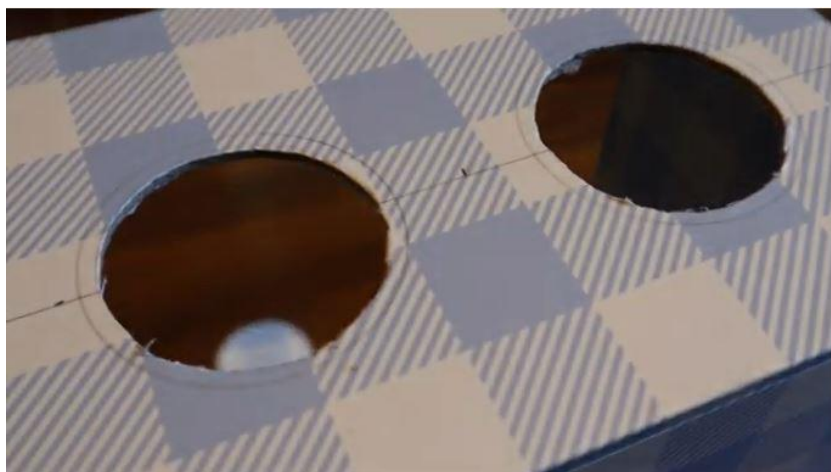
Una vez marcados los centros de las lentes, dibujaremos con ayuda del compás, circunferencias de 2.5 y 2.2 cm de radio como se muestra en la imagen. El espacio entre ambas circunferencias nos servirá para pegar las lentes más adelante:



En el extremo opuesto de la caja, a 5 cm de la base, nuevamente dibujaremos una línea paralela a la base sobre la cual marcaremos su centro. Sobre este centro marcaremos el contorno del palito de madera que usaremos como émbolo. Si te es posible, ayúdate con el compás para marcar la circunferencia de contorno:



Ahora, con mucho cuidado, pasaremos a cortar los círculos que marcamos en ambos extremos de la caja. Para el caso de las circunferencias destinadas a los lentes, cortaremos la circunferencia de menor tamaño:

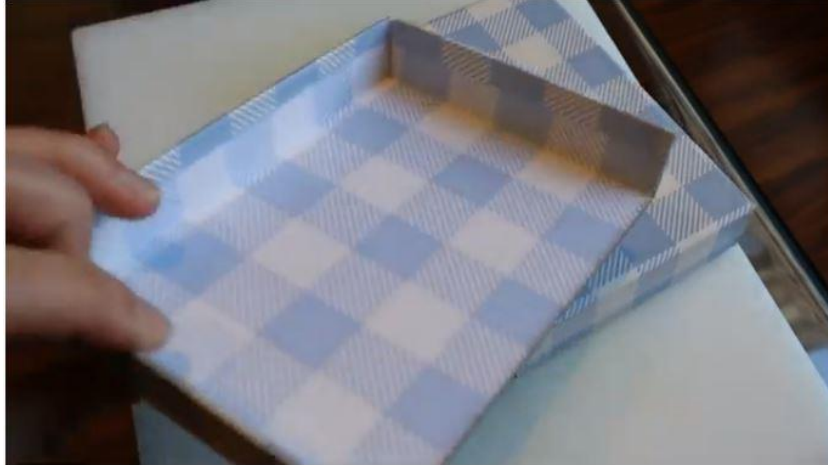




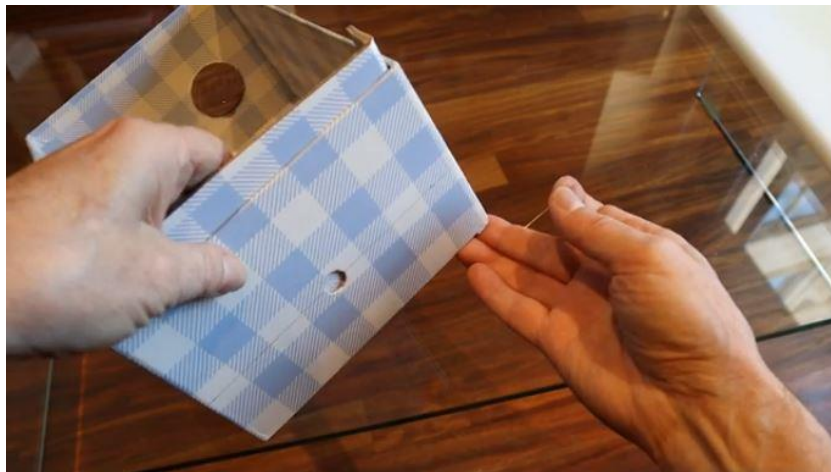
Cortaremos los mangos de las lupas, puedes ayudarte de una pequeña sierra y las pegaremos colocando pegamento en el espacio que quedó entre las circunferencias marcadas anteriormente dejando que sequen bien:



Ahora, podemos usar la tapa de una caja más pequeña u otro pedazo de cartón que quepa en la caja para formar un émbolo con el palito de madera:



Introducimos este pedazo de cartón en el extremo del hueco pequeño y con un alfiler, o con la punta metálica del compás, marcamos el centro del émbolo a través del hueco pequeño. Esta marca nos ayudará a atornillar el palito de madera al pedazo de cartón para formar un émbolo de enfoque:





Una vez hecho el émbolo, lo colocaremos dentro de la caja como se muestra en la imagen:



Ahora sí, ya tenemos nuestro estereoscopio casero. Para probarlo colocaremos una

imagen estereoscópica:



ii Ahora mira a través de las lentes (no tan cerca) y ayúdate del embolo para ajustar la imagen y verás los efectos de la visión estereoscópica!! Utiliza las siguientes imágenes para observar con tu estereoscopio.





- Puedes consultar el siguiente video para ver a detalle cómo se construye este estereoscopio: <https://www.youtube.com/watch?v=zT51OrJuECE>

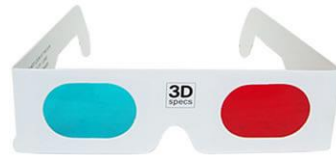
Actividad 6: ¿Cómo funciona el cine en 3D?

Propósito: Conocer una de las técnicas para la obtención de imágenes estereoscópicas y su aplicación en ámbitos de la vida cotidiana

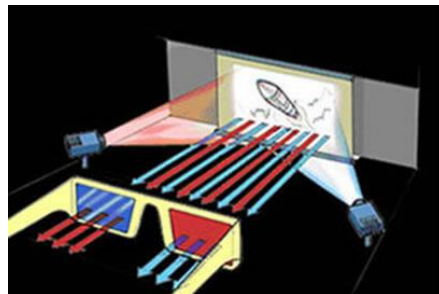
Desarrollo:

Una de las técnicas más conocidas para producir el efecto de imágenes estereoscópicas son los anaglifos. Los anaglifos son imágenes creadas o tomadas con filtros de distintos colores superpuestas en una sola imagen dando como resultado una imagen estereoscópica, es decir, dando una imagen con sensación de profundidad.

La industria del cine utiliza este método para proyectar las conocidas películas en 3D. No es que la película sea en 3 dimensiones, sino que, como lo mencionamos en la actividad anterior, es la visión estereoscópica la que nos da la percepción de profundidad a partir de dos imágenes bidimensionales.



En este caso, dicho efecto está dado por la técnica conocida como anaglifos, la cual consiste en crear una imagen estereoscópica mediante la superposición de imágenes de distintos colores, que al verlas con lentes especiales (lentes de color diferente para cada ojo) se percibe el efecto de profundidad.



Tú también puedes elaborar tus lentes 3D con materiales accesibles y ver este efecto.

Materiales:

Lápiz

Tijeras

1 hoja de material translúcido

2 plumones, uno rojo y otro azul

Pegamento

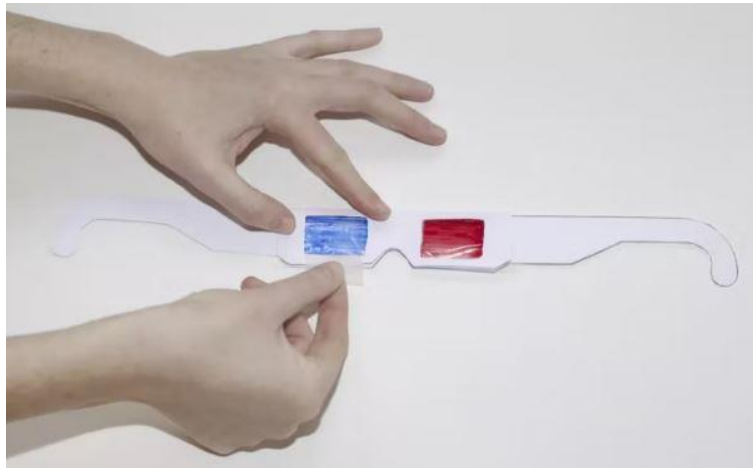
Procedimiento:

Recorta la silueta de los lentes incluyendo los orificios de la silueta.

Toma los recortes de los orificios y dibuja sus siluetas sobre el papel translúcido, pero que queden un poco más grandes que los orificios para que puedas agregar pegamento.

Recorta las siluetas y colorea uno de color azul y otro de color rojo.

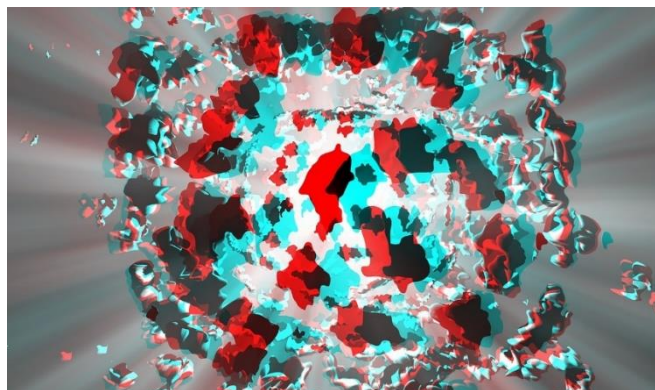
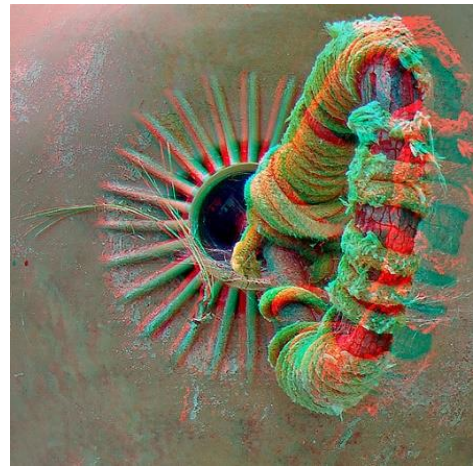
Coloca pegamento en los bordes de los orificios y pega los trozos de papel que coloreaste en cada orificio.

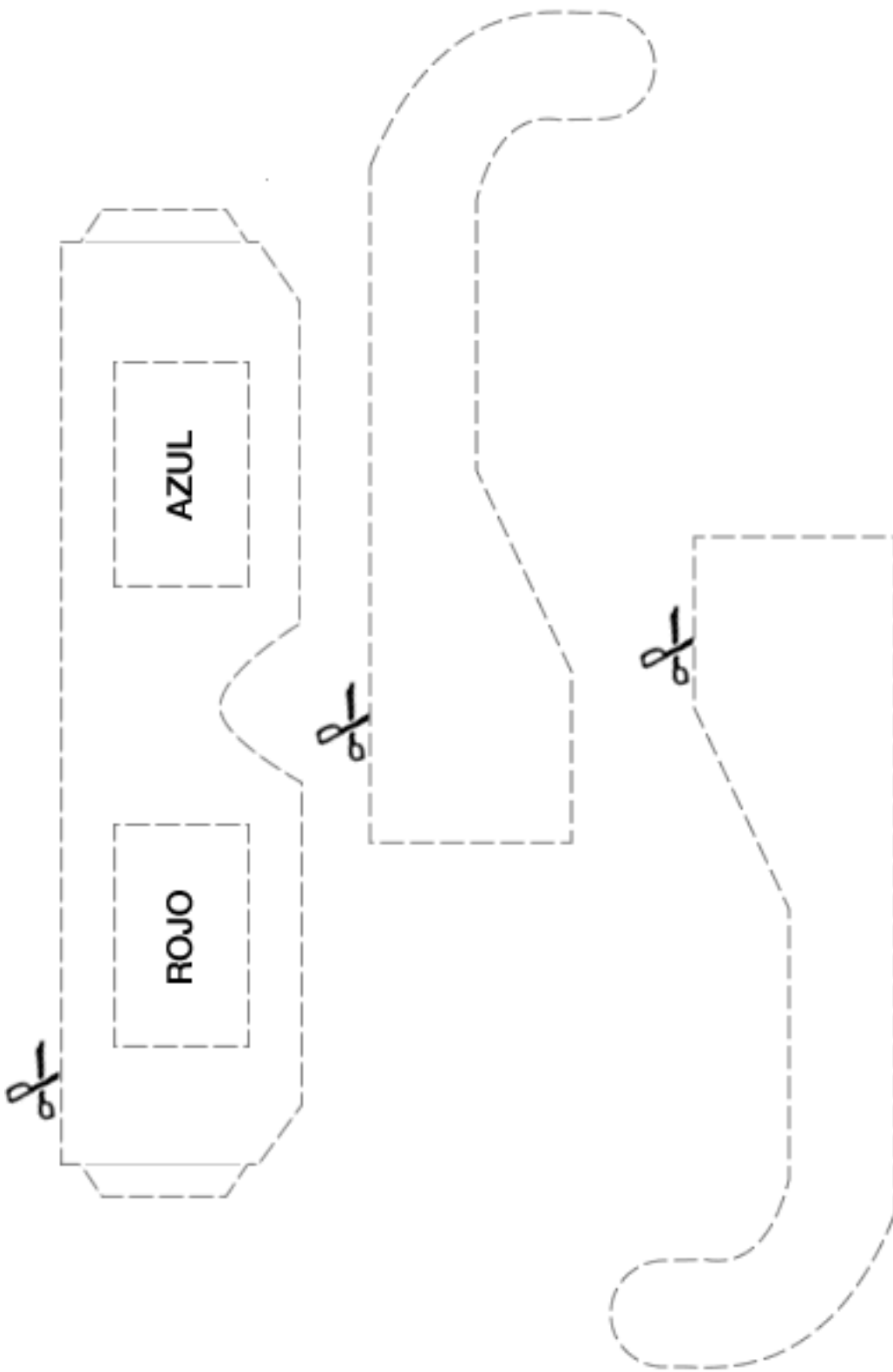


Puedes cambiar los materiales de acuerdo con lo que tengas disponible, por ejemplo, puedes utilizar una bolsa hermética para realizar los trozos de colores, también puedes utilizar el armazón de unos lentes que no utilices para hacer tus lentes.

- Puedes observar el video “¿Cómo funcionan las películas 3d?” para aprender más acerca de este fenómeno en: <https://youtu.be/8hP1w8OTVmg>

Utiliza las imágenes siguientes para ver el efecto que proporciona este método de visión estereoscópica:





Capítulo 5

Conclusiones

Este trabajo partió de la idea de realizar una serie de actividades para la enseñanza de la física a nivel secundaria desde un enfoque constructivista. Para ello consideré pertinente elaborar un marco conceptual que permitiera fundamentar cada una de ellas, su construcción consideró aspectos epistemológicos, aspectos fisiológicos que el constructivismo considera en su concepción de la realidad. Para el diseño de las actividades se tomaron en cuenta perspectivas constructivistas sobre la construcción del conocimiento (Vygotsky), así como los propósitos y los aprendizajes esperados de la asignatura de física de la escuela secundaria.

La construcción y el diseño de las actividades me permitió arribar a las siguientes conclusiones:

Se dio apertura a reflexionar acerca de la realidad no como algo que tenga que ser descubierto, sino como algo que es construido de manera individual y social, destacando en ello el papel del sistema nervioso central, así como algunos fenómenos físicos involucrados en esta construcción.

Este trabajo me lleva a destacar la importancia que tiene el cambio de perspectiva al considerar el propósito de la ciencia como el de interpretar los fenómenos del mundo y actuar sobre ellos, relacionándolos entre sí mediante modelos y teorías.

La realización de esta tesis me lleva a concebir a la física como un conjunto de modelos elaborados y validados socialmente que construyen o modelan el mundo y no lo reflejan tal como la cosmovisión realista sostiene.

La elaboración de las actividades me permitió conocer las nuevas concepciones epistemológicas que han venido influyendo en la educación a través de diversos planes de estudio, me permitió identificar que hay una concepción de

ciencia y de su enseñanza estrechamente relacionadas con la perspectiva constructivista. Pude encontrar, dentro de los planes de estudio, que estas concepciones de ciencia y enseñanza que se maneja actualmente ya no son como tradicionalmente se venían haciendo, sino que aquí subyace el considerar a la ciencia como una construcción humana.

Asimismo, la identificación de la concepción de aprendizaje que subyace al plan de estudios me permitió fortalecer la premisa de que el individuo es el constructor de su conocimiento siempre desde su contexto sociocultural. Esto da cabida a destacar la importancia de la interacción social en la construcción de conocimiento a través de la internalización de signos dados por la cultura. Después de un análisis epistemológico, hoy puedo concebir al aprendizaje como un proceso de construcción o reconstrucción de significados, donde el estudiante da forma y sentido a lo que le rodea.

La estructuración del marco conceptual me llevó a diseñar actividades de enseñanza a partir de estrategias que encaminen a los estudiantes del nivel secundaria a un acercamiento de la ciencia desde un enfoque constructivista, de manera específica en la enseñanza de la física. Estas actividades propuestas pueden ser utilizadas como material didáctico dentro del aula para que los estudiantes inicien su enseñanza en la física. Sin embargo, debido a que las actividades no fueron puestas en práctica en el desarrollo de esta tesis, no es posible afirmar su eficacia en el aprendizaje de la física. No obstante, dados los referentes epistemológicos que derivaron su diseño, es que resultaría prudente su aplicación, pues valga la redundancia, se espera que con la aplicación de ellas sea posible conducir a los estudiantes a una nueva concepción de la ciencia de manera que dichas actividades sirvan como camino para que se cuestionen la manera en cómo ven el mundo, que comprendan la importancia de construir conceptos, pero no como representaciones del mundo, sino como modelos de él.

Con la realización de este trabajo he podido llegar a considerar que el conocimiento no se transmite y el docente debe jugar el papel de mediador que ofrece ayudas pedagógicas ajustadas a las necesidades de los estudiantes para facilitarles el aprendizaje. Los educadores necesitan un buen proceso de formación para ejercer su papel de mediadores, es decir, es necesario que conozcan las bases epistemológicas implicadas en los procesos educativos como lo indican los planes de estudio, deben prepararse para promover en los estudiantes el gusto y el

esfuerzo por aprender ciencias, y a la vez, contribuir de manera significativa al desarrollo de sus capacidades.

Referencias

- [1] Elizondo, M. *Dificultades en el proceso enseñanza aprendizaje de la Física*. Presencia Universitaria, 3(5). pp 70-77, 2013.
- [2] De Guzmán, M. *Enseñanza de las Ciencias y la Matemática*. Revista Iberoamericana de Educación, 43, pp 19-58, 2007.
- [3] Díaz Quero V, Contreras A. *La Enseñanza de la Ciencia*. Laurus [Internet]. 13(25):114-145, 2007. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=76111479006>
- [4] Solbes J, Montserrat R, Furió C. *Desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza*. Didáctica de las ciencias experimentales y sociales. Num 21, pp 91-117, 2007.
- [5] Trujillo J.A. *Las reformas educativas en México: un recuento de las modificaciones constitucionales (1934-2013)*. En J.A. Trujillo Holguín, P. Rubio Molina, y J.L. García Leos, Desarrollo profesional docente: las competencias en el marco de la reforma educativa (pp. 77-92). Chihuahua, México: Escuela Normal Superior Profr. José E. Medrano R., Chihuahua, 2015.
- [6] Ruiz, G. *La Reforma Integral de la Educación Básica en México (RIEB) en la educación primaria: desafíos para la formación docente*. Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado [Internet]. 2012;15(1):51-60. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=217024398004>
- [7] Ramírez R, Torres C. *Modelo educativo 2017. Implicaciones para la reforma en marcha*. Temas Estratégicos No. 43. Instituto Belisario Domínguez, Senado de la República, México, 2017.
- [8] Bravo C. *La Nueva Escuela Mexicana: principios y orientaciones pedagógicas*. México: Secretaría de Educación Pública, 2020.
- [9] *Modelo Educativo para la Educación Obligatoria. Educar para la libertad y la Creatividad*. Ciudad de México: Secretaría de Educación Pública, 2017.

- [10] *Aprendizajes clave para la educación integral. Planes y programas de estudio para la educación básica.* Ciudad de México: Secretaría de Educación Pública, 2017.
- [11] Pozo J, Gómez M. *Aprender y Enseñar Ciencia: Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico.* 6^a ed. Madrid, España: Morata, 2009.
- [12] Krieg P y Watzlawick P. *El Ojo del Observador: contribuciones al constructivismo Homenaje a Heinz von Foerster.* 2a ed. Barcelona, España: Elsevier, 1995.
- [13] Pakman M. *Construcciones de la Experiencia Humana.* Barcelona, España: Gedisa, 1996.
- [14] Abbott E. *Planilandia: una novela de muchas dimensiones.* Barcelona, España: Torre de Viento, 1999.
- [15] Watzlawick P. *La Realidad Inventada: ¿Cómo sabemos lo que creemos saber?* 3^a ed. Barcelona España: Gedisa, 1994.
- [16] *Aprendizajes clave para la educación integral. Planes y programas de estudio para la educación básica. Ciencias y tecnología.* Educación Secundaria. Ciudad de México: Secretaría de educación Pública. 2017.
- [17] Ramírez, Augusto V. *La teoría del conocimiento en investigación científica: una visión actual.* Anales de la Facultad de Medicina [Internet]. 2009;70(3):217-224. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37912410011>
- [18] Sanmartí N. *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria.* Madrid, España: Editorial Síntesis, 2002
- [19] Rosas R, Sebastián C. *Piaget, Vigotski y Maturana: Constructivismo a tres voces.* Buenos Aires: Aique Grupo Editor, 2008.
- [20] Pozo J.I. *Teorías cognitivas del aprendizaje.* 9^a ed. Madrid, España: Ediciones Morata, 2006.
- [21] Mazzarella C, Carrera Beatriz. *Vygotsky: enfoque sociocultural.* Educere [Internet]. 2001;5(13):41-44 Recuperado de

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=35601309>

[22] Coloma C.R. y Tafur R. *El constructivismo y sus implicaciones en la educación*. Revista Educación. Pontificia Universidad Católica del Perú, 1999.

[23] Maturana H, Varela F. El árbol del conocimiento. *Las bases biológicas del entendimiento humano*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, 1984.

[24] Pons, A.M. Martínez, F.M. *Fundamentos de visión binocular*. Valencia, España: Universitat de València. Servei de Publicacions, 2004.

[25] Barret K, Barman S, Boitano S, Brooks H. *Ganong Fisiología Médica*. 23ª ed. México: McGraw-Hill, 2010.

[26] Guyton A.C. y Hall J.E. *Guyton y Hall: Tratado de fisiología médica*. 13ª ed. Madrid, España: Elsevier, 2016.

[27] Saladin K.S. *Anatomía y Fisiología: la unidad entre forma y función*. 6ª ed. México D.F. McGraw-Hill, 2013.

[28] Halliday D, Resnick R. *Fundamentos de Física*. 8ª ed. Vol 1. México: Patria; 2005.

[29] Howard, I.P. Rogers, B.J. *Binocular Vision and Stereopsis*. Oxford University Press, 1995.

[30] Puell M.C. *Óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular*. Editorial Complutense, 2000.

[31] Juárez A, Juárez J, Juárez E. *Aprendiendo física para inventar un mundo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), 2006.

[32] Monereo C, Castelló M, Clariana M, Palma M, Pérez M.L. *Estrategias de enseñanza y aprendizaje*. Barcelona, España: Graó-Colofón, 2007.