



Construcción de una unidad didáctica para la enseñanza de los conceptos y términos más usados en nanociencia a través de la indagación y la investigación

Oswaldo Rubiano Ávila

Universidad Nacional de Colombia
Facultad De Ciencias
Maestría en la Enseñanza de las Ciencias Exactas y
Naturales
Bogotá, Colombia
2013

Construcción de una unidad didáctica para la enseñanza de los conceptos y términos más usados en nanociencia a través de la indagación y la investigación

Oswaldo Rubiano Ávila

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Director
Dr. José Jairo Giraldo Gallo
Profesor titular, Facultad de Ciencias

Universidad Nacional de Colombia
Facultad De Ciencias
Maestría en la Enseñanza de las Ciencias Exactas y
Naturales
Bogotá, Colombia
2013

Nota de aceptación

Firma del director, José Jairo Giraldo Gallo

Firma del evaluador

Bogotá D.C, Junio 2013

DEDICATORIA

A todos aquellos que han aportado en mi formación como maestro, como ser humano; mi familia, quienes siempre han estado dispuestos a colaborar y ofrecer el calor que se siente en mi hogar.

A mi hijo Nicolás, una de las razones de vivir.

A mis verdaderos amigos, que siguen presentes a pesar de las adversidades, que estrechan el abrazo sincero, comparten locuras, sueños y producen momentos de felicidad.

“[l]a grandeza de la ciencia está en que puede comprender sin necesidad de intuir, la grandeza del arte está en que puede intuir sin necesidad de comprender.”

Jorge Wagensberg

Agradecimientos

Al gran maestro Jairo Giraldo, quien despertó el interés por un mundo diminuto y desconocido, quien demuestra con cada acto el compromiso y la integralidad de los verdaderos maestros, por estar siempre dispuesto a colaborar incondicionalmente, por su sabiduría y disposición.

A los incondicionales y siempre dispuestos a aportar en el crecimiento académico y humano, LOS NATUAMIGOS... por todo lo compartido y lo que falta por compartir.

Resumen

El presente trabajo orienta el diseño de una Unidad Didáctica dirigida a los docentes, para ser aplicada a estudiantes de educación media, en la enseñanza de conceptos y términos relacionados con la Nanociencia, a través de la propuesta metodológica Enseñanza de las Ciencias Basada en Indagación e Investigación (ECBI). Primero se realiza un recorrido por las características pedagógicas y didácticas que permiten el aprendizaje desde la experiencia, en lo que radica principalmente la Unidad Didáctica; se propone transformar el esquema de la enseñanza tradicional de las ciencias a un nuevo enfoque desde el aprendizaje participativo y cooperativo. Luego se presentan algunas generalidades acerca de la composición de la materia desde una perspectiva más moderna en relación con los conceptos fundamentales. Posteriormente se aborda el tema del comportamiento cuántico de la materia y su relación con la nanociencia. Finalmente se hace un recuento sobre el desarrollo de la Nanociencia, su proceso de conceptualización, así como algunos términos relacionados con su aplicación. La Unidad Didáctica denominada **VIAJE AL INTERIOR DE LOS OBJETOS: el fantástico mundo de lo diminuto. ¿Cómo funcionan las pequeñas cosas en su interior?** Se presenta en un capítulo donde están las actividades propuestas, las cuales deben seguirse sistemática y constructivamente para motivar a estudiantes de enseñanza básica secundaria y media, en torno a la nanociencia.

Palabras clave: nanoescala y enseñanza, nanociencia, nanotecnología, nanoestructuras, fullerenos, estructura de la materia, método de indagación,

Abstract

This document guides the design of a didactic unit addressed to teachers to be applied to high school students, on teaching the concepts and terminology related to Nanoscience through the methodological proposal “Science Teaching Based on Inquiring and Research (STIR). Firstly, a trip through the pedagogical and didactic characteristics is carried out, enabling the learning from the experience, which is the basis of the Didactic Unit; it is the purpose to transform the scheme of the traditional teaching of science for a new approach based on the participative and cooperative learning. Secondly, some general aspects related to the fundamental concepts regarding matter composition from a more recent perspective are presented. Thereafter the topic of quantum behavior of matter and its relationship to nanoscience is addressed. Finally a summary on the development of Nanoscience, its conceptualization process and the terminology in use is presented. The didactic unit named **Travel to the interior of objects: the fantastic world of the tiny objects. How do small things work inside?** included in a final chapter contains practical activities which should be followed systematically and constructively to engage the secondary and middle school students on these topics.

Keywords: nanoscale and teaching, nanoscience, nanotechnology, nanostructures, fullerenes, matter structure, Inquiry method.

Contenido

1. GENERALIDADES	9
1.1 JUSTIFICACIÓN	9
1.2 Planteamiento del problema	13
1.3 Objetivos	14
1.3.1 Objetivo general.....	14
1.3.2 Objetivos específicos	14
2. Componente pedagógico.....	15
2.1 ENSEÑANZA DE LA CIENCIA BASADA EN INDAGACIÓN ECBI	15
2.1.1 La enseñanza por indagación.....	15
2.1.2 El marco de referencia de la metodología ECBI.....	16
2.1.3 PRINCIPIOS DE LA ECBI	18
2.1.4 CONSIDERACIONES PEDAGÓGICAS DE LA PROPUESTA ECBI.....	20
2.1.5 EL PROCESO DE EVALUACIÓN DE LA ECBI	21
2.1.6 PROPUESTA DE LA ECBI DE UNIDAD CIENTÍFICA DE APRENDIZAJE. ...	22
3. MATERIA Y MATERIALES.....	24
3.1 CONCEPTOS GENERALES	24
3.1.1 La materia.....	24
3.1.2 El Átomo.....	27
3.1.3 La molécula	29
3.1.4 OTROS CONCEPTOS RELACIONADOS CON LA MATERIA.	29
3.2 El paradigma de la escala.	30
3.3 Los nanomateriales	32
3.4 Comportamiento cuántico de la materia	38
3.4.1 Modelo Atómico Refinado.....	38
3.4.2 Extraño comportamiento de partículas.....	41
3.4.3 Introducción al mundo cuántico	42
3.4.4 Un experimento con electrones	46
3.4.5 Observando las partículas	48
3.5 Comportamiento dual de la materia y principio de incertidumbre.....	50
3.5.1 Función de onda, dualidad y principio de complementariedad.....	51
3.6 Principio de Incertidumbre y Tunelamiento Cuántico.....	54
4. NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA.....	57
4.1 Feynman y las primeras ideas sobre el comportamiento de la materia a escala mesoscópica.....	57
4.2 El origen y expansión de la revolución nano-escalar	58
4.3 ¿Qué es lo grande en lo pequeño?	60
4.4 Desarrollo histórico y evolutivo del nanomundo.....	61

4.5	Instrumentos para observar y manipular	66
4.5.1	El microscopio electrónico de transmisión	66
4.5.2	El microscopio Electrónico de Barrido (SEM, pos sus siglas en inglés)	67
4.5.3	Microscopio de efecto túnel (Scanning Tunnelling Microscope, STM).....	68
5.	Metodología	70
5.1	Desarrollo de la investigación.....	70
5.2	Etapas de la investigación.....	71
6.	Unidad didáctica.....	73
6.1	INTRODUCCIÓN.	73
6.2	ESTRUCTURA DE LAS UNIDADES DE APRENDIZAJE.....	75
6.3	RELACIÓN CON LOS ESTÁNDARES DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL (MEN)	76
6.4	SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN CONCEPTUAL	78
6.5	NORMAS DE SEGURIDAD	79
6.6	EVALUACIÓN INTRODUCTORIA.....	79
6.7	CRITERIOS GENERALES DE VALORACIÓN.	80
6.8	SECUENCIA 1: ¿DE QUÉ ESTÁN HECHOS LOS OBJETOS?	81
6.9	SECUENCIA 2: UN MUNDO A ESCALA.....	88
6.10	SECUENCIA No 3: ACERCÁNDONOS AL CONCEPTO DE NANÓMETRO..	97
6.11	SECUENCIA No 4 El nano mundo que nos rodea.....	102
6.12	SECUENCIA 5: TRABAJANDO CON ESTRUCTURAS NANO.	106
6.13	SECUENCIA 6: UN CABELLO ALGO MUY GRANDE Y ALGUNAS NANO ESTRUCTURAS.....	112
6.14	SECUENCIA 7 MICROSCOPIOS MUY POTENTES.....	120
7.	Conclusiones y recomendaciones.....	125
7.1	Conclusiones.....	125
7.2	Recomendaciones.....	127
	Referencias.....	128

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1: Un marco para la investigación científica [2,1].....	7
Figura 2: Clasificación de las partículas [3,1].....	25
Figura 3. Esquema de los cambios de estado [3,1]	27
Figura 4. Estructura del grafito[3,3].....	38
Figura 5. Modelo de Bohr de orbitales para el átomo de hidrogeno [4,1].....	41
Figura 6. Experimento de la doble rendija[4,1].....	42
Figura 7. Reproducción del experimento con balas[3,2].....	43
Figura 8. Esquematización del experimento con balas [4,1].....	44
Figura 9. Esquema del experimento con ondas en cubilete de agua[4,1].....	45
Figura 10. Ondas de agua de forma circular[4,1].....	45
Figura 11. Resultados típicos del experimento de Young[4,1].....	46
Figura 12. Experimento con electrones[4,1].....	47
Figura 13. Ilustración de lo que ocurriría con los electrones al ser detectados por una pared [4,1].....	47
Figura 14. Observando (espiando) el paso de los electrones[4,1].....	49
Figura 15. Esquema de la difracción de rayos X por un enrejado cristalino [4,1].....	52
Figura 16. Patrón de difracción de electrones y rayos X [4,1].....	53
Figura 17. Experiencia de Jönssen [4,1].....	54
Figura 18. Esquema del efecto tunel[4,2].....	55
Figura 19. Imagen realizada con microscopia electrónica de barrido[5,4].....	67
Figura 20. Esquema del funcionamiento de un microscopio de fuerza atómica [4,1].	69

Introducción

La nanotecnociencia, término que recoge los dos aspectos, la ciencia básica que le da sustento y la(s) tecnología(s) que la hacen posible, está dando lugar a una gran revolución tecnocientífica, quizá la más grande que haya ocurrido en la historia de la humanidad. Cuando se habla de las tecnologías convergentes, se utiliza el acrónimo **nbic**, el primero de ellos para referirse a lo *nano*, los otros tres respectivamente a *bio*, *info* y *cogno*; no entraremos en detalles en este asunto, solo queremos destacar la importancia del primer término. Al último haremos alusión tangencialmente en el capítulo quinto.

A pesar de lo anterior, hasta donde tenemos noticiase han realizado muy pocos intentos en Colombia para acercar la nanotecnociencia al grueso público. El problema es más agudo si se tiene en cuenta que la formación en los conceptos que se requieren para entender así sea cualitativamente lo que ocurre es muy pobre. Este es un modesto esfuerzo, no tanto para la difusión de las conquistas como en la dirección de la formación inicial dentro del tema; el propósito es motivar con él a muchos docentes que tienen la responsabilidad de marcar el derrotero a seguir para que Colombia ingrese de lleno a la **Sociedad del Conocimiento**, una especie de odisea que seguramente tendrá que esperar a una nueva generación de colombianos. Creemos que la nanotecnología puede ser uno de los caminos al desarrollo, mas no por las razones que usualmente se esgrimen. Por ello queremos dejar claras también las diferencias que nos separan del enfoque tradicional sobre este tema.

El desarrollo de la tecnociencia es particularmente dinámico, mucho más que el de las políticas públicas, de ahí los desfases que se observan entre uno y otra. En lo que va corrido de la presente década hemos aprendido más sobre el cerebro que en toda la década anterior, y en esta última mucho más que la que le precedió a fines del pasado siglo, denominada con exageración «Década del Cerebro». Para ser más precisos, quizá sea la actual la que merezca tal calificativo. De ser así, en gran medida se debe a los avances en la nanociencia, como veremos sucintamente más adelante.

Algo similar podría decirse sobre las aplicaciones tecnológicas en nuevos materiales, aunque el avance de décadas anteriores en el terreno científico haya sido descomunal. Por ejemplo, en la nanoescala hemos empezado a aplicar lo que se descubrió a comienzos del siglo pasado, con una característica no menos relevante: que el mundo atómico y el que le sigue en la escala hacia arriba, el nanométrico, tienen propiedades que no se rigen por lo que habíamos aprendido de la ciencia clásica. La fenomenología cuántica no solo puede apreciarse y aprovecharse hacia abajo (*top-down*), en el mundo de las partículas elementales, sino también hacia arriba (*bottom-up*), en el agrupamiento de muchos átomos y moléculas.

Gracias a la moderna teoría atómica de la materia surgió la nanotecnología, como usualmente se denomina el conjunto del desarrollo científico y tecnológico nanoescalar en el

nuevo campo de materiales. Quizá el turno ahora es para la biología molecular y la neurobiología en escala comparable. Indicios de ello es que ya existen algunos textos sobre bionanotecnología y nanoneurociencias. (Goodshell, 2004; Woolf, 2009.) Si se quiere ver de otro modo, de la misma manera que hay una física del nanomundo hay una química y una bioquímica a esa escala, y hasta cierto punto una nanobiología. Así, pues, las ciencias del nanomundo no estarán ausentes en estas dos revoluciones de la biología que se avecinan, por el contrario lesservirán de sustento. (Lindsay, 2010.)

Antes de seguir adelante, es oportuno señalar que hoy suele presentarse la ciencia como una colección de compartimentos estancos. Pero no ha sido siempre así. En la antigüedad y en la edad media la ciencia, el arte y la filosofía estuvieron estrechamente entrelazados, y puede afirmarse que las aplicaciones seguían el mismo derrotero. Con el surgimiento de la ciencia moderna, vino también la separación entre los fenómenos que se consideraban del dominio de lo inanimado o materia sin movimiento propio, enmarcados principalmente en la física, y del dominio vivo, acuñándose el término biología para designarlo. La medicina tradicional, una mezcla de ciencia y brujería, tiene su propia historia. Por extraña coincidencia, en 1802 Lamarck en Francia y Trevinarus en Alemania utilizaron el mismo término, el primero en su *Tratado de hidrología*, el segundo en una extensa obra titulada *Biología o filosofía de la naturaleza viva*, para designar el dominio de lo vivo como un campo científico, la biología. Téngase en cuenta que hasta entonces la física era denominada *Filosofía de la naturaleza*. En tal orden de ideas, para esa época la descripción acertada habría sido *Filosofía de la naturaleza muerta*.

En Occidente durante la Edad Media todo el conocimiento, incluido el científico, estaba supeditado a la Teología. Pero el estudio de sistemas específicos dio lugar desde hace milenios a otras ciencias y pseudociencias como la geología y la astrología, mientras que la química, cuyo nombre se origina en el término árabe *keme*, que significa tierra, tiene una larga historia que comienza con la alquimia.

Si fuera nuestro interés hacer una conexión histórica entre los distintos campos que acabamos de mencionar, nos embarcaríamos en un apasionante relato que a lo mejor no se ha escrito todavía: lo *nano* da para eso. Aunque la integración en el aprendizaje de las ciencias es uno de los hilos conductores en el presente trabajo, la perspectiva histórica no lo es, así que dejamos de lado el tema para enfocarnos en lo que realmente es nuestro propósito: abrir el mundo nanoscópico al estudiante de enseñanza básica secundaria y media vocacional, y hacerlo sin recurrir a la descripción matemática. Para lograrlo, hay que empezar por proporcionar también al maestro y la maestra de ciencias naturales unas herramientas básicas conceptuales mínimas, con las cuales seguramente no fue formado. ¿Tiene ese docente una idea clara de la escala nanométrica? Es posible que en muchos casos no la tenga siquiera sobre el átomo. ¿La tiene de la escala cósmica? Seguramente en contados casos.

Para el presente siglo, el punto de vista integrador, practicado tempranamente por los griegos en forma especulativa, empieza a recuperarse con base en un fundamento más científico, la moderna teoría atómica de la materia a la que ya hemos hecho referencia. Esta dista enormemente del modelo atómico de los químicos en los albores del siglo XIX y mucho más de la antigua hipótesis atómica de los griegos, esbozada por Leucipo y Demócrito, quienes explicaban la formación del universo por una combinación de átomos (partículas de materia sin división), “elementos corpóreos infinitamente pequeños, diferentes en figura y agitados en torbellino” (Balmes, 2007) (Ramirez, 2012) “¡Solo los átomos y el vacío son reales!”, afirmaban. Sostuvieron que la luz y los átomos están estrechamente conectados. Para ellos, la luz sería un flujo de partículas extremadamente diminutas.

Ahora sabemos que la materia usual tiene una configuración común en los fenómenos físicos, químicos y biológicos, atómica en sus ingredientes fundamentales, mas no en los elementales porque el átomo ya no es indivisible, y aunque parezca extraño, compartida también con la astronomía, la ciencia más antigua. Esta, en un comienzo inseparable de la astrología, describió hasta hace un siglo un universo estático; en su formulación evolutiva actual, la astronomía enfatiza el dinamismo espectacular que la caracteriza con un término más moderno, astrofísica, mientras que se abre a la especulación, propia del método racional, con el nombre de cosmología, más amplio y antiguo, estudio del universo en su totalidad. Gracias a ese vertiginoso desarrollo, hoy asistimos a una extraña simbiosis entre el denominado mundo de las partículas elementales y los ambiciosos modelos del universo. Es por eso que en la máquina más costosa del planeta (la del CERN) se recrean las propiedades de la materia primigenia.

Dejando de lado estas últimas disciplinas, a saber, la física de los constituyentes elementales de la materia, y la ciencia de lo más grande, llámese astronomía, astrofísica o cosmología, exploración de un universo todavía por descubrir, pues conocemos apenas un 5 % de lo que está compuesto, puede afirmarse que la **nanociencia**, término que usaremos recurrentemente a lo largo de este documento, explora otro universo que nos trae enormes perspectivas de avance en todas las disciplinas y en todas las áreas. (Giraldo *et al.*, 2007; (Giraldo , 2009) Digamos, para empezar, que la nanociencia es el encuentro de la física, la química y la biología, en el punto de intersección en que tenían que encontrarse: el **nanomundo** o mundo conformado básicamente por estructuras desde cientos y miles hasta trillones y más de átomos y moléculas.

Como habrá podido advertir el lector, por razones de mercado el primer término que tuvo gran repercusión en los medios fue **nanotecnología**, el encuentro de varias tecnologías en el dominio de la **nanoescala**. Pero a diferencia de esta, aún en pañales a pesar de los formidables avances, pues surgió prácticamente en el últimocuarto de siglo, puede afirmarse que la **nanociencia** empezó en los albores del siglo XX. Si bien es cierto que los efectos de incluir **nanopartículas** en algunas materiales se han ensayado empíricamente para mejorar la dureza y las propiedades ópticas, entre otras, desde tiempos inmemoriales, el control a

nivel atómico y molecular es muy reciente. Aunque Richard Feynman ingeniosamente había avizorado desde hace poco más de medio siglo mucho de lo que podría lograrse en la nanoescala sin nombrarla (1959), lo que se ha obtenido con base en sus predicciones es relativamente modesto. (Lindsay, 2010.) En algunos casos, las cosas han ocurrido de manera distinta a como supuso Feynman.

Adrede hemos evadido precisar atrás la definición de términos relacionados con lo **nano**. Se tiende a creer, y así lo destacan en muchos textos, que la nanoescala es la región de lo diminuto. Sin embargo debe tenerse en cuenta que lo grande o lo pequeño es relativo, mientras que la nanoescala se refiere a una región muy precisa en una o varias de las dimensiones espaciales. Por ahora señalemos que la notación introducida desde cuando se impuso el sistema métrico decimal, nos lleva a definir el nanómetro como la milmillonésima de metro, o para decirlo en forma peyorativa, la milésima de la milésima de la milésima de metro, en notación científica, 10^{-9} m.

Para visualizar lo que es un nm mediante un ejemplo sencillo, téngase presente que un cabello humano puede tener un diámetro, en promedio, de 80 miles de veces esa unidad de medida; hay una manera relativamente sencilla de estimarlo con precisión en cada caso particular a partir de un experimento de difracción de la luz que bien vale la pena montar en el aula de clase, como se propone más adelante. (Ciencia Popular.com) Todos estaríamos de acuerdo en que, si se le compara con su longitud, el grosor o diámetro del cabello de una cabellera no muy especial es muy pequeño. Piénsese por ejemplo en la cabellera de una dama o de un joven postmodernista: su longitud no sobrepase unos pocos decímetros. La relación diámetro sobre longitud para este caso puede ser del orden de una milésima. Por otra parte, el grosor de una molécula de ADN, el popular ácido desoxirribonucleico, es apenas de 2.4 nm, mientras que su longitud puede ser de varios metros y hasta kilómetros. La relación diámetro sobre longitud para este caso puede ser de una billonésima. ¿Es más pequeño o más grande el ADN? Depende a cuál de las dimensiones nos estemos refiriendo. Este tipo de situaciones nos servirán para ilustrar, con sencillos experimentos, lo que implica el cambio de escala. Un trabajo pedagógico como el presente no puede evadir esas situaciones que usualmente causan confusión aun entre los docentes, mucho más en sus discípulos.

Téngase en cuenta que lo diminuto no puede reducirse a las dimensiones espaciales. Cuando decimos que un terahertz es la velocidad de procesamiento de la información en un dispositivo electrónico, nos estamos refiriendo a períodos de picosegundos, 10^{-12} s, nada espectacular en la era de la informática actual. Períodos de tiempo más cortos aparecen involucrados en reacciones químicas usuales. Así como se habla hoy de la nanoescala en lo referente a longitudes, región evidentemente mayor que la escala atómica si se tiene en cuenta que el átomo de hidrógeno en su estado base se extiende en una zona esférica de aproximadamente 0.05 nm, hablamos de la femtoquímica para expresar la velocidad de las reacciones químicas frecuentes a escala molecular. Un femtómetro (10^{-15} m) es una longitud

exageradamente pequeña para nuestra escala de longitud habitual, y coincide con el tamaño usual de los núcleos atómicos, imposible de medir por métodos convencionales. Un electrón tendría un diámetro de 10^{-28} m, algo imposible de estimar con precisión por ahora. Hasta hace poco estábamos imposibilitados para medir también un femtosegundo; en notación científica, $1 \text{ fs} = 10^{-15}$ s. Hoy la espectroscopía ultrarrápida, usual en los laboratorios avanzados, nos permite medir tiempos menores. Gracias a ella, hoy sabemos más sobre un proceso asociado a la vida misma: la fotosíntesis, un fenómeno en gran medida cuántico, como recientes experimentos sugieren. (Olaya-Castro *et al*, 2012.)

No queremos dejar pasar la oportunidad para mencionar que los átomos y la luz están estrechamente relacionados, como lo intuyeran y expresaran los pensadores jónicos hace 2,500 años. Planck introdujo el término *quantum* de energía, para referirse a una mínima cantidad de energía que podría ser absorbida o emitida por la materia, en su estudio de la denominada *radiación de cuerpo negro*. Einstein fue más allá, al precisar que esos *quanta* estaban en la radiación misma, en forma de *granos de luz*. Recuérdese lo que decía la escuela de Leucipo sobre la luz. Todo en el universo es, pues, corpuscular: existirían paquetitos indivisibles de materia y de energía. Pero téngase en cuenta que materia y energía son equivalentes. Veremos que, como lo señala precisamente esa teoría que surgió de las hipótesis de cuantización de Planck, Einstein, Bohr y posteriormente otros, cada uno de esos corpúsculos y de sus agregados se puede describir mediante una «Ecuación de Onda», la cual lleva el nombre de su *diseñador*, Erwin Schrödinger. Escribirla siquiera está fuera de toda consideración para un trabajo pedagógico dirigido a estudiantes de la secundaria.

Referirnos a la fotosíntesis nos lleva directamente a la propuesta de Einstein de considerar a la luz como un conjunto de esos pequeños granos de energía, hoy denominados fotones. Esa hipótesis, propuesta en 1905, supuestamente para explicar el efecto fotoeléctrico, lo que no fue más que un corolario, hipótesis que paradójicamente no fuera aceptada por Planck, a pesar de que fue este último el pionero, sin saberlo, de la física cuántica, dio lugar 8 años después a la primera propuesta moderna de modelo atómico, la de los saltos cuánticos, elaborada por Bohr en 1913. Son, pues, 100 años de desarrollo de la teoría física más poderosa en la explicación del mundo microscópico, ignorada *olímpicamente* en nuestro medio cuando se enseña ciencias, incluso a nivel universitario. Creemos firmemente que esa falencia habrá que enmendarla, lo que examinaremos más ampliamente en la justificación de este ensayo.

El presente trabajo se propone disminuir la distancia que separa la enseñanza o el aprendizaje de las ciencias en nuestras escuelas de lo que debería ser, si miramos el entorno tecnocientífico en que se desenvuelve la vida moderna y si comparamos con los países avanzados. Si no se hace algo al respecto en países atrasados como el nuestro, la brecha tecnológica será cada vez mayor y por ende las posibilidades de competencia y de desarrollo científico estarán cada vez más alejadas.

La unidad didáctica “**VIAJE AL INTERIOR DE LOS OBJETOS: el fantástico mundo de lo diminuto. ¿Cómo funcionan las pequeñas cosas en su interior?**”, es un aporte para maestras y maestros en la preparación de los estudiantes del presente para un futuro muy cercano que está exigiendo del ciudadano un buen nivel de conocimientos, además de competencias científicas y tecnológicas, para comprender temas relacionados con el medio ambiente, la salud, la vida misma, la sociedad, la economía y la cultura, entre otras, con las que tenemos que interactuar en el diario vivir.

El término Nano, está en auge, es uno de los principales temas de debate y construcción en los centros de investigación de ciencia y tecnología, abundando su uso en diferentes campos industriales, la medicina, el agro, la comunicación, el transporte, los cosméticos y muchos más, pero en la educación secundaria es un tema muy alejado de la realidad. Intentos como el que aquí se presenta buscando disponer de una herramienta metodológica que permita al estudiante y al maestro realizar procesos de aprendizaje significativo, para identificar y comprender el funcionamiento en el interior mismo de la materia; la intención o propósito del presente trabajo es lograr que los estudiantes de cualquier colegio, a bajo costo o costo cero, se familiaricen con algunos conceptos y términos de la nanotecnología.

Pero hablar en abstracto de estos conceptos contraintuitivos no es suficiente. La metodología propuesta: «Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación, ECBI», hasta donde sabemos no suficientemente divulgada, busca que los estudiantes se acerquen a la ciencia de una forma más directa, que se elimine el tedio con que suelen abordarse estos temas, que puedan vincularse al mundo científico sin miedo, despertar su interés por las diferentes disciplinas científicas, e ingresar a un mundo que depende cada vez más de la ciencia, la tecnología y el procesamiento de la información; esta metodología, aplicada de forma sistemática, facilita entender y aprender conceptos y términos sobre ciencia de manera crítica y creativa, ya que implica experimentación, cuestionamiento, análisis, argumentación, en general, lo que se conoce como competencias científicas. (Worth, Duque, & Saltiel, 2009)

La estructura de la unidad didáctica, de acuerdo a la metodología ECBI, tiene unas secuencias de aprendizaje que presenta cuatro momentos: **Iniciando**, **explorando**, **explicando y aplicando**. Esta estructura es, *grosso modo*, el resumen del uso del método científico desarrollado en el aula, el cual es propuesto por Nancy Songer (Songer, 2006); se fundamenta en los ciclos de aprendizaje de Karplus, Bruner y otros (2004), (citado por Cardona, Gómez y Manrique, 2009).

El primer momento **...INICIANDO...** consiste en el proceso de motivación a partir de preguntas realizadas por el docente y los jóvenes, que surgen a partir de experiencias, de presupuestos resultantes de la imaginación, de aprendizajes erróneos; esto permite que los estudiantes se creen inquietudes y se conviertan en parte activa del aprendizaje. Vale aclarar que estas preguntas están presentes durante toda la secuencia, como se recomendara en el capítulo del componente pedagógico.

...EXPLORANDO... es el segundo momento; ya teniendo las preguntas planteadas, se proponen experiencias y actividades para que el estudiante confronte las ideas con la realidad, aplicando las competencias científicas; observar, predecir, formular hipótesis, registrar información e identificar fenómenos, es el momento dentro de la clase que permite comprobar que algunas ideas y conceptos son ciertos o no; los resultados llevan a replantear las ideas previas de los estudiantes, si es necesario, o a reafirmar los conceptos que se tienen.

En el tercer momento ...EXPLICANDO... luego de la experiencia y comprobación, de hacer propuestas individuales y en grupo, se guía a los estudiantes para que respondan las preguntas que guiaron las investigaciones desarrolladas, pueden elaborar un discurso que explique el fenómeno de estudio después de haber ensayado alternativas, para poder finalmente llegar al cuarto momento ...APLICANDO... donde con un mayor grado de conceptualización de los fenómenos, puede llegar a comprender la teoría, como resultado del aprendizaje significativo; por esto se deben propiciar acciones donde el estudiante esté en capacidad de usar lo aprendido, en diferentes contextos al del aula de clase, para verificar su funcionalidad, motivando a los estudiantes a crear nuevos diseños, experiencias o modelos.

Esta unidad didáctica presenta: en la secuencia 1, sobre la estructura general de la materia, en el nivel atómico-molecular; en la secuencia 2, las actividades van encaminadas a la construcción mental del problema de las dimensiones y las escalas; en la secuencia 3 se busca llegar al concepto de nanómetro, como unidad de medida en la nanociencia; la secuencia 4, lleva a los estudiantes a identificar los cambios en las sustancias cuando hay reacciones a escala menor del nanómetro, en la secuencia 5, los estudiantes interactúan con el efecto lote del orden nanométrico, y la posibilidad de producir estructuras nanométricas como los ferrofluidos; la secuencia No 6 busca que los estudiantes realicen mediciones de algo pequeño como un cabello humano, al igual que el trabajo de modelos de Buckeyballs y nanotubos; finalmente en la secuencia No 7 buscan que los estudiantes comprendan el funcionamiento de los microscopios que permiten manipular los átomos.

1. GENERALIDADES

1.1 JUSTIFICACIÓN

La escuela, como diría JOSÉ MARTÍ (1883), tiene la misión de **“dejar en cada hombre toda la obra humana que le antecede; es hacer a cada hombre resumen del mundo viviente, hasta el día en que vive; es ponerlo a nivel de su tiempo, para que flote sobre él, y no dejarlo debajo de su tiempo con lo que no podrá salir a flote: (ella debe) preparar al hombre para la vida”**.

Esta recomendación del prócer cubano no es la que tiene en cuenta la educación que nos imponen en el esquema tradicional. De seguirla, otra sería la situación o por lo menos las perspectivas. En particular, la educación que imparte la escuela en Colombia está muy por debajo de su tiempo. Y si se mira el caso particular de la enseñanza de las ciencias, la situación es todavía más dramática.

En los países desarrollados y en algunos latinoamericanos, se viene adelantando desde hace una década la importante tarea de destacar algunos aspectos de la NANO desde la enseñanza media. Pero el enfoque que suele dársele al tema es muy estrecho, pues ha puesto más el énfasis en la nanotecnología que en la nanociencia. En los enlaces adjuntos se encuentran ejemplos de lo hecho en Estados Unidos. (d) A nivel latinoamericano existe la Red *José Roberto Leite* de Formación y Divulgación en Nanotecnología, a la que pertenece el director de este trabajo. Es de señalar nuevamente el énfasis que se pone en nanotecnología, una tendencia que quisiéramos cambiar, con base en argumentos que a continuación exponemos.

El uso del término nanotecnología por encima del quizá más apropiado, nanotecnociencia, está estrechamente ligado al interés económico que ha generado esta nueva forma de producción, desconociendo de paso que el mundo nano ha estado presente en la tierra por lo menos desde cuando empezaron a formarse las denominadas macromoléculas que posteriormente dieron lugar a la vida. En las entrañas de las estrellas y en la materia interestelar también hay macromoléculas, pero no está allí el interés que despierta para la realización del presente trabajo el origen de la materia primordial que dio lugar a la vida misma y que nos permite articular desde sus inicios los mundos de la física, la química y la biología.

Para expresarlo en otras palabras, como se propone en el texto ya citado (Giraldo *et al.*, 2007), estamos asistiendo a un nuevo amanecer molecular, pero el primero ocurrió hace miles de millones de años, alrededor de 4, cuando se formaron las primeras macromoléculas que dieron lugar a la vida en la tierra. Es especulativo por ahora que haya vida en otros planetas, lo más probable es que sí. Menos probable será asumir que haya lo que equívocamente denominan vida *inteligente*. Alrededor de este asunto pueden consultarse los numerosos proyectos SETI (*Search for Extra Terrestrial Intelligence*), en

alguno de los cuales estuvo involucrado el famoso astrofísico divulgador Carl Sagan. De él es la siguiente frase:

“Hemos preparado una civilización global en la que los elementos más cruciales –el transporte, las comunicaciones y todas las demás industrias; la agricultura, la medicina, la educación, el ocio, la protección del medio ambiente, e incluso la institución democrática clave de las elecciones– dependen profundamente de la ciencia y la tecnología. También hemos dispuesto las cosas de modo que nadie entienda la ciencia y la tecnología. Eso es una garantía de desastre. Podríamos seguir así una temporada pero, antes o después, esta mezcla combustible de ignorancia y poder nos explotará en la cara.” (Sagan, 1996.)

Esta frase parece premonitrice de desastre total en la *Era de la Información*, en las llamadas *Sociedades del Conocimiento*, cuando se maneja la ciencia y la tecnología con el criterio de las multinacionales y de los países hegemónicos. No es nuestro propósito profundizar aquí en la crítica a formas, equivocadas desde nuestro punto de vista, de concebir el desarrollo. Giraldo sostiene que, vista de manera integral, la nanociencia tiene una componente ética muy importante. (Giraldo, 2010.)

La primera obligación de cualquier especie viva es preservar la vida, y esta parece no ser la preocupación principal de quienes tienen en sus manos el destino del mundo hoy. Por eso es un contrasentido encontrarse por primera vez en la historia de la humanidad con la posibilidad de generar la vida y la inteligencia artificiales y no tener claro que los recursos de que dispone la especie en nuestro planeta son limitados. Para poner fin a esta reflexión, queremos señalar que del origen natural de la vida, a partir de macromoléculas, surgió también la inteligencia, a partir de un cerebro que inicialmente tomó la forma de las células especializadas denominadas neuronas, pero el asunto de la evolución del cerebro, por ende del conocimiento, se sale por completo del tema de este modesto trabajo. Recomendamos al lector consultar literatura divulgativa reciente sobre el asunto. (Damasio, 2011; Llinás, 2012.)

Retomando lo fundamental de este trabajo, que es la exigencia de la educación para el siglo XXI de no de suministrar una gran cantidad de información sino dar una formación más profunda y crítica que nos permita comprender la naturaleza y transformar el mundo, la educación históricamente es la responsable de cumplir este objetivo, es así como se hace pertinente abordar una estrategia de aula que permita a los estudiantes de secundaria conocer, reconocer y usar adecuadamente el lenguaje científico relacionado con la nanociencia para incentivar, a largo plazo, su participación en investigaciones en este campo y generar un desarrollo del pensamiento científico entre la población escolar.

Con estas premisas, se puede decir que una de las tareas prioritarias de los educadores del área de las ciencias naturales, por un lado es abordar el tema de los avances de las

ciencias, esto incluye entre otros la nanociencia. Además los maestros debemos generar estrategias de aula que permitan seducir a los estudiantes para que se acerquen a los procesos de la naturaleza, entiendan su estructura y funcionamiento, para llegar a descifrarla y ponerla en beneficio de la población, así como ha venido sucediendo a través de la historia, lo que nos debe llevar a darle un vuelco a la pedagogía que usamos cuando enseñamos ciencias, el uso de nuevos métodos relacionados con la exploración como lo es la Enseñanza de las Ciencias Basadas en la Indagación ECBI¹, posibilitan que los estudiantes tengan mayor afinidad con los procesos científicos, desarrollen competencias y habilidades científicas.

Creemos que una de las estrategias complementarias debe ser la creación de unidades didácticas que conlleven aprendizajes significativos y por lo tanto a mejorar el nivel académico de nuestros estudiantes, desarrollando en ellos competencias científicas como: la curiosidad, la honestidad en la recolección de datos y su validación, la flexibilidad, la persistencia, la crítica y la apertura mental, la disponibilidad para tolerar la incertidumbre y aceptar la naturaleza provisional, propia de la exploración científica, la reflexión sobre el pasado, el presente y el futuro, el deseo y la voluntad de valorar críticamente las consecuencias de los descubrimientos científicos, y la disposición para trabajar en equipo. (Leymonié Sáenz, Bernadou, Dibarboure, Santos , & Toro, 2009). En ese orden de ideas se propone como ejemplo la siguiente unidad didáctica basada en la metodología ECBI, **“VIAJE AL INTERIOR DE LOS OBJETOS: el fantástico mundo de lo diminuto. ¿Cómo funcionan las pequeñas cosas en su interior?”**

Si queremos algún día liderar propuestas científicas desde la nanociencia y la nanotecnología, se debe implementar este tema en la secundaria de forma urgente, ya que no se evidencia su presencia y desarrollo en los currículos de la educación media en ninguna de las áreas; lo más cercano que se encontró es la inclusión de esta área de conocimiento, en un centro que combina el bachillerato con la formación de Tecnólogos en Nanotecnología y Biotecnología por parte del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, en Cazucá, Soacha.

Para el caso de nuestro continente hay desarrollo e inversión en nanociencia en Brasil desde 1985, a través del Programa Nacional de Nanotecnología (PNN)(Rodriguez, 2009), en Argentina con la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN), creada por el Decreto 380 del año 2005(Ministerio de Ciencia y Tecnología e Innovación Productiva. Argentina), siendo estos los países que presentan más avances en Suramérica; en Centroamérica, México es un líder a través de sus diferentes centros de investigación en

¹Tomado del texto: Designing and implementing Inquiry-Based Science units for primary education. De Worth K, Duque M y Saltiel E.

nanotecnociencia, de acuerdo al diagnóstico presentado por el centro de Investigación en Materiales Avanzados, con 87 programas de posgrado relacionados con nanotecnología, en 27 instituciones, un programa de doctorado en Nanociencias y Nanotecnologías desde el año 2009; sin embargo Colombia hasta el año 2005 solo tenía algunos trabajos de forma individual; hacia el año 2004 COLCIENCIAS, define como una de sus áreas de trabajo la “Nanotecnología y materiales avanzados”, y apoya el Centro de excelencia en nuevos Materiales **CENM**, en 2005 se crea el Consejo Nacional de Nanociencia y Nanotecnología, por la sección Colombia del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos; desde esta época la investigación en este campo empieza a crecer de forma significativa a nivel de la educación superior, se incluye también algunas políticas de carácter gubernamental, en los Planes Nacionales de Desarrollo, elaborados por el Departamento Nacional de Planeación y en el Plan Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación 2007-2019, elaborado por Colciencias en el año 2006. (Silva Gomez, 2011)

En estudio realizado por Pérez 2009,(Pérez Martelo & Vinck, 2009)el CENMcontaba con 19 grupos de investigación de 10 universidades en nueve ciudades del país y la colaboración internacional de: The Nanotechnology Center (Northwestern University), Thin Film and Nanoscience Group Department of Civil and Environmental Engineering, (Universidad de California - San Diego), Department of Civil and Environmental Engineering (Universidad de Michigan), Centro Internacional para la Investigación Interdisciplinaria en Materiales (CIMAT-Chile).

A modo de conclusión sobre la justificación del presente trabajo, el planteamiento que se propone se resume de la siguiente manera:

La visión usual de la nanociencia no es solamente lo que da fundamento a la nanotecnología. Hoy se puede hablar por separado de nanofísica, nanoquímica, nanobiología y hasta nanoética, pero es un contrasentido continuar fraccionando el conocimiento cuando se tiene la posibilidad extraordinaria de integrarlo a partir del nanomundo. A nivel pedagógico, este es muy probablemente uno de los múltiples ensayos que se están haciendo hoy en el mundo por lograr esta integración desde muy temprano en la escuela. Pero hemos querido enmarcarlo dentro de una metodología que ha sido muy exitosa en otras latitudes: Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación (ECBI), como lo indican los diferentes informes realizados por la fundación La main à la pâte, pionera en la aplicación de esta metodología.

Un plan más ambicioso al que se integra el trabajo es la construcción de una **nanored** formada por pedagogos interesados en el asunto. En Bogotá, la Asociación Buinaima y la Corporación Maloka están uniendo esfuerzos en esa dirección.

1.2 Planteamiento del problema

La enseñanza de las ciencias hoy no puede seguirse abordando con las metodologías de siglos anteriores. En el caso de la física, es preocupante que la pedagogía esté tan alejada de las herramientas tecnológicas de que se dispone en el aula y en la vida diaria. Los conceptos que se abordan se limitan, valga la redundancia, a una concepción mecanicista o determinista del mundo, cuando en el fondo de las aplicaciones más interesantes subyace una teoría de carácter probabilístico muy especial, conocida usualmente como mecánica cuántica. Esta, desde su formulación básica, requiere de unas herramientas matemáticas muy complicadas, cuyo manejo está reservado casi con exclusividad a los expertos en el campo.

Surgen entonces varios problemas, como señala Sagan en el párrafo que citábamos en la sección anterior. De un lado, los elementos más cruciales de la civilización global que se avecina dependerán no ya de la ciencia y la tecnología a secas, la tecnociencia más genéricamente, sino en gran medida de lo que de manera específica puede denominarse **nanotecnociencia**. Del otro, esta nueva tecnociencia está cimentada sobre una ciencia que ya no es la de la ciencia moderna, acostumbrada a presentar el mundo como si éste funcionara de la misma manera que un preciso mecanismo de relojería. El principio de incertidumbre es el más fundamental de los principios. La dualidad onda-corpúsculo da nuevas propiedades a la materia, propiedades que antes no percibíamos porque estábamos acostumbrados a la descripción de un mundo macroscópico con comportamientos rigurosamente previsibles.

La fundamentación en ciencias, sobre todo en las físicas, siempre ha sido rechazada por el común de las personas, ya sea porque no le ven mayor ventaja o porque encuentran muy difícil comprenderla y aprehenderla; son categorizadas como exclusivas para grupos muy selectos de personas. Los maestros de ciencias de alguna forma han venido abandonando el concepto tradicional de maestros dueños de saberes, autoridad con la que no se puede discutir y mucho menos interactuar. Esta imagen se introduce en las nuevas generaciones, con una ambivalencia: si bien es cierto que él o ella son los especialistas, los medios que manejan la información se encargan también de refutarlos. Canales de televisión y videos puestos en internet, acertada o desacertadamente, están informando al público de muchos aspectos científicos y tecnológicos que el maestro o la maestra no se esmeran en discutir con sus estudiantes o en muchas ocasiones ignoran. En la práctica, la actitud del docente y la falta de discusión genera rechazo de los estudiantes porque no se ve relación entre lo que se intenta explicar a través de la monotonía de los tableros con su cotidianidad, con su contexto, con la vida real.

Hay otro aspecto que el maestro olvida. Las clases de ciencias no buscan de ninguna manera que se formen científicos, solamente que se adquieran los conceptos básicos que permitan interpretar el mundo, *“tomar decisiones racionales, comprender su mundo*

y, por qué no, querer cambiarlo, aunque sea un poco”(Charpak, Léna, & Quéré, 2006). En la enseñanza básica, la formación en ciencias debe estar dirigida a todos los estudiantes, para que puedan participar en temas que afectan prácticamente todas las esferas cotidianas. Es así como surge la propuesta que se busca materializar con la metodología Enseñanza de las Ciencias Basada en Indagación ECBI. **¿Cómo lograr que la mayor parte de los estudiantes se apropien de conceptos básicos relacionados con nanociencia y nanotecnología, a través de una propuesta pedagógica constructivista?**

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Construir una unidad didáctica que les permita a los estudiantes de Ciclo 5^o comprender los conceptos y términos más utilizados con relación a la nanociencia a través de la propuesta pedagógica denominada Enseñanza de las Ciencias Basada en Indagación (ECBI).

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar algunas fases históricas de la nanociencia, a través de la revisión bibliográfica, como base metodológica que nos sirva de fundamento para plantear las actividades de la unidad didáctica.
- Estructurar una propuesta pedagógica para la enseñanza de conceptos relacionados con nanociencia y nanotecnología, a partir del modelo de Enseñanza de las Ciencias Basada en Indagación.
- Introducir algunos términos comunes a la nanotecnociencia para utilizarlos en el desarrollo de los contenidos de la unidad didáctica.
- Proponer y diseñar una serie de actividades de aula, dirigidas a estudiantes de Educación Media, en torno a la fenomenología que se da en la región nanoescalar, para promover el desarrollo de competencias científicas.

2. Componente pedagógico.

Los siguientes referentes conceptuales surgen a partir de lo consignado en el texto “Los niños y la ciencia”, de Goerge Charpak, Pierre Léne e Yves Quéré, (2006) y del texto “Designing and implementing Inquiry-Based Science units for primary education”, de La Fondation *La main à la pâte*(Worth, Duque, & Saliel, 2009), una organización francesa que busca mejorar la calidad de la enseñanza de la ciencia y la tecnología.

2.1 ENSEÑANZA DE LA CIENCIA BASADA EN INDAGACIÓN ECBI

2.1.1 La enseñanza por indagación.

La misión fundamental de los procesos de enseñanza-aprendizaje en la actualidad, es lograr que los niños, niñas y jóvenes desarrollen sus competencias para estar en equilibrio con los avances de la sociedad, desde el área de Ciencias Naturales el objetivo radica en lograr promover las competencias científicas², que los estudiantes logren desarrollar la curiosidad, tener un pensamiento crítico, resolver problemas, pensar de forma independiente, observar e interpretar el mundo natural que los rodea, entre otras tantas.

Desde hace algunas décadas se está trabajando en la escuela el modelo constructivista creado a partir de las teorías de Piaget y Vigostky, modelo pedagógico en el cual se ratifica la existencia de los conocimientos previos de los estudiantes, los cuales no se deben desconocer, además de reconocer que el aula es el sitio para construir o reconstruir la interpretación del mundo que los rodean. La propuesta pedagógica Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación, se viene desarrollando en diferentes países europeos, Estados Unidos y algunos países latinoamericanos; para el caso de Colombia se inició desde 1998 con una experiencia en el Liceo Francés Louis Pasteur, acompañado por la Universidad de los Andes y desde el año 2000 a través de la propuesta Pequeños Científicos, en diferentes instituciones educativas en una alianza entre la Corporación Maloka, la Universidad de los Andes y el Liceo Francés Louis Pasteur, posteriormente se asoció la Academia Colombiana de Ciencias(Universidad de los Andes, 2010).

²Cuando se habla de “competencias científicas” se hace referencia a la capacidad de establecer un cierto tipo de relación con las ciencias. La relación que los científicos de profesión tienen con las ciencias no es la misma que establecen con ellas quienes no están directamente comprometidos con la producción de los conocimientos sobre la naturaleza o la sociedad.(Hernández Carlos 2005)

La Enseñanza de las Ciencias Basada en Indagación **ECBI** busca que los estudiantes realmente asimilen, comprendan, lo que se está trabajando en el aula de la clase; normalmente en el modelo tradicional y en las prácticas cotidianas la forma de verificar si el estudiante “aprendió” es a través de evaluaciones diseñadas para que respondan lo que se enseñó en la clase, sin importar si comprende los procesos que allí se plantean; en la Educación Científica el concepto de “evaluar” debe ser totalmente diferente, como se describirá más adelante.

En la cotidianidad de la escuela el objetivo de docentes y directivas es avanzar con los planes de estudio diseñados desde el inicio del año o copiados de afán de textos escolares. Para la ECBI se da una discusión cooperativa al iniciar el diseño de las Unidades Didácticas, entre pares académicos, donde se priorizan ciertos temas que le permitan al estudiante apropiarse de ideas y conceptos muchos más amplios, de los cuales se pueden desprender con mayor facilidad otros aprendizajes ya que no se pide información de memoria sino comprensión de procesos.

La metodología ECBI considera que los estudiantes de las instituciones escolares, aprenden basados en la experiencia, ya que desde las primeras etapas de la infancia esta es la forma más directa de intentar dar explicaciones a los diferentes fenómenos de la naturaleza; en algunas ocasiones estas ideas de ¿cómo es el funcionamiento y las relaciones del mundo natural? no son ciertas y se crece con esas ideas erróneas; se busca que al realizar procesos desde la perspectiva de ECBI se logre realmente entender el proceso, a través de la práctica de experiencias o experimentos que buscan cambiar ideas erróneas a través de la construcción de nuevos conceptos.

2.1.2 El marco de referencia de la metodología ECBI.

La propuesta metodológica de la Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación, se basa en las características generales de la investigación científica, donde existen unas etapas que se deben desarrollar en cada una de las unidades didácticas; parte como siempre en la aplicación del método científico desde la observación de la naturaleza, donde aparecen una serie de problemas, permite desarrollar una primera instancia que es la exploración y a partir de ella plantear y ejecutar investigación para llegar a la solución de dicha problemática o explicación de fenómeno; la siguiente etapa es llegar a debatir en equipo para poder llegar a concluir y posteriormente poder comunicar las conclusiones a las que se llegó; de esta forma la Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación, realiza ejercicios de formación de pequeños investigadores, quienes potencian sus competencias científicas.

Al igual que en las investigaciones, es válido seguir varios caminos, detenerse en cierto momento, equivocarse, volver a empezar, ya que de esta forma se construyen

conceptos, no existe una estructura jerárquica y lineal que nos lleve a las conclusiones finales como las que buscan en la mayoría de los casos los maestros.

En la siguiente figura se describe la relación que hay entre las etapas de la investigación científica y las competencias que se desarrollan cuando se aplica la metodología ECBI:

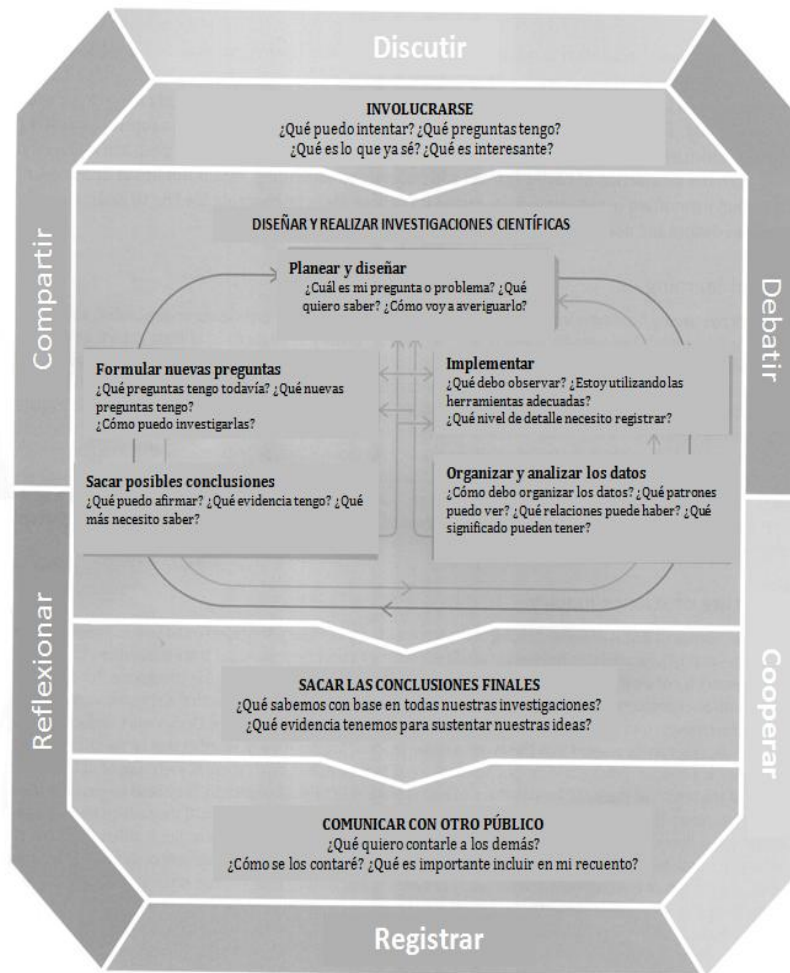


Figura 1. Un marco para la investigación científica Tomado de(Worth, Duque, & Saltiel, 2009), Traducción de Mauricio Duque.

ECBI trabaja alrededor de unidades didácticas, en las cuales se desarrolla una temática acordada, como el objetivo es profundizar y no acumular una serie de información, cada unidad está dividida por secuencias, en las cuales no necesariamente se deben realizar todos los pasos de una investigación, puede que se use más de una sesión de trabajo en torno a un paso de la investigación científica, o que se aborden varios paso en una sola sesión; eso depende del diseño independiente de la unidad didáctica.

Frente a los contenidos que se deben abordar para la propuesta metodológica ECBI, deben ser contenidos científicos, no muchos, pero muy bien abordados, esto irá en contradicción con las propuestas académicas tradicionales, en las cuales lo importante es desarrollar una gran cantidad de contenidos pero como información; la ECBI considera que la prioridad es abordar temáticas que permitan la comprensión de diferentes temas que desarrollen las competencias científicas, esto facilitará el aprendizaje de otros temas; otro aspecto a tener en cuenta es que el acceso a la información sobre los fenómenos de la naturaleza es cada vez más fácil, con solo dar un "clic" se obtiene información sobremuchas inquietudes, ahora el reto para los maestros de ciencias es diferente al de hace algunos años, ahora es lograr que las acciones desarrolladas en el aula de la clase potencien esas capacidades que permitan no solo tener la información sino comprenderla también.

En este mismo sentido, la ECBI metodológicamente da uso a los referentes más cercanos de los estudiantes como elementos de aprendizaje; otra diferencia con los modelos tradicionales, con los que se intenta desarrollar la enseñanza-aprendizaje usando términos y contextos alejados de la realidad, para la ECBI los elementos fundamentales son aquellos que son más cercanos a los estudiantes, su entorno, sus elementos culturales.

2.1.3 PRINCIPIOS DE LA ECBI

- **Se aprende a través de la experiencia.**

La experiencia directa, en contradicción con la educación tradicional, se prioriza generando actividades de clase donde el estudiante manipula cosas muy cercanas, propone preguntas y genera respuestas, se equivoca, corrige y encuentra repuestas a sus inquietudes; es tan valioso que él se haga protagonista de su propio aprendizaje, ya que los resultados son más significativos.

Hay ideas y explicaciones erróneas que son válidas para nuestros estudiantes y por más que intentemos a través de la explicación magistral cambiarle el concepto ellos las mantendrán, solo a través de experimentos pueden llegar a deshacerse de las ideas originales.

- **La pregunta es fundamental para iniciar.**

Se ha evidenciado que la pregunta debe tener unas características importantes, para cumplir el objetivo de la clase; inicialmente no se resuelve de forma inmediata y tiene un sentido de utilidad que acerca al estudiante permitiendo su comprensión; esta etapa debe ser determinante ya que una pregunta bien formulada y atractiva permite que los

estudiantes elaboren conceptualmente a través del desarrollo de los experimento la respuesta.

- **La observación guiada, una competencia científica que se debe desarrollar.**

Una de las competencias científicas que se debe impulsar en los estudiantes es la observación, ya que ellos están acostumbrados a describir las cosas de forma muy simple y elemental, no basta con decirles observen, el maestro debe plantear muy bien las preguntas que permitan guiarlos dependiendo de los objetivos planteados desde el inicio, hacer énfasis en como los estudiantes pueden desarrollar esa habilidad de ser detallista para poder llegar a las conclusiones que resuelven la pregunta problema.

- **No basta con experimentar, se debe razonar, individual y en grupo para poder concluir y publicar.**

En muchas ocasiones se cree que con realizar experimentos solamente, se está innovando en la enseñanza de las ciencias, el solo hecho de tener una experiencia no garantiza el cumplimiento de los objetivos; el hecho de experimentar es muy atractivo para los estudiantes, pero se puede caer en el activismo; en la ECBI se busca que el experimento sea usado por el maestro y los estudiantes para llegar a razonar sobre él, que se genere el debate y la argumentación; el trabajo grupal y cooperativo en los debates llevan a construir conceptos y darle respuesta a las preguntas problemas; cuando los estudiantes explican a sus compañeros lo que está sucediendo en el experimento, logran un mejor aprendizaje.

- **Las fuentes secundarias complementan los procesos de investigación y ratifican la experiencia directa.**

La ECBI, no excluye la participación de las fuentes secundarias, como libros, publicaciones, expertos, videos y el internet, solo que no lo hace como en la educación tradicional, es un complemento a lo encontrado en la experiencia, la intencionalidad es que se aprenda a buscar información seleccionando adecuadamente fuentes y aprendiendo a darle el mejor uso.

- **La ciencia es una actividad de trabajo en grupo-cooperativo.**

La ECBI, considera efectivo el trabajo en grupo, ya que se dan las condiciones, si se aplican los otros principios, para que cada estudiante proponga sus ideas, las sustente, genere debate, encuentren dificultades, en términos generales se busca que el trabajo cooperativo y los otros principios lleven a la construcción conjunta de saberes, que igualmente serán comunicados y concertados con los otros pequeños grupos de científicos del aula de clase que están haciendo las mismas actividades.

2.1.4 CONSIDERACIONES PEDAGÓGICAS DE LA PROPUESTA ECBI.

Se debe contar con una disposición física, para formar grupos de trabajo de 3 o 4 estudiantes, ideal si se cuenta con salón-laboratorio, un espacio para disponer de los materiales y un espacio para publicar las características de la clase, como normas, objetivos, pregunta y conclusiones (pueden ser carteles previamente elaborados o un tablero).

Otro elemento a tener en cuenta es la cultura de equidad e igualdad: todos generamos pensamientos, propuestas o podemos llevar una secretaría, al igual que hablar en público, el maestro debe desarrollar la capacidad de involucrar a todos los miembros del grupo generando las condiciones para que todos se sientan cómodos y se les facilite la interacción; deben intercambiarse los roles entre los estudiantes.

Las preguntas que se trabajen deben estar tan bien formuladas, que no den posibilidad de respuestas cortas, o que sean tan ambiguas que no se entiendan, debe posibilitar el uso de las competencias científicas adquiridas para guiar la construcción de su aprendizaje; las preguntas abren el camino entre el problema y su solución.

Los estudiantes no llegan al aula de clase con su cabeza vacía, a través del tiempo han construido conceptos, que en la mayoría de los casos son contradictorios o incompletos frente a las explicaciones de los científicos; estas ideas han sido adquiridas en la mayoría de los casos a través de experiencias que no se han cuestionado, complementado y desarrollado con otros.

Los espacios grupales de discusión permiten el aprendizaje, ya que las ideas fluyen más fácilmente, hay más confianza y menos prejuicios, se disminuye el paradigma de la dependencia del docente que todo lo sabe, ahora el protagonismo cae en cada estudiante del grupo, por lo que las ideas se hacen más valiosas y significativas para buscar las respuestas o soluciones entre todos.

EL maestro hábil en la implementación de la ECBI, brinda la oportunidad para que los estudiantes sean quienes lleven los diálogos, el maestro se aparta y se convierte en un facilitador, su discurso de respuestas verdaderas se reduce al máximo, su función es animar a los estudiantes para que intervengan constantemente, ayudar a que las preguntas sean bien dirigidas y respondidas por los mismos miembros del grupo.

El cuaderno, libreta de apuntes, o agenda, se hace un instrumento necesario, ya que es el elemento donde se plasman de forma individual y grupal las ideas, se hace necesario porque permite concretar, se convierte en un elemento de consulta, es fundamental porque los estudiantes además de dialogar con sus compañeros pueden concluir allí sobre las experiencias realizadas, que pueden ser textos, dibujos, gráficos que explican

los experimentos, diseños de posibles soluciones y/o tablas que permitan comparar resultados.

Para el maestro este instrumento se hace tan valioso ya que muestra el trabajo y compromiso de los estudiantes, permite hacer una evaluación formativa en el sitio, el maestro tiene la oportunidad de hacer los ajustes necesarios si hay errores conceptuales, como el trabajo no está condicionado a la evaluación, se logra aprender con mayor facilidad los fenómenos que se estén desarrollando.

Se debe guiar a los estudiantes a la selección de variables y su categorización, de tal forma que estos investigadores del aula puedan llegar a ser tan específicos que logran obtener los mejores resultados.

La última etapa del trabajo es poder concluir a partir de la experiencia, esto permite que se dé un verdadero aprendizaje significativo, se pretende que la argumentación realizada por los estudiantes sea clara y acertada, que la conclusión sea contrastada con las predicciones elaboradas al inicio de las secuencias o sesiones.

Las conclusiones son el fruto final de lo que se propuso, predijo, se experimentó, se escribió y permiten darle solución al problema construido inicialmente.

2.1.5 EL PROCESO DE EVALUACIÓN DE LA ECBI.

...“el profesorado de ciencias tiende, a *considerar que la función primordial (y casi exclusiva) de la evaluación es medir la capacidad y aprovechamiento de los estudiantes.* Esta concepción de la evaluación como un instrumento de simple medición de algunos logros de los alumnos, deriva en una práctica constatadora, terminal o meramente acumulativa y limitada a los alumnos”(Gil Pérez, Alonzo Sanchez, & Martínez Torregrosa, 1995), evaluar siempre se ciñe a realizar preguntas por parte de los maestros que esperan ser respondidas de acuerdo a lo que él espera, posteriormente se registrara un valor que dé cuenta si el estudiante aprendió o no, para la ECBI la evaluación es un asunto constante que permite identificar aciertos y errores, la ECBI desarrolla una evaluación que va más allá, ya que se profundizan los temas y se desarrollan las competencias científicas, es así como en todo momento se puede ir evaluando las capacidades de los estudiantes, la forma como hacen preguntas, la estructuras de sus apuntes o notas, como se participa en las discusiones grupales, la forma de usar los materiales, las conclusiones a las que se llegan, además este tipo de metodología permite hacer una evaluación más integral, ya que actitudes como el respeto, la responsabilidad y compromiso también se pueden evaluar.

Como la evaluación es constante, se convierte en una evaluación formativa, permite que tanto estudiantes como docentes se formen en la actividad científica, se logra mayor

apropiamiento de los procesos, se aumenta el vocabulario científico que se usa, de esta forma se logra darle otra intención a la evaluación.

2.1.6 PROPUESTA DE LA ECBI DE UNIDAD CIENTÍFICA DE APRENDIZAJE.

Una unidad de ECBI, es un estudio a profundidad de los conceptos relacionados con un tema, que consta de una secuencia lógica a través de secuencias que están estructuradas con unos tiempos, materiales, objetivos y procesos guiados, que al ser abordados en su totalidad logran que los estudiantes asimilen y conceptualicen con mayor facilidad el tema tratado.

Las secuencias en ningún momento dan los resultados de la ciencia que se han construido a través del tiempo, este tipo de unidades está enfocada para que se construya el conocimiento a través de la experimentación directa, los estudiantes inician sus pequeñas investigaciones desde la pregunta y deben llegar a concluir después de haber practicado la indagación. Por esto, para el diseño de una unidad didáctica basada en indagación se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

Características generales:

1. Los estudiantes van a indagar sobre ciertos procesos, esto quiere decir que ellos van a aplicar los pasos básicos del método científico, tener una pregunta, plantear sus predicciones, experimentar y concluir, de esta forma los estudiantes son quienes usan los materiales y aprenden con ellos.
2. Los conceptos que se van a abordar son limitados, no se puede caer en querer abordar todo un plan de estudios. De un tema macro se realizan experimentos pequeños.
3. El tiempo que se dedique al desarrollo de las actividades de cada secuencia que forma la unidad didáctica puede variar, pero se debe tener claro que no se tiene afán por terminar, sino por realmente aprender.
4. El diseño de las secuencias es eso, una secuencia que tiene un orden ya que un proceso de conceptualización desde lo experimental, lleva a otro y así sucesivamente.
5. Es indispensable el desarrollo de la comunicación oral y escrita.
6. En las actividades se debe ampliar la participación a otras personas como la familia y algunos expertos.
7. El uso de otras fuentes es válido como complemento al trabajo desarrollado.

En el diseño de una unidad de ECBI, se definen metas y objetivos de aprendizaje, lo que lleva a seleccionar el contenido y los conceptos básicos que guían la unidad así como las preguntas y/o pruebas para conocer las ideas previas y el diseño evaluativo de acuerdo a

lo que se espera que los estudiantes alcancen. Otro aspecto a tener en cuenta es el contexto, las actividades deben estar de acuerdo a las condiciones en las que se trabaja y las características del lugar.

El aprendizaje es como la trayectoria de un viaje, el guion de una película, cuando se diseña una unidad de ECBI, las experiencias de aprendizaje deben ser continuas y en secuencia, un aprendizaje debe llevar a otro, la intención es iniciar con experiencias cortas que inicien el desarrollo de habilidades y comprensiones y se mantengan a través de toda la unidad, ya que hay una progresión en el aprendizaje; un concepto sencillo bien trabajado permite ir fortaleciendo las bases para llegar a cumplir con el objetivo general de la unidad.

3.MATERIA Y MATERIALES

Para una comprensión adecuada de algunos conceptos relacionados con la nanociencia y la nanotecnología, en gran medida una introducción a los nanomateriales, es conveniente hacer una incursión previa a la estructura básica o fundamental de la materia. Aun asumiendo que los docentes que aborden en el aula estos temas se encuentran preparados en su formación profesional, vale la pena hacer una síntesis de algunos términos y conceptos que deben ser el punto de partida del estudiante para identificar las generalidades del nanomundo y aprehender los principios básicos y leyes que rigen el comportamiento de la materia en esa escala. Ese comportamiento no es el mismo que parece exhibir los trozos de materia que vemos cotidianamente. Rigurosamente hablando, si se quieren explicar las propiedades eléctricas, térmicas, ópticas, mecánicas, etc., de los materiales, debemos recurrir a una teoría que poco tiene que ver con la denominada física clásica. Si esta presenta ciertas dificultades en algunos conceptos que suelen calificarse de contra-intuitivos, la nueva física puede calificarse enfáticamente de *misteriosa*. Algunos de esos misterios los abordaremos en el capítulo cuarto y echaremos mano de ellos en el capítulo quinto. En este nos limitaremos a una descripción empírica con fundamento en la hipótesis atómica, salvo por la concepción más moderna de partículas subatómicas y del actual modelo estándar de la física.

En la primera parte repasaremos algunos conceptos, introduciremos algunos términos y expresiones que se necesitan para el desarrollo de la primera secuencia de la Unidad Didáctica; abordaremos luego el problema del cambio de escala, en preparación para la secuencia 2. En la segunda hablaremos de algunos materiales nanoestructurados que solamente se encuentran en la escala nanométrica, por ende tienen propiedades muy especiales, de especial importancia para aplicaciones nanotecnológicas; esta parte nos servirá de preparación para las actividades de la secuencia 3.

3.1 CONCEPTOS GENERALES

3.1.1 La materia.

Hay muchas definiciones en torno al concepto de materia, sin embargo, el más usado y el cual se trabaja en las aulas de clase suele ser "...todo aquello que existe que tiene masa y volumen" concepto que ha evolucionado a través de los avances encontrados en múltiples investigaciones desarrolladas, por esto se considera el siguiente concepto más adecuado a la comprensión actual de materia según Valencia y Gerena (2011):

En términos de la física moderna, la materia hace referencia a una entidad, campo o discontinuidad que forma parte del universo, que puede tener masa, que ocupa un lugar en el espacio, que permanece o se propaga con

el tiempo, que tiene energía asociada y que es capaz de interactuar con la energía misma o con otras formas de materia. (p.1)

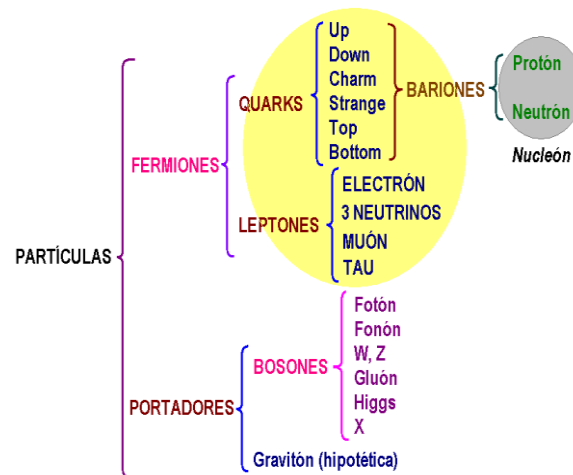


Figura 2. Clasificación de las partículas, Tomado de: “el axioma de la existencia de la materia y la energía”(Gerena Rojas & Valencia Ríos, 2011).

Todavía mejor, siguiendo con los conceptos desarrollados en documento por Valencia y Gerena (2011), podemos agregar que;

En la actualidad se admite que cerca del 5% del universo es materia másica, parte de la cual es materia bariónica (materia visible, átomos); así mismo, se postula que el 23% es materia oscura y que el 72% es energía oscura. Pero, ¿de qué está hecha la materia del universo? Para responder a esta pregunta se ha planteado un modelo estándar de la física de partículas, que a pesar de sus defectos, permite describir la naturaleza y algunas interacciones fundamentales de las denominadas partículas elementales. Se cree que los quarks, los leptones y los bosones son las partículas elementales más pequeñas de la materia. De acuerdo con el modelo estándar existen seis quarks, seis leptones y cuatro bosones; estas partículas se agrupan en fermiones y en bosones propiamente dichos. Algunos bosones (fotones, bosones W y Z, gluones y gravitones) se consideran partículas elementales portadoras de fuerza. Los hadrones son partículas compuestas formadas por partículas elementales (quarks, antiquarks y gluones). Existen dos clases de hadrones: los bariones y los mesones. Los nucleones (protón + neutrón) y los hiperones son bariones, mientras que el pión y el kaón son mesones. Cuando el electrón, que es un leptón, se une a un nucleón, se obtiene un átomo. (p.2).

Así, pues, partimos de la hipótesis básica de la física contemporánea, en la cual se asume que el Universo está hecho de materia y energía. Podríamos agregar que esa materia-energía se mueve en un espacio-tiempo curvado, mas no requerimos de más detalles al respecto para los propósitos de este trabajo.

Para el ejercicio pedagógico de enseñar los conceptos básicos de química, se estudia la materia desde dos enfoques: su composición atómica y los estados de agregación en que se encuentran dichos átomos.

Si estudiamos la conformación de una determinada porción de materia, se encuentran sustancias puras y mezclas, en las primeras se diferencian las sustancias simples o elementos químicos y las sustancias compuestas o compuestos químicos.

Encontramos en la naturaleza cuerpos constituidos por las sustancias mencionadas anteriormente, elementos y compuestos, químicamente hablando, que dan lugar a sistemas que se suelen presentar de manera continua, como sistemas homogéneos en los que todas las porciones que lo constituyen son iguales, y en la escala macroscópica no se observan límites o paredes físicas entre sus componentes; por el contrario los sistemas heterogéneos no tienen todas sus porciones uniformes en composición, estructura, y comportamiento y se observan límites físicos de separación entre sus constituyentes, dando origen a la formación de fases, que son las porciones homogéneas del sistema; en síntesis, los sistemas homogéneos están formados por una sola fase y los heterogéneos por lo menos por dos fases. (Rodríguez Guarnizo & Rodríguez Barrantes, 2011)

Como estado de agregación, independientemente de si se trata de sistemas homogéneos o heterogéneos, se hace referencia a los estados físicos, en los cuales se presenta la materia que ocupa un cierto volumen según las condiciones de presión y temperatura, que son los estados denominados sólido, líquido y gaseoso.

En el estado sólido, las partículas están unidas por fuerzas de atracción grandes, ocupando posiciones casi fijas, por lo que su forma y volumen en el estado sólido es constante; las partículas no se desplazan, simplemente vibran, tienen forma ordenada que da origen a estructuras cristalinas.

Los líquidos, se caracterizan por tener forma propia –la esférica– y volumen propio (Rodríguez Guarnizo & Rodríguez Barrantes, 2011) y muestra un “aspecto” que depende de la forma del recipiente en el que se encuentre el líquido, sus partículas tienen energía cinética y potencial, presentando movimientos de vibración, rotación y traslación; la energía entre las moléculas es menor que en el estado sólido.

Las sustancias en estado gaseoso no exhiben forma, ni volumen propio, sus partículas tienen movimientos desordenados, ocupando el espacio que les sea asequible, las fuerzas entre las moléculas son débiles y presentan enormes espacios vacíos entre ellas.

Las sustancias pueden cambiar de estado por aporte o eliminación de energía calorífica, o modificando las condiciones de presión y temperatura, como se muestra en el siguiente esquema.

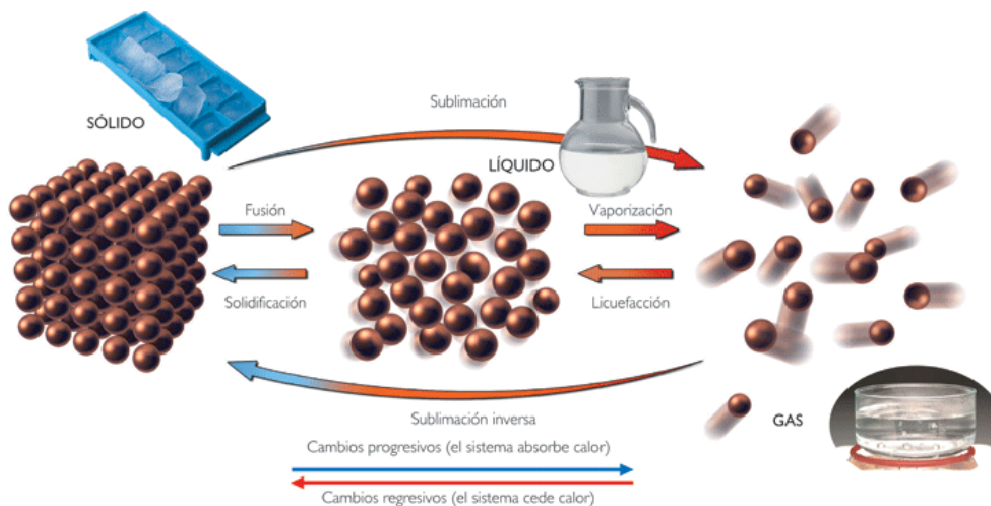


Figura 3. Esquemas cambios de estado de la materia³.

El paso de estado sólido a líquido se denomina fusión y de líquido a gaseoso vaporización; si el cambio es de estado gaseoso a líquido se conoce comúnmente como condensación, o licuefacción y de estado líquido a sólido solidificación. Hay un cambio de estado directo entre los estados sólido y gaseoso que recibe el nombre de sublimación.

3.1.2 El Átomo.

El concepto de átomo ha evolucionado a la par con el concepto de materia. En la subsección anterior hemos resumido la concepción actual sobre los ingredientes primarios de la materia-energía, sin entrar en detalle. Salvo en la sección siguiente (3.2), nos limitaremos aquí a la descripción convencional, no sin antes recordarle al lector que: a) ésta sufrió un cambio radical desde cuando John J. Thomson descubriera en 1897 que del supuesto átomo indivisible podían desprenderse partículas diminutas que él pudo identificar con las cargas bautizadas como negativas por Faraday, hoy denominadas electrones; b) más tarde Rutherford concluyó que la contraparte, la carga positiva o protón, residía en una muy pequeña región hoy identificada como núcleo, en la que posteriormente se encontraron también los neutrones, identificados por Chadwick en 1932; y c) que las supuestas órbitas electrónicas fueron cuantificadas por Bohr hace justo

³ Tomada de: <http://www.kalipedia.com>

un siglo, en 1913, imaginando una dinámica no clásica que dio lugar a lo que hoy se denominan *saltos cuánticos*. Sobre esto último volveremos en la sección 3.2.

La palabra proviene del latín *atomus*, y éste del griego *άτομος*, *indivisible*, formulado por los filósofos griegos Demócrito y Leucipo, en sus explicaciones sobre la estructura de la naturaleza, indicando que la materia estaba conformada por unidades que no se podían dividir; por muchos siglos se asumió la certeza de esta idea; solo hasta el siglo XIX se descubre que existen las partículas subatómicas y durante el siglo XX y lo que se lleva del XXI el desarrollo de la física cuántica, de partículas elementales y de altas energías nos muestra que aún se puede llegar más al interior del átomo, y que es posible que existan otras partículas, sin que la búsqueda haya cesado.

Las teorías actuales nos validan la existencia de núcleo atómico en una región del orden de 10^{-15} m, de carga positiva formada por protones en cantidad igual al número atómico, y neutrones en la misma cantidad para los núcleos livianos, número que va creciendo en los elementos pesado; los protones y los neutrones son denominados en conjunto como nucleones; alrededor del núcleo, a una distancia considerable si se compara con su tamaño, hay una nube de electrones de carga negativa. Como corolario, podría afirmarse que *el átomo está prácticamente vacío*.

Un protón es una partícula de carga eléctrica positiva igual a una carga elemental, a $1,67262 \times 10^{-27}$ Kg. y una masa 1837 veces mayor que la del electrón

Los neutrones son partículas carentes de carga eléctrica y una masa un poco mayor que la del protón ($1,67493 \times 10^{-27}$ kg).

Los átomos conservan las propiedades del elemento químico al que pertenecen. Teniendo en cuenta la composición del átomo se pueden determinar algunos aspectos relacionados con la clasificación, como es el número de masa, representado con la letra **A**, que es la cantidad total de nucleones, o sea la cantidad de protones y neutrones presentes en el núcleo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$A = p + n$$

La carga eléctrica, también se determina de acuerdo a la cantidad de electrones y protones que tiene el átomo; en los estados basales siempre es neutra, ya que su cantidad es igual; en los iones, la carga está determinada por la falta o el exceso de electrones.

La cantidad de protones presentes en un átomo equivale al número atómico, determina su ubicación en la tabla periódica y se representa con la letra Z.

3.1.3 La molécula

Como se dijo anteriormente el átomo es la partícula más pequeña de los elementos químicos; los átomos en una molécula se mantienen unidos porque comparten o intercambian electrones. Una agrupación de átomos forma moléculas; se solía decir que esa agrupación conserva la composición y propiedades de la sustancia, pero lo último ya no es tan cierto. Una característica de la materia a escala nanométrica es que las propiedades dependen fuertemente del tamaño y la forma. Mientras que el color, por ejemplo, de una partícula de oro de forma esférica de 50 nm es verde, una de 25 nm luce de color rojo.

Las moléculas pueden estar constituidas por un único átomo como el caso de los gases nobles, [Helio (He), Neón (Ne), Argón (Ar)], la gran mayoría de los metales y algunos no metales, pueden estar formadas por átomos iguales que reciben el nombre de homoatómicas: como los gases Hidrogeno (H_2), Nitrogeno (N_2), Oxígeno (O_2), Fluor (F_2), Cloro (Cl_2) y Bromo (Br_2), una molécula también puede estar formada por átomos distintos a las que se denominan heteroatómicas: como el Ácido clorhídrico HCl, el dióxido de carbono CO_2 , el fosfato de amonio $(NH_4)_3PO_4$, entre otros.

Otra forma de clasificar las moléculas es de acuerdo a su composición, en términos de la cantidad de átomos, puede ser: monoatómicas (gases nobles), diatómicas (H_2 , CO, MgO), triatómicas (SO_2 , BH_3 , Cu_2O) y poliatómicas.

Así como los átomos se representan por medio de símbolos, que se encuentran en la tabla periódica, los cuales están asignados por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada **IUPAC**, que coinciden con las letras iniciales de sus nombres y en el caso de elementos muy antiguos se conservan las raíces de sus nombres en griego o latín. (Gerena Rojas & Valencia Ríos, 2011), las moléculas se representan por medio de fórmulas.

Aunque las moléculas pueden ser relativamente grandes, como en el caso de las proteínas, son tan pequeñas que no seríamos capaces de ver una sola molécula ni con el más potente microscopio óptico, porque su tamaño es nanométrico en el mejor de los casos; la agrupación de moléculas da origen a todo lo que tenemos a nuestro alrededor.

3.1.4 OTROS CONCEPTOS RELACIONADOS CON LA MATERIA.

ELEMENTO QUÍMICO.

A pesar de tener los mismos componentes, en la naturaleza encontramos sustancias formadas por más de cien elementos químicos cuya clasificación en la tabla periódica se inició en 1869, cuando Dmitri Mendeléyev publicó su primer modelo al respecto. Sustancias formadas por diferentes clases de átomos se denominan compuestos

químicos; se continúan formando compuestos químicos sintéticos, sobre todo para las industrias farmacéuticas y de materiales.

Un elemento o un compuesto pueden sufrir transformaciones físicas o químicas.

Cambio físico: No existe transformación de las sustancias, sólo un cambio de estado a una nueva fase; una fase es una presentación del material en estado y composición definida.

Cambios químicos: transformación de una o más sustancias para formar otras nuevas. El proceso se denomina **reacción química**.

Compuestos: sustancias formadas por dos o más elementos, y que presentan siempre las mismas propiedades químicas y físicas. Además, mantienen la ley de la composición constante en donde un compuesto puro, tiene siempre el mismo porcentaje de los elementos que la constituyen.

La diferencia entre mezclas y compuestos es que las primeras se pueden separar en sus componentes por cambios físicos.

3.2 El paradigma de la escala.

Uno de los imaginarios en las culturas infantiles y populares, llevado primero a la literatura y más modernamente al cine, tiene que ver con gigantes y enanos. El simple cambio de escala exige adecuaciones que no siempre se asumen convenientemente. Mientras la masa y el peso cambian con el volumen, es decir, con el cubo de la longitud, la superficie lo hace con el cuadrado. Es por ello que un insecto que se posa sobre la superficie del agua las más de las veces tendrá mucha dificultad en sobrevivir, a menos que su superficie se haya adaptado convenientemente. En los objetos diminutos, cuando una o más de las dimensiones está en la escala nanométrica, por ejemplo, la relación superficie/volumen lleva a cambios en sus propiedades físicas y químicas que pueden ser dramáticos.

Las dificultades que se presentan en el momento de la enseñanza de los conceptos relacionados con la nanociencia suelen empezar a un nivel más elemental; los estudiantes no comprenden con facilidad el mundo abstracto de las cosas pequeñas (Sánchez Mora & Tagüña Parga, 2011), esta situación sugiere que antes de entrar de lleno con el tema de los conceptos de nanociencia se deben realizar algunas actividades para facilitar la comprensión, tanto de las escalas pequeñas como de las escalas grandes.

Siguiendo a Sánchez Mora & Tagüña Parga, 2011, hay gran dificultad para entender las escalas invisibles al ojo humano, al igual que las potencias de diez, lo que se convierte en un obstáculo para abordar con facilidad y efectividad el mundo de lo nano, por lo que

resulta conveniente buscar que los estudiantes se sitúen en la escala métrica para visualizar y vivenciar reducciones y ampliaciones, obteniendo un referente que ayude a evitar las confusiones resultantes.

De acuerdo a Ávila Bernal & Rodríguez Pinto, 2011, la enseñanza de conceptos relacionados con nanociencia deben ser prácticos y usando analogías escalares que comparen situaciones de la vida diaria con la exploración interna de la naturaleza; explorar lo que se “ve”, para entender las dimensiones cuando se trabaja a escala nanométrica y la necesidad e importancia de los instrumentos que se usan en el estudio de la nanociencia, para “observar”, manipular y entender las propiedades.

CONCEPTO DE ESCALA.

La escala, es la relación matemática que existe entre las dimensiones reales y las del dibujo que representa la realidad sobre un plano, mapa, dibujo o fotografía, que puede ser de orden natural, cuando los tamaños reales coinciden con los plasmados, escalas de reducción, cuando los objetos de estudio son muy grandes y para su estudio hay que hacerlos a escala, como el tamaño de nuestro planeta o la organización de los planetas en el sistema solar; finalmente existen las escalas de ampliación que se usan para visualizar cosas de menor tamaño que las de la realidad; las escalas de ampliación y reducción, sobre todo las primeras, son muy utilizada en ciencias, ya que el tamaño de diferentes objetos de estudio suele ser muy pequeño. Sobra advertir que en los estudios del mundo nanométrico la ampliación juega un papel fundamental.

ESCALA MÉTRICA

Prefijo	Símbolo	Factor	Equivalente	
Múltiplos	Exa	E	10^{18}	1000000000000000000
	Peta	P	10^{15}	1000000000000000
	Tera	T	10^{12}	1000000000000
	Giga	G	10^9	1000000000
	Mega	M	10^6	1000000
	Kilo	k	10^3	1000
	Hecto	h	10^2	100
	Deca	da	10^1	10
Submúltiplos	Deci	d	10^{-1}	0.1
	Centi	c	10^{-2}	0.01
	Mili	m	10^{-3}	0.001
	Micro	μ	10^{-6}	0.000001
	Nano	n	10^{-9}	0.000000001
	Pico	p	10^{-12}	0.000000000001
	Femto	f	10^{-15}	0.000000000000001
Atto	a	10^{-18}	0.000000000000000001	

Tabla de múltiplos y submúltiplos en la escala métrica: está determinada por los múltiplo y submúltiplos de la unidad de longitud denominada metro, que corresponde

según la Oficina Internacional de Pesos y medidas a la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un período de $1/299\,792\,458$ de segundo, siendo su símbolo la letra m. La escala métrica está compuesta de múltiplos y submúltiplos como se muestra a continuación.

El nanómetro

El interés de este trabajo gira en torno a los conceptos relacionados con la nanociencia; el primero y más fundamental es el nanómetro, unidad de medida de longitud de las estructuras que se trabajan en este campo; para iniciar debemos decir que *Nanus* quiere decir “enano” en latín, pero el prefijo viene del griego. *νάνος* (*nanos*), que significa *superenano*. En el sistema internacional de unidades, el prefijo se refiere a una milmillonésima de alguna de las unidades de medida.

Un nanómetro corresponde a la división de un metro en mil millones de partes, o la millonésima parte del metro, equivale a $0,000000001$ metros. El milímetro equivale a un millón de nanómetros.

En la secuencia número 2 de la unidad didáctica que hemos diseñado, se proponen una serie de actividades que permiten asimilar por analogías desde la práctica las dimensiones del nanómetro.

3.3 Los nanomateriales

Un material es un conglomerado de materia o masa, que se usa en la fabricación de objetos con propiedades específicas usualmente requeridas de antemano; la ciencia de materiales se encarga de estudiar sus propiedades físicas y químicas, con el objeto de procesar y producir nuevos materiales más útiles, económicos, resistentes y con nuevas propiedades.

Es en este campo que surgen los nanomateriales, que son estructuras estables formadas generalmente por varias clases de átomos que le confieren al material unas propiedades físicas únicas; las propiedades morfológicas suelen ser también de mucha importancia; contienen en su interior o en su totalidad materiales que en una o más de sus dimensiones son más pequeñas que un micrómetro.

A pesar del hecho de que no hay consenso sobre el tamaño mínimo o máximo de los componentes de un nanomaterial, algunos autores restringen su tamaño de 1 a 100 nm; una definición lógica situaría la nanoescala entre la microescala (1 micrómetro) y la escala atómica/molecular (alrededor de 0.2 nanómetros). (Díaz del Castillo, 2012)

Para el estudio de los materiales se ha desarrollado una clasificación de los nanomateriales actuales. Esta fue realizada por la Agencia del Medioambiente en los Estados Unidos. La misma consta de cuatro tipos:

a) **Basados en carbono**, Son los que están formados con un gran porcentaje de carbono, y donde suelen adoptar formas como esferas huecas, elipsoides o tubos. Los nanomateriales de carbono con forma elipsoidal o esférica se conocen como fullerenos, mientras que los cilíndricos reciben el nombre de nanotubos. Estas partículas tienen muchas aplicaciones posibles, incluido el desarrollo de recubrimientos y películas mejoradas, materiales más ligeros y resistentes y diversas aplicaciones en el campo de la electrónica.

.B) **Basados en metal**, son aquellos nanomateriales que incorporan metales en forma de puntos cuánticos, como las nanopartículas de oro y plata, y óxidos metálicos como el dióxido de titanio. Un nanomaterial a base de metales no necesariamente se comporta como metal, pues las propiedades físicas y químicas dependen a veces fuertemente del tamaño.

C) **Dendrímeros**, estos nanomateriales, tiene la característica de ser polímeros contruidos a partir de unidades ramificadas. La superficie de un dendrímero tiene numerosos extremos de cadena, que se pueden adaptar para desempeñar funciones químicas específicas. Esta propiedad se podría utilizar también para la catálisis. Además, debido a que los dendrímeros tridimensionales contienen cavidades interiores en las que se pueden introducir otras moléculas, pueden ser útiles para la administración de fármacos.

d) **Compuestos**, este tipo de nanomateriales, tiene la capacidad de combinar nanopartículas con otras similares o con materiales de mayor tamaño; nanopartículas, como arcilla a nanoescala se están añadiendo a numerosos productos, desde piezas de automóviles a materiales de empaquetado, para mejorar sus propiedades mecánicas, térmicas, protectoras, etc. (Euroresidentes, 2011)

En el acercamiento a la enseñanza de la nanociencia en el presente trabajo, vamos a restringirnos a unos pocos que nos sirvan de ejemplo. De acuerdo con las secuencias de aprendizaje planteadas en la unidad didáctica, se sugiere una limitación en torno a los nanomateriales basados en carbono, pues estos son los materiales a los que se les ha dado más difusión por las expectativas que han generado.

Los fullerenos.

El carbono sólido tiene 2 estructuras principales, las cuales conocemos como formas alotrópicas; el diamante y el grafito. El diamante se caracteriza porque son estructuras muy fuertes gracias a la disposición de sus átomos de carbono, que se enlazan de forma tetraédrica; sus enlaces presentan hibridaciones sp^3 ; en el diamante cada átomo de carbono tiene cuatro vecinos muy cercanos con idéntica estructura, lo cual le da sus características; en cambio el grafito es lo contrario: a pesar de tener la misma composición química, es una estructura muy blanda ya que su disposición o acomodación es de forma laminar, formada por hexágonos de átomos de carbono enlazados entre sí, por enlaces híbridos sp^2 ; en esta disposición, cada átomo de carbono tiene 3 átomos de carbono vecinos, y estas laminas están unidas por fuerzas de van der Waals muy débiles.

Por muchos años se tuvo la idea que no era posible encontrar ángulos de enlace diferentes a los que se presentaban en las moléculas conocidas y de acuerdo a la hibridación que presentaban: para sp^3 $109^\circ 28'$, para sp^2 120° y para sp 180° , en compuestos formados solo por Hidrogeno y Carbono.

El descubrimiento del Fullerenos C_{60} , fue realmente algo no previsto; se logró en gran medida por accidente, porque los astrofísicos que interpretaban la luz de las estrellas no entendían por qué la intensidad de la radiación se reducía cuando llegaba a la Tierra; este fenómeno se atribuyó inicialmente a que la luz se dispersaba por pequeñas partículas de grafito; pero para Donald Huffman y Wolfgang Kratschmer las explicaciones no eran satisfactorias, así que simularon en su laboratorio polvo de grafito y experimentaron cómo se transmitía la luz en este medio; lo hicieron generando un arco eléctrico entre dos electrodos de grafito en medio de un ambiente de helio gaseoso, para que las partículas de carbono se condensaran sobre una superficie de vidrio de cuarzo; de esta forma se sintetizó por primera vez el Fullerenos, sin la intención directa de hacerlo⁴.

Sin embargo, su descubrimiento se le atribuye comúnmente a Curl, Kroto y Smalley en 1985 (Christiny, 1998); estos últimos tomaron un disco de grafito y lo calentaron con un rayo láser para producir carbono gaseoso, luego un chorro de Helio gaseoso barre el

⁴Como se explicó arriba, la posibilidad de evaporar sustancias sólidas a plasma genera cúmulos de las sustancias que se pueden ver en espectros de masas para determinar su estructura, el método consiste en aplicar un laser de alto poder sobre un sustrato de carbono, que luego se enfría en un medio gaseoso de Helio, de esta forma se obtienen los cúmulos de carbono, al estudiar los resultados, se observa la presencia de cúmulos cíclicos con ángulos de enlace que no son similares a los pronosticados de acuerdo a las hibridaciones conocidas, aparece un cumulo bastante significativo que corresponde al C_{60} , que debe ser cíclico y con ángulos de enlace por determinar.

vapor hacia afuera, donde se enfría el carbono y se condensa, formando los cúmulos de carbono, los cuales se estudiaron por diferentes métodos para hallar sus propiedades; por el método del Infrarrojo se observó que estos cúmulos de carbono proyectaban unas bandas características del grafito y otras no; con el método del espectrofotómetro de masa, el resultado era de 720 u.m.a., lo que indicaba que estaba formado por 60 átomos de carbono.

Estructura del C₆₀.

Son básicamente 60 carbonos dispuestos de tal forma que simulan una esfera, pero al igual que un balón de fútbol es hueca, solo mide un nanómetro, está formado por 12 pentágonos y 20 hexágonos que forman una red cristalina, se sabe que la separación entre dos moléculas es de 1 nm (nanómetro) y que están unidas por débiles fuerzas de van der Waals, es soluble en benceno, así que se pueden preparar en el laboratorio disolviéndolo en benceno y permitiendo que este se cristalice cuando se evapora el benceno.

El nombre de fullerenos o fullerenes, se otorga en honor a Richard Buckminsterfuller, un diseñador que en la década de 1960 creó una cúpula geodésica, muy similar al modelo que se le da a la estructura de C₆₀ reciben el nombre de buckminsterfullerenes o bien simplemente fullerenes sus nombres en inglés (y en español, buckminsterfullerenos o fullerenos), El primer nombre tiende a reservarse para la primera estructura descubierta, el C₆₀, mientras que fullerenos se usa en sentido más amplio para toda la familia estructural, Coloquialmente se denomina a menudo en inglés buckyball. (Herráez, 2009)

Sus características y propiedades que son producto de su estructura, es lo que ha permitido que seande gran utilidad para los investigadores en la nanotecnología, ya que tiene la capacidad de conducir la electricidad y el calor, su resistencia es muy alta, cien veces más que el acero, pero al mismo tiempo es mucho más ligero que el plástico, de esta forma se pierde la convencionalidad de las sustancias que se conocen actualmente.

Los nanotubos de Carbono (NTC).

Son estructuras formadas por láminas de grafito, pero que en este caso se enrollan para formar tubos que están cerrados en sus puntas, sus paredes están formadas por una malla de agujeros hexagonales, se pueden sintetizar tubos de paredes simples o de múltiples capas, sus propiedades similares a la familia de los fullerenos permiten idealizar estos materiales ya que pueden formar hilos muy largos alrededor de 100 Micras con diámetros de tan solo 2 nm, algo así como tener un cable muy delgado de un centímetro y de 10 kilómetros de largo, que no se deforma ni se rompe por su peso, además más

resistente que el acero y su comportamiento electromagnético permite usarlo como semiconductor o como metal propiamente dicho (Royal Society, 2004: 8-9)⁵

Hay varios procesos para preparar y sintetizar NTC, Ebbeser y Publckel en 1992 desarrollaron una técnica donde se conectan 2 barras de grafito a una fuente de voltaje, se separan un poco y se permite el paso de la corriente eléctrica, se genera una chispa entre las barras, esto debe estar en un medio de Helio que genera una presión de 400 torr, el carbono se evapora en un plasma caliente y posteriormente se condensan nanotubos. Otro método es usando pulsos de láser en lugar de la electricidad para generar el gas de carbono caliente (1200 Celsius), en este proceso se deben usar catalizadores de cobalto, níquel o hierro para dar nanotubos de pared simple. (Alcca Quispe, 2005), si no se usan catalizadores, los tubos resultados anidados, del tipo de pared múltiple. (Poole & Owens, 2007)

También se puede realizar la síntesis de NTC de multipared mediante el método de "spray-pyrolysis" (Delgado Ramos & Takeuchi Tan, 2008). Se tiene un tubo "vicor" (óxido de silicio o vidrio), el cual se calienta a 900° Celsius, dentro de un horno cilíndrico equipado con un controlador de temperatura. Una solución de 25 ml preparada con ferroceno y tolueno se alimenta por medio de un nebulizador con un flujo de Argon al interior del tubo "vicor"⁶. En el interior de este tubo, las moléculas de tolueno se descomponen en átomos de carbono y se ordenan hexagonalmente en forma de nanotubos. Esto sucede por la presencia de nanopartículasdehierro provenientes de la descomposición del ferroceno, las cuales funcionan como catalizador de la formación de los NTC. De esta manera, se deposita una capa de NTC en forma radial con respecto a la pared interior del tubo "vicor".

⁵ Al enrollarse una capa de grafito en un nanotubo, además de alinearse los átomos de carbono alrededor de la circunferencia del tubo, se restringen las clases de función de onda que pueden tener los electrones, lo que a su vez afecta su movimiento y desempeño. Dependiendo de la forma en la que se enrollen las capas de grafito, el nanotubo puede ser un semiconductor o bien un metal.

⁶Ibíd.

El grafeno

Se mencionó en el apartado anterior que los Nanotubos de Carbono están formados por estructuras cilíndricas de láminas de grafito; las láminas o monocapas reciben el nombre de grafeno, porque provienen del grafito; las capas son del espesor de un átomo de carbono, vale aclarar que son partículas de tamaño nanométrico.

Así pues el grafeno es una capa bidimensional, y se pensaba que era imposible fabricarlo experimentalmente; fue descubierto en 2004 por el grupo de André Geim, de la Universidad de Manchester y de Kostya Novoselov, del Instituto de Tecnología Microelectrónica en Chernogolovka, Rusia. Ellos recibieron el Premio Nobel en Física en 2010 por su descubrimiento y aportes al conocimiento de sus propiedades.

Esta forma alotrópica del carbono está presente en el lápiz común; cuando escribimos dejamos sobre el papel miles de capas de grafeno, que se encuentran adheridas por débiles fuerzas de Van der Waals e interacciones de los orbitales π de los átomos de carbono. La hibridación sp^2 (ángulos de 120°) explica la estructura hexagonal del grafeno. Cada uno de los carbonos contiene cuatro electrones de valencia en el estado hibridado, tres de esos electrones se alojan en los híbridos sp^2 , y forman enlaces covalentes simples. El electrón sobrante se aloja en un orbital atómico de tipo «p» perpendicular al plano de los híbridos. El solapamiento lateral de dichos orbitales da lugar a formación de orbitales de tipo π . Algunas de estas combinaciones propician un gigantesco orbital molecular deslocalizado entre todos los átomos de carbono que constituyen la capa de grafeno.

Las propiedades del grafeno son únicas, por lo que actualmente es muy estudiado en todo el mundo para buscar sus múltiples aplicaciones; si el estudio se hace desde sus bandas electrónicas es un semimetal, transporta los electrones a muy altas velocidades, es flexible, transparente, rígido y sus constantes elásticas son las más altas medidas en un material, lo que le permite recibir grandes tensiones sin romperse; su resistencia es 200 veces mayor que la del acero, es muy impermeable y no permite que otros átomos y moléculas lo atraviesen a pesar de su tamaño (grosor de un átomo); es químicamente inerte y sus propiedades no cambian a temperatura ambiental y presión atmosférica; consume menos electricidad para una misma tarea que el silicio y genera electricidad al ser alcanzado por la luz. (Jarillo-Herrera, 2011.)

Estas propiedades permiten que se aplique el grafeno en electrónica incorporándolo como parte de los circuitos integrados; se pueden conseguir baterías más duraderas, para el caso de los móviles y otras aplicaciones; se podría usar para blindajes por su dureza, en la fabricación de pantallas táctiles flexibles, cables de alta velocidad, audífonos y parlantes más profesionales, pinturas que absorben energía, cámaras fotográficas muchos más sensibles a la luz, además de todas las que en este momento se están creando, que mejoran el rendimiento de los materiales a los que estamos acostumbrados.

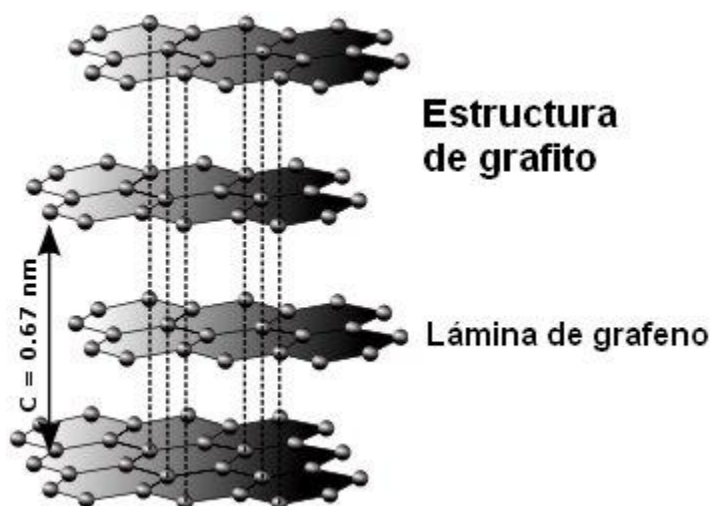


Figura 4. Estructura del grafito. (Recuperada de <http://www.fisica.uh.cu/bibvirtual/vida%20y%20tierra/grafeno/index.htm>)

3.4 Comportamiento cuántico de la materia

3.4.1 Modelo Atómico Refinado

En el capítulo anterior describimos el comportamiento fenomenológico de la materia con fundamento en la hipótesis atómica sin entrar en la teoría más moderna del átomo que se desprende de la física cuántica; hablamos también de algunos materiales nanoestructurados derivados del carbono, sin hacer mayor referencia a sus propiedades. Hasta aquí, esa hipótesis atómica recuperada por Dalton ha sido suficiente.

Recordemos lo que escribe Dalton (1808): “La materia no es continua, sino que está formada por partículas indivisibles, llamadas átomos, entre las cuales no hay nada (está el vacío). Los átomos se pueden unir para crear combinaciones de átomos que forman los compuestos químicos.” (Dalton, J. *Un nuevo sistema de filosofía química*, publicado en 1808. Se puede ver en <http://desarrolloteoriatomicas.blogspot.com/2009/06/un-nuevo-sistema-de-filosofia-quimica.html> recuperado el 27/06/2013. Para los estudiantes se

recomienda: http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi_quepaso/john-dalton.htm recuperado el 27/06/2013.)

Estas ideas, desarrolladas por los químicos a lo largo del siglo XIX, utilizadas por Maxwell, Boltzmann y Gibbs para la construcción de la primera física estadística conocida, no fueron aceptadas por los más importantes físicos alemanes de finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX. Fue Albert Einstein quien no solo rescató la hipótesis corpuscular tanto de la materia como de la luz sino quien sugirió además la forma experimental de comprobar la hipótesis atómica.

Los pasos posteriores en el desarrollo del modelo atómico a comienzos del siglo XX son bien conocidos y no nos detendremos en las ideas clásicas que poco a poco fueron descartándose hasta llegar al modelo de Bohr; resumamos los modelos previos. El primero, el de Thomson, surgió después del descubrimiento del electrón por él mismo en el famoso laboratorio de Cambridge y se asemejaba a un pudín esférico con pasas, en donde las pasas serían precisamente los electrones. Para entonces el átomo ya había dejado de ser indivisible. Los experimentos de Marsden y Geiger, llevaron a Rutherford, quien había sido estudiante de Thomson, al descubrimiento del núcleo atómico y al modelo planetario que lleva su nombre: el átomo estaría compuesto de dos partes claramente diferenciadas, un núcleo cargado positivamente, conteniendo casi toda la masa del átomo, y unos electrones diminutos y con una masa mucho más pequeña que la del núcleo, sumando la misma carga de éste, orbitando alrededor suyo en forma similar a como lo hace la Luna alrededor de la Tierra. Inestable a la luz de la teoría electromagnética, este modelo fue mejorado por Bohr, mientras visitaba a Rutherford en su laboratorio de Cambridge durante una estancia postdoctoral. El modelo de Bohr partía de un concepto hasta entonces extraño en la física: el de **los saltos cuánticos**.

Antes de referirnos al modelo de Bohr, desarrollado hace justo un siglo, a comienzos de 1913, es indispensable mencionar un avance fundamental que se había dado en la física a raíz del denominado efecto fotoeléctrico, al que volveremos más tarde. Heinrich Hertz había descubierto en 1887 que cuando luz violeta o ultravioleta incide sobre ciertos metales se producen descargas eléctricas. Una vez descubierto el electrón una década más tarde, es fácil imaginar que lo que hace la luz es desprender electrones. Cómo lo hace es un misterio, puesto que los resultados experimentales no encajan dentro de la física clásica. Lo único que se entiende es que la luz, supuestamente una onda, transfiere su energía a los electrones para que se desprendan del metal. Pero la corriente generada no sigue la dependencia esperada del cuadrado de la amplitud, una medida de la intensidad de la onda. Es entonces cuando Albert Einstein propone en 1905 un modelo corpuscular para la luz, mas no para explicar el efecto fotoeléctrico, como afirman la mayoría de los textos, sino con una mente más amplia: elaborar la estadística de la radiación electromagnética, en forma similar a como Boltzmann la hacía con los átomos

en los que sus colegas físicos no creían. Con su hipótesis, Einstein da un mayor soporte a la hipótesis de Planck de la cuantización de la energía, pues no solamente la materia la emite y absorbe en forma discreta sino que ella está en la radiación en forma cuantizada.

Para construir su modelo, Bohr enuncia 3 postulados; el tercero retoma la hipótesis de Einstein de los cuantos de radiación. El primero supone que solamente le son permitidas a los electrones ciertas órbitas para que no radien energía; el segundo afirma que en esas órbitas, discretas, el momentum angular está cuantizado: es un número entero de veces la constante de Planck dividida por 2π , una nueva constante denominada \hbar . De este postulado y la segunda ley de Newton se concluye que los electrones solamente pueden tener ciertos valores de energía, dependientes de esos números enteros. Gracias al tercer postulado, los electrones pasan de una a otra órbita estable emitiendo o absorbiendo un cuanto de radiación. Bohr combina ideas clásicas y cuánticas, estableciendo una nueva ley para la radiación y un postulado adicional de cuantización.

Tampoco este modelo más sofisticado propuesto por Bohr, aunque contiene algunas de las ideas básicas clave para la nueva física, es del todo correcto, mucho menos exacto, y no puede aplicarse más que para el átomo más sencillo de todos, el del hidrógeno.

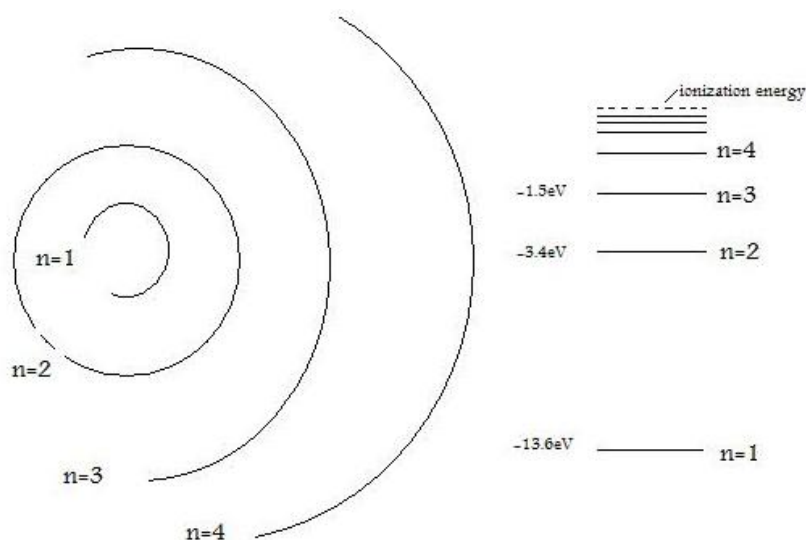


Figura 5. Modelo de Bohr de órbitas estacionarias para el átomo de hidrógeno. Los electrones saltarían en forma discontinua de una a otra de las órbitas permitidas, caracterizadas por momentum angular $n\hbar$ (energías cuantizadas), recibiendo o emitiendo la energía adecuada.

Hay una dinámica de las partículas constituyentes dictada por lo que hoy se conoce como teoría cuántica que conduce a una descripción adecuada de la materia. Hay varias formulaciones matemáticas de la misma teoría, y no entraremos en los detalles de ninguna de ellas porque van más allá de las pretensiones de este trabajo. Nos limitamos

a decir que la dinámica de los electrones en el átomo prevista por la denominada Ecuación de Schrödinger, determina las propiedades químicas de cada sustancia.

3.4.2 Extraño comportamiento de partículas

El caso más sencillo, el comportamiento de los electrones libres, es decir, de electrones que no están ligados al núcleo dentro del átomo, es relativamente fácil de describir, si bien escapa a la lógica clásica. Veámoslo en un experimento particular, el de la doble rendija. Según Richard Feynman, el comportamiento de los electrones en dicho experimento encierra todo el misterio de la física cuántica.

Feynman, a quien nos referiremos ampliamente en el capítulo 5º, hizo una bella y didáctica exposición del comportamiento cuántico de la materia, publicada en el capítulo 37 del primer volumen de sus bien conocidas «Lectures on Physics». (Feynman, 1963.) En él describe y analiza el denominado “experimento de la doble rendija”, un experimento que había sido realizado a comienzos del siglo XIX por Thomas Young y que supuestamente había puesto fin a la controversia sobre el carácter de la luz, si estaba compuesta de partículas o sería una onda. Lo que se concluyó es que la luz es un típico fenómeno ondulatorio, como lo demostró teóricamente Maxwell medio siglo más tarde. El experimento de Feynman considera lo que ocurrirá con balas de cañón, con ondas y con electrones si se abren 2 ranuras en una pantalla que impide el paso de unos y otras. En esa época (comienzos de 1961), como él mismo lo afirma, el de los electrones era un experimento pensado. Como dato curioso, relatado por Giraldo en *Unos cuantos para todo*, ese mismo año dejó de serlo: el experimento fue materializado por Claus Jönsen, de la Universidad de Tubinga, Alemania, precisamente en 1961. (Giraldo, 2009.) Reproducimos en esta sección las partes esenciales del experimento pensado tal como se presenta en esa obra, no sin antes advertir que ha sido realizado con fines didácticos en muchas formas. Hacemos referencia al realizado en los laboratorios Hitachi en 1989, disponible en la página respectiva.: <http://www.hitachi.com/rd/research/em/doubleslit.html>

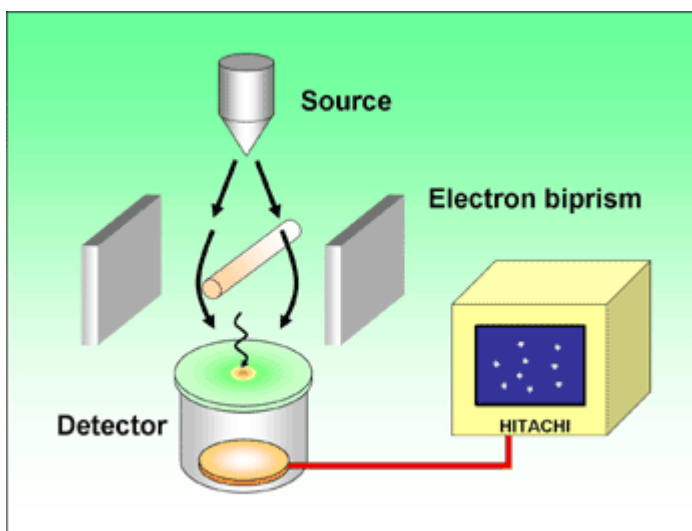


Figura 6. Experimento de la doble rendija Tomado de la página de Hitachi, Ltd.

(Autorizada para reproducción por parte de Hitachi sin fines comerciales <http://www.hitachi.com/rd/research/em.html>.)

En dicho experimento, después de ser emitidos desde una fuente en el microscopio electrónico, los electrones pasan por lo que se denomina un *biprisma*, equivalente a las dos ranuras, y son detectados uno por uno en una pared al final del recorrido. Poco a poco se van formando “franjas de interferencia” características de las ondas, como explicaremos a continuación. Sobre el microscopio electrónico volveremos en el capítulo 5º.

3.4.3 Introducción al mundo cuántico

Vale la pena percibir la diferencia entre el comportamiento de las ondas y el de los corpúsculos convencionales, y compararlo con el comportamiento de un haz de electrones y un haz de luz bajo distintas circunstancias. Nos dice Feynman en la introducción a su conferencia: “La «mecánica cuántica» (sic) es la descripción del comportamiento de la materia en todos sus detalles y, en particular, de lo que sucede a escala atómica. Las cosas a una escala muy pequeña no se comportan como nada de lo que ustedes tengan experiencia directa. No se comportan como ondas, no se comportan como partículas, no se comportan como nubes, o como bolas de billar, o como pesos colgados de muelles, o como nada que ustedes hayan visto alguna vez”. Después de examinar lo que se pensaba sobre la luz, partículas en el siglo XVII, ondas durante los siglos XVIII y XIX, nuevamente partículas desde 1905; de recordarnos que el electrón, partícula descubierta por Thomson padre, con propiedades ondulatorias en ocasiones, como lo comprobó, entre otros, Thomson hijo, agrega: “Hay, no obstante, una feliz circunstancia: los electrones se comportan exactamente igual que la luz. (Subrayado por

el autor.) El comportamiento cuántico de los objetos atómicos (electrones, protones, neutrones, fotones y demás) es el mismo para todos; todos son «partículas-ondas», o como quiera que ustedes prefieran llamarlos. Así que lo que aprendamos sobre las propiedades de los electrones (que utilizaremos como ejemplo) se aplicará también a todas las «partículas», incluyendo los fotones en la luz».

Los experimentos que propone a continuación establecen claramente la diferencia entre el comportamiento de corpúsculos y de ondas en la fenomenología clásica. Veámoslo, en forma resumida, ligeramente modificada. Para mayores detalles, se aconseja ir a la fuente original. Pero también quiero recordarles el resultado detallado del experimento hecho con luz por Young en 1803.

4.3.1 Un experimento con balas

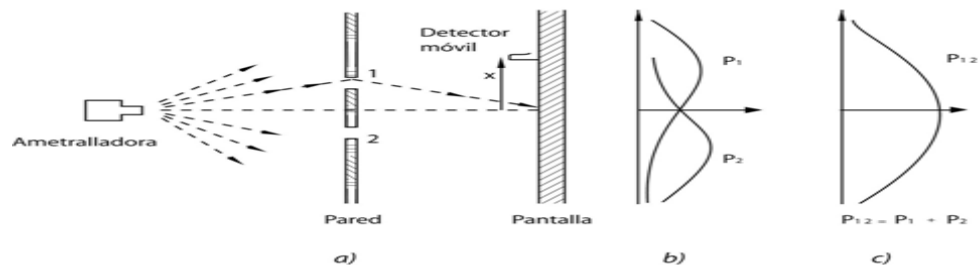


Figura 7. Reproducción del experimento con balas propuesto por Feynman.

Para facilitar el relato de este experimento pensado, se nos ocurre hacer referencia a los perdigones que utilizaban las escopetas de cacería antiguas, más bien que a las balas de una ametralladora. La dispersión de esas municiones de forma esférica era enorme. Imaginemos, pues, una lluvia continua de perdigones, supuestamente indestructibles para poder comparar posteriormente con la *lluvia de electrones* que salen de un metal al calentarlo. En frente, como muestra la figura, hay una pared. Conviene imaginar que el cañón de la escopeta no está firme, pero sí su culata, la cual puede rotar libremente en un plano horizontal; los proyectiles saldrán entonces en cualquier dirección hacia adelante. En frente hay un par de agujeros, los únicos espacios por donde pueden atravesar las balas. La forma de los agujeros, por extraño que parezca, no importa mucho, pero sí su tamaño. Esto es particularmente cierto en el caso del *cañón de electrones* (figura 7). En la primera parte del experimento con balas se cubre el agujero derecho (inferior, en la figura); la distribución estadística de los perdigones es más o menos como la que se muestra en la parte (izquierda en el campo de tiro) de la figura 7b; si, por el contrario, se impide el paso por el agujero izquierdo, lo que se observa es la distribución de la parte inferior, reflejo especular fiel de la anterior.

Vamos a repetir el experimento con los dos agujeros abiertos. El resultado depende de la separación entre los agujeros. Supongamos que esta separación es pequeña, suficiente como para que los dos máximos de cada agujero por separado se puedan superponer dando lugar a un máximo en el centro; si la separación fuera muy grande, los dos máximos al superponerse darían lugar a dos máximos separados. Cito a Feynman, para las condiciones asumidas en su conferencia: “Las probabilidades simplemente se suman. El efecto cuando ambos agujeros están abiertos es la suma de los efectos con cada agujero abierto por separado. Llamaremos a este resultado una observación de «ausencia de interferencia», por una razón que verán más adelante. Hasta aquí lo relativo a las balas. Ellas llegan en porciones, y su probabilidad de llegada no muestra interferencia”.

La siguiente figura ayuda a entender lo que pasa con las balas de cañón.

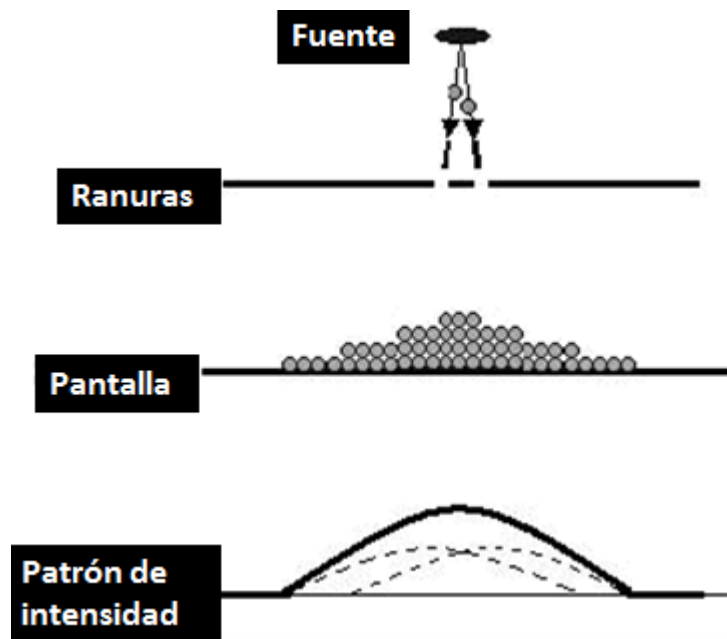


Figura 8. Esquemización del experimento con balas propuesto por Feynman.

4.3.2 Un experimento con ondas

Imaginar u observar lo que ocurre con ondas es muy simple, si se recurre como ejemplo a ondas en un cubilete de agua. El experimento ha sido discutido en la sección 2.6 de *Unos cuantos para todo*. El recipiente puede ser, para efectos prácticos, un molde rectangular que termina suavemente en los bordes, para evitar reflexiones indeseables. Como «fuente de ondas» puede usarse una barra plana que se hace oscilar en forma armónica verticalmente por medio de un motor, produciendo ondas planas; o para comparar más fácilmente con el experimento de las balas, una punta que produce ondas circulares a cierta frecuencia. A la derecha de la fuente tenemos de nuevo un obstáculo

con dos 'agujeros', más bien ranuras verticales. Cada ranura actúa como una fuente de ondas de agua circulares. (Obsérvese que las ondas en el agua proporcionan, en el caso ideal, un experimento bidimensional.) Esta vez, más que la distribución de probabilidad, nos interesa la intensidad de la onda; la intensidad de una onda es proporcional al cuadrado de la amplitud, o perturbación máxima, para el caso la altura de la columna de agua a partir del nivel de referencia o superficie horizontal.

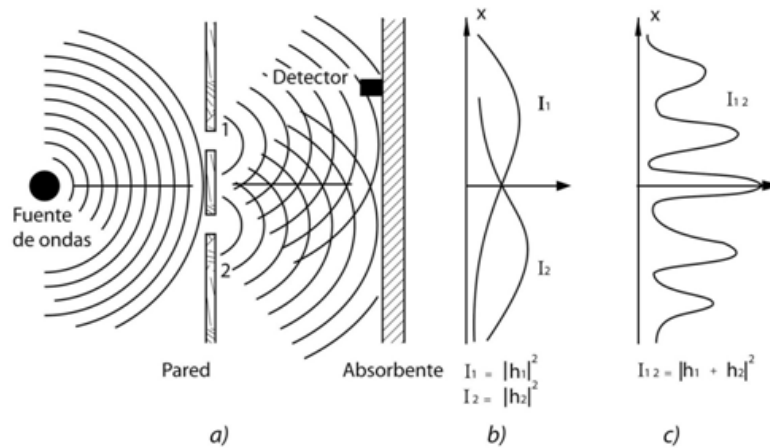


Figura 9. Esquema del experimento con ondas en un cubilete de agua.

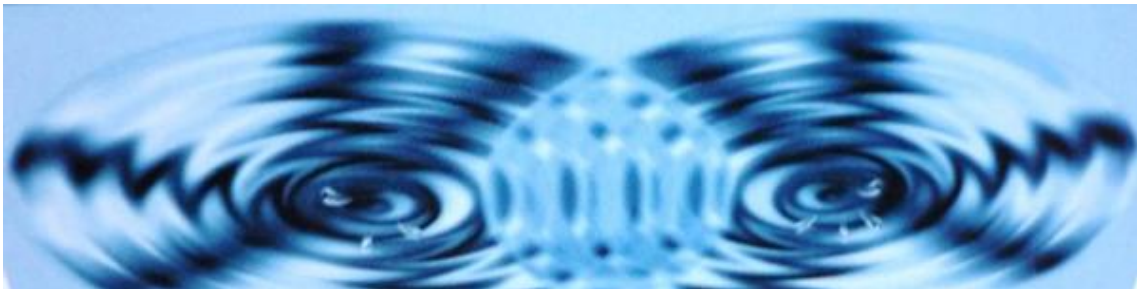


Figura10. Ondas de agua de forma circular, producidas en fase. (Al-Khalili, 2003.)

La figura anterior ayuda a entender lo que ocurre.

Sin entrar en detalles, en todos los casos el resultado es como el que se muestra en la figura1 para ondas de luz, si la ranura es menor que la longitud de onda de la onda generada. De nuevo, si una de los ranuras se obstruye la intensidad de la onda resultante se va desvaneciendo hacia los lados. Pero si las dos ranuras permiten el paso de las ondas simultáneamente, se presenta un fenómeno característico de las ondas: ¡habrá interferencias, constructivas y destructivas!

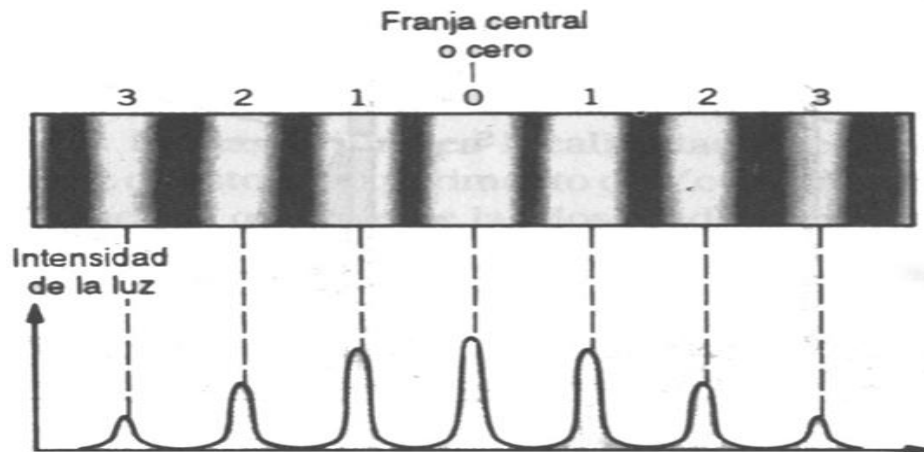


Figura 11. Resultados típicos del experimento de Young (1803). La variación de la intensidad es proporcional al cuadrado de la amplitud de la onda en cada punto. Thomas Young fue un médico londinense.

En los dos casos, ondas de luz y ondas de agua, se ha supuesto que la distancia entre las ranuras, caso de la luz, o entre las fuentes secundarias, ondas de agua, es comparable a la longitud de onda. En cada caso, la intensidad resultante se puede escribir como

$$I_{12} = I_1 + I_2 + 2(I_1 I_2)^{1/2} \cos \delta.$$

El último término se suele llamar *término de interferencia*, y δ es la diferencia de fase con que llegan las dos señales desde los dos agujeros: en el centro, la diferencia es nula, de ahí el *máximo de interferencia* que se observa. Observe que $\cos \delta$ toma todos los valores posibles entre -1 y +1, como corresponde a las funciones seno y coseno.

3.4.4 Un experimento con electrones

Tomemos textualmente de Feynman: “Imaginemos ahora un experimento similar con electrones. Se muestra esquemáticamente en la figura 12. Tenemos un cañón de electrones que consiste en un filamento de tungsteno calentado mediante una corriente eléctrica, rodeado por una caja metálica con un agujero. Si el filamento está a un voltaje negativo con respecto a la caja, los electrones emitidos por el filamento serán acelerados hacia las paredes y algunos pasarán a través del agujero. Todos los electrones que salgan del cañón tendrán (aproximadamente) la misma energía. Frente al cañón hay de nuevo una pared (simplemente una placa metálica delgada) con dos agujeros. Detrás de la pared hay otra placa que servirá de «pantalla». Delante de la pantalla colocamos un detector móvil. El detector podría ser un contador geiger o, quizá mejor, un multiplicador electrónico, que está conectado a un altavoz.”

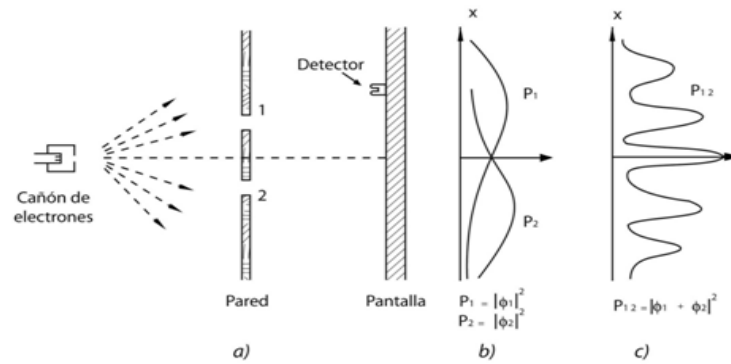


Figura 12. Experimento con electrones (reproducción del texto de Feynman).

La siguiente figura ayuda a entender lo que ocurre.

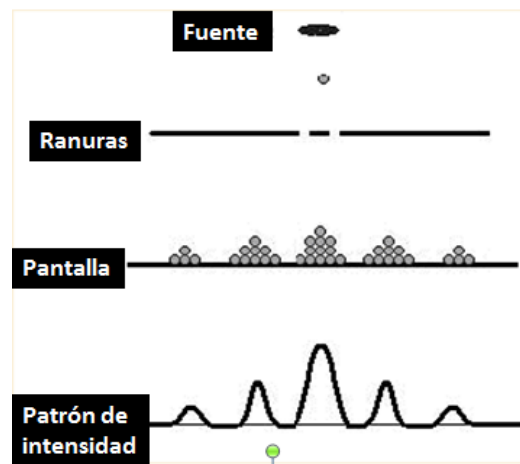


Figura 13. Ilustración de lo que ocurriría con los electrones al detectarlos en la pared, si no se sabe por cuál de los agujeros atraviesa cada uno de ellos.

Para la fecha en que Feynman elaboró su conferencia, probablemente este experimento no se había realizado, pero sí otros equivalentes; lo más interesante es que, a pesar de ser entonces un *experimento pensado*, nadie tuviera duda alguna sobre el resultado. Un experimento como éste, con las adecuaciones necesarias o convenientes, se ha realizado múltiples veces desde entonces. El resultado es siempre el mismo: los electrones, cuando pasan simultáneamente por los dos agujeros, ¡dan señales de interferencia!

Innecesario decir que cuando los electrones pasan solamente por un agujero se comportan como los proyectiles del primer experimento. La distribución de probabilidades para uno u otro agujero es la misma y sigue la distribución de corpúsculos «normales». Pero cuando pasan simultáneamente por los dos, sin que

sepamos por cuál de los agujeros pasó cada electrón, la distribución de probabilidades no es la suma de probabilidades: $P_{12} \neq P_1 + P_2$. En algunos puntos el resultado es prácticamente cero; en otros el resultado es mayor que la suma de los dos por separado, algo en verdad sorprendente. Efectivamente, ¡hay un término de interferencia! En lenguaje matemático, todo el misterio desaparece cuando se recurre al término de interferencia de la expresión de intensidades para ondas.

Dice Feynman: “Creemos entender lo que pasa con las ondas: el frente de ondas se divide, de tal manera que una parte atraviesa la ranura 1 y otra atraviesa la ranura 2. ¿Estará pasando lo mismo con los electrones? La respuesta (inicial; comentario del autor) es ¡no! Los electrones atraviesan enteros, no se dividen en una parte que va por la ranura 1 y otra que va por la ranura 2. Lo único que se está haciendo, desde el punto de vista de la observación de los electrones, es detectar los electrones cuando llegan a la pared. No hemos seguido sus trayectorias. Intentemos hacerlo”.

3.4.5 Observando las partículas

Feynman describe un experimento pensado, mediante el cual podemos observar el paso de los electrones. Tal vez para el caso de los electrones la propuesta de Feynman es difícil de realizar, aunque se pueden hacer modificaciones que materialicen dicho experimento mediante «transistores de un solo electrón», como los que se describen en el capítulo séptimo de *Nanotecnología*. Podríamos recurrir, para simplificar las cosas, a un experimento con átomos: haciendo pasar átomos en vez de electrones, el resultado es esencialmente el mismo: ¡hay interferencia cuando no se observa el paso de ellos! En experimentos más sofisticados se han hecho pasar fullerenos o *buckyballs* por una apropiada rejilla de difracción (una membrana con varias ranuras). (Al-Khalili, 2003.) Con fotones, el experimento es sencillo de hacer.

¿Qué ocurre cuando se *espía* el paso de electrones o de átomos a través de las ranuras, de tal manera que podemos decir por dónde pasa cada uno de ellos? El espionaje se puede hacer colocando una fuente de luz, imaginémosla muy tenue, entre la placa que contiene los agujeros por donde cruzan y la placa o pared donde se detectan. Los átomos, con mayor facilidad que los electrones, dispersan la luz de la fuente luminosa, permitiendo determinar por dónde pasó cada uno de ellos. ¡El misterio desaparece! Los electrones o los átomos se comportan ahora como los proyectiles del primer experimento: en otras palabras, mediante la observación ¡se ha destruido el patrón de interferencia! El resultado se muestra en la figura 14.

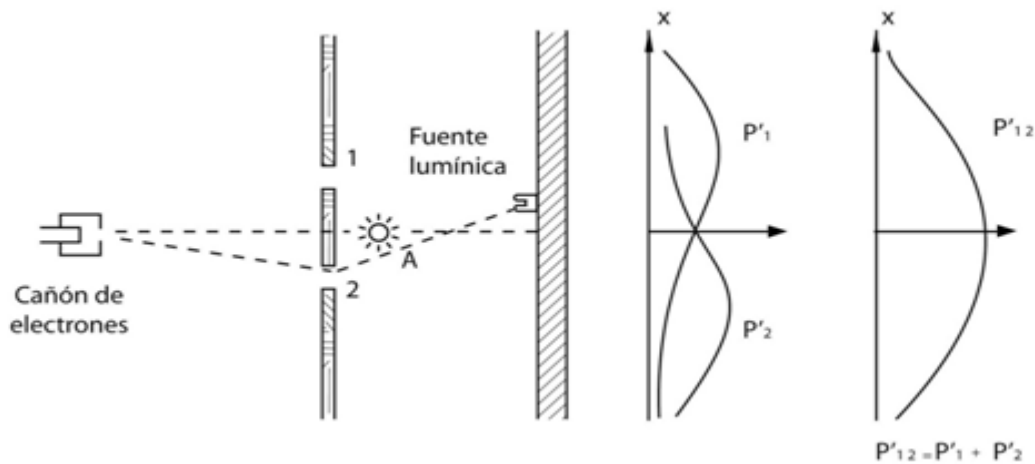


Figura 14. Observando (espiando) el paso de los electrones.

Los electrones (también los átomos) son muy *sensibles* y alteran sus trayectorias cuando se observan, lo que no ocurre con las balas. ¿Qué ocurre si se disminuye la intensidad de nuestra fuente de luz todavía más, gradualmente? Puede suceder que algunos de los electrones o átomos no sean *observados* al cruzar: nos hemos quedado sin saber por dónde pasaron, solamente supimos, por el detector en la pantalla, que llegaron a ésta. Para las partículas que no pudieron ser observadas, el resultado es el mismo que para el de la figura 9: exhiben un *patrón de interferencia*, como las ondas.

Los argumentos de Feynman nos llevan a descartar *teorías extrañas* sobre el comportamiento de los electrones cuando los observamos. No hay electrones que se dividan; tampoco los hay que puedan pasar a través de ambos agujeros. “Cuando los observamos, los electrones atraviesan (los agujeros) simplemente como esperaríamos que los atravesasen. Ya estén los agujeros abiertos o cerrados, aquellos electrones que vemos pasar a través del agujero 1 se distribuyen de la misma forma independientemente de que el agujero 2 esté abierto o cerrado.

¿No hay *alguna* forma de que podamos ver los electrones sin perturbarlos? El momento transportado por un «fotón» es inversamente proporcional a su longitud de onda ($p = h/\lambda$). Ciertamente el empujón dado al electrón cuando el fotón es dispersado hacia nuestros ojos depende del momento que transporta el fotón. ¡Ajá! Si sólo queríamos perturbar ligeramente a los electrones no deberíamos haber disminuido la *intensidad* de la luz, sino que deberíamos haber disminuido su *frecuencia* (que es lo mismo que incrementar su longitud de onda). Utilicemos luz de un color más rojo. Podríamos entonces utilizar luz infrarroja, o radio ondas (como el radar), y «ver» dónde fue el electrón con ayuda de algún equipo que pueda «ver» luz de estas longitudes de onda más largas. Si utilizamos luz «más suave» quizá podamos evitar el perturbar tanto a los electrones. Intentemos el experimento con ondas más largas. Seguiremos repitiendo

nuestro experimento cada vez con luz de una mayor longitud de onda. Al principio, parece que nada cambia. Los resultados son los mismos. Luego sucede algo terrible. Recordarán ustedes que cuando discutimos el microscopio señalamos que, debido a la *naturaleza ondulatoria* de la luz, hay una limitación a lo próximos que dos puntos pueden estar y seguir viéndose como dos puntos separados. Esta distancia es del orden de la longitud de onda de la luz. Por ello, ahora, al hacer la longitud de onda más larga que la distancia entre nuestros agujeros, vemos un *gran* destello borroso cuando la luz es dispersada por los electrones. ¡Ya no podemos decir por qué agujero pasó el electrón! ¡Simplemente sabemos que fue a alguna parte! Y es solamente con luz de este color cuando encontramos que los empujones dados a los electrones son suficientemente pequeños para que P'_{12} empiece a parecerse a P'_{12} , que empezamos a obtener algún efecto de interferencia. Y es sólo con longitudes de onda mucho más largas que la separación de los dos agujeros (cuando no tenemos ninguna posibilidad de decir dónde fue el electrón) cuando la perturbación debida a la luz se hace suficientemente pequeña para que obtengamos de nuevo la curva P_{12} mostrada en la figura 9.”

Pero no solo la observación directa cambia el comportamiento. Basta con tener la posibilidad de decidir por dónde pasaron los electrones, o los átomos, o los fotones, aunque no les sigamos la pista, para que cambie el comportamiento. En efecto, es importante aclarar algo que no tuvo en cuenta Feynman pero que ha sido resultado de recientes avances en la formulación del *principio de incertidumbre de Heisenberg*. Nos referimos a las denominadas *medidas libres de interacción*. La más sencilla da lugar a lo que se llama *borrador cuántico*. Como por falta de espacio no podemos explicar en detalle el procedimiento, remitimos a la fuente original. (Walborn *et al.*, 2000.) (Una versión didáctica se encuentra en <http://grad.physics.sunysb.edu/~amarch/>)

3.5 Comportamiento dual de la materia y principio de incertidumbre

Recordemos ahora lo que ya sabemos acerca de la luz: aunque nos la imaginábamos como una onda, en realidad está compuesta de *corpúsculos* o *granos de luz*, cuantos de luz denominados *fotones*. Como se mencionó atrás, hoy en día es posible controlar el flujo de fotones, para poder *manipular* fotones individuales. En el experimento de detección de electrones (o de átomos) mediante luz, podríamos utilizar fotones individuales: en tal caso, habrá circunstancias afortunadas en que el fotón y el electrón (o átomo) *se crucen*: habrá, pues, dispersión de un fotón por una partícula. Si eso ocurre, la partícula habrá sido «observada»: si la observación es suficientemente fina como para poder decidir por qué ranura pasó, su comportamiento al cruzar la doble ranura es *como de partícula*. Caso contrario, su comportamiento es *como de onda*: tendremos que aceptar que pasó simultáneamente por las dos. En la pantalla

observaríamos la superposición de dos patrones, uno de suma de probabilidades como ocurrió con los balines, otro de suma de intensidades, como ocurrió con las ondas de agua.

El experimento con electrones, con átomos o con moléculas se puede realizar con sumo cuidado, enviando, por ejemplo, un electrón o un átomo o una molécula (de fullereno, por ejemplo) cada vez, con la periodicidad que se desee, como ocurre en el experimento del Laboratorio Hitachi: digamos que uno cada cierto número de segundos, o de femtosegundos, no importa, de tal suerte que con la espectroscopía ultrarrápida de que se dispone en la actualidad el anterior ya haya sido detectado cuando el siguiente se envíe; es decir, podemos estar seguros de que no hay una interferencia *directa* entre la trayectoria del uno y el siguiente. Lo mismo puede hacerse, en principio, en un experimento con luz. Los resultados serán esencialmente los mismos. Esto quiere decir que si se presenta una interferencia, es la *interferencia del electrón* (o del fotón, o del átomo) *consigo mismo*.

La desaparición del patrón de interferencia en el experimento de la doble rendija cuando se observan los electrones fue asociado inicialmente con lo que se ha constituido para algunos en el principio más crucial de la nueva física: el principio de incertidumbre, enunciado por Heisenberg en la formulación alternativa a la de Schrödinger. En esencia, este principio establece límites a la posibilidad de describir de manera determinista el mundo. Volveremos a él dentro de poco, cuando nos refiramos al tunelamiento cuántico, base fundamental, al igual que el efecto fotoeléctrico, de la mayor parte de aplicaciones actuales en los semiconductores y la optoelectrónica.

3.5.1 Función de onda, dualidad y principio de complementariedad

Hemos dicho que una de las formulaciones de la mecánica cuántica lleva a describir los objetos cuánticos mediante la denominada función de onda. Cuando se hable de la descripción del electrón mediante una función de onda apropiada, se concluirá que la función de onda lleva la siguiente información: nos da la probabilidad de que el electrón se deposite en uno u otro lugar sobre la pantalla; la distribución de probabilidad, intensidad en el lenguaje de ondas, es lo que se ha representado en las figuras 9 a 13. Se volverá a la discusión del significado de esta afirmación más adelante.

La luz en la región visible o fuera de ella se suele representar mediante una onda, sobre todo en cierto tipo de experimentos: los de difracción, en particular. La difracción de rayos X abrió un campo extraordinariamente rico al estudio de los sólidos cristalinos. El experimento es muy fácil de entender cualitativamente: basta considerar planos cristalinos adyacentes a los que llega una onda plana de rayos X, como ilustra la figura 13. Hay interferencia constructiva, en este caso una 'reflexión' o 'dispersión' coherente,

cuando el ángulo \varnothing que forma el rayo incidente con el plano cristalino es tal que para una separación d entre planos cristalinicos adyacentes se cumple la relación

$$2d \sin \varnothing = n\lambda.$$

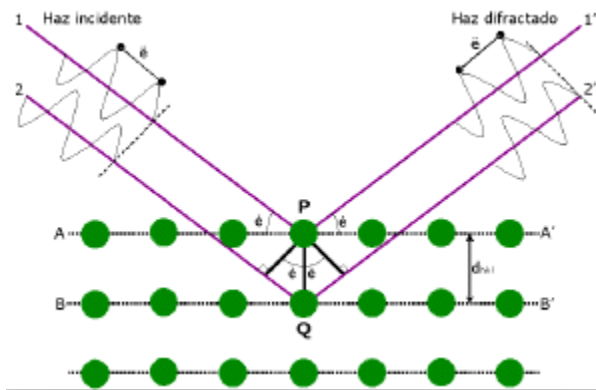


Figura 15. Esquema de la difracción de rayos X por un enrejado cristalino.

Aquí λ es la longitud de onda de los rayos X empleados, con longitudes en la región de unos pocos ángströms, y n el orden de interferencia. Su pequeña longitud de onda garantiza que la relación anterior pueda satisfacerse para n pequeño: $n = 1, 2, \text{etc.}$

Podemos afirmar, pues, categóricamente: los electrones y los fotones (o cualquier otro objeto cuántico: núcleos o sus componentes, átomos o sus agregados, etc) se comportan igual: si se les sigue la pista, se manifiestan como partículas; de lo contrario, tenemos que contentarnos con describirlos mediante una función de onda, un vector de estado o cualquier ente matemático permitido por el formalismo cuántico. Este último no es objeto de discusión en el presente trabajo.

En conclusión, y esto es lo esencial para las aplicaciones que vienen después:

1. Los componentes elementales del Universo, partículas elementales y partículas mediadoras, exhiben características de corpúsculo o de onda, dependiendo del tipo de experimento que se realice. Los agregados de partículas, sean estos quarks, núcleos, átomos o moléculas, no importa qué tan grandes sean, presentan en principio un comportamiento ondulatorio o corpuscular.
2. Esta dualidad onda-corpúsculo no se puede poner de manifiesto en un mismo experimento: o preparamos mediciones mediante aparatos para observar o poner en evidencia una naturaleza o la otra. Ambos caracteres son complementarios.
3. Es imposible saber cómo se está comportando un sistema cuántico a menos que lo observemos; pero el proceso de observación lo altera en una forma que no podemos anticipar.
4. Mientras no lo observemos, un sistema evoluciona *normalmente*, en una forma prevista por un ente matemático que nos permite hacer predicciones. En el caso usual más sencillo, ese ente matemático es la ecuación de Schrödinger.

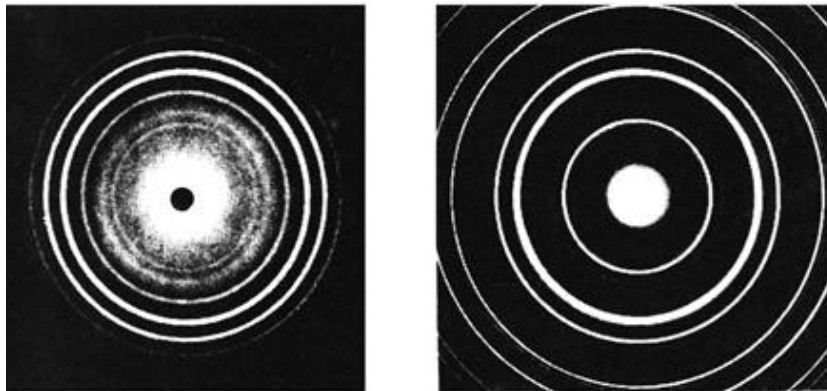
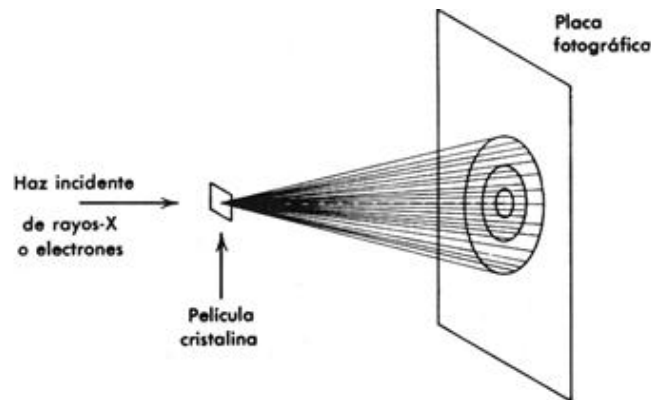


Figura 16. Patrón de difracción de electrones (izquierda) y rayos X (derecha). La figura inferior es de dominio público. La imagen superior fue cedida por William Herrera e ilustra muy bien el comportamiento similar anunciado por Feynman en la frase citada al comienzo de la sección anterior.

Con todo este procedimiento experimental que hemos estado analizando a lo largo de este capítulo, queremos enfatizar que la última palabra la tienen los experimentos. Pero hay algo más que inferir de antemano, proveniente de la descripción como de onda para un objeto cuántico: salvo para una partícula libre, cuya cantidad de movimiento se conozca, la onda que describe una partícula es un tren (paquete) de ondas de determinada extensión, digamos que Δx en la dirección x . Es bien sabido que un paquete de ondas se describe mediante una superposición de ondas de números de onda ($k = \lambda/2\pi$) en un rango Δk . El comportamiento ondulatorio de los electrones ya había sido sugerido por de Broglie y verificado experimentalmente por Thomson hijo, Davisson y otros. El momentum (por ende la velocidad) de una partícula está asociado a la longitud de onda de la onda que la representa. De Broglie partió de la relación entre el momentum y el vector de onda, $\mathbf{p} = \hbar \mathbf{k}$, establecida por Einstein para los “granos de luz”, para encontrar una relación entre la magnitud del momentum y la longitud de onda asociada a una partícula que se mueve con velocidad \mathbf{v} : $p = h/\lambda$.

Por otra parte, es bien sabido que en el paquete de ondas de extensión Δx números de onda en el rango Δk cumple la relación: $\Delta x \Delta k \sim 1$. Esta relación contiene en sí misma el enunciado usual del principio de incertidumbre, $\Delta p \Delta x \geq \hbar$, al que volveremos más adelante. Es bueno desde ya adelantar su significado en la forma en que lo interpretó Bohr, enunciando lo que se denomina el principio de complementariedad. En esencia, Bohr concluye que de un par de variables complementarias, como son para este caso x y p , cada una de ellas puede determinarse con precisión a expensas de la precisión con que pueda determinarse la otra.

Como hemos insistido desde el comienzo del capítulo, de acuerdo con Feynman, los resultados del experimento de las dos rendijas contiene la esencia del misterio de la física cuántica. Con razón fue escogido como *el experimento más bello en la historia de la física*, una ciencia experimental por excelencia, teórico-experimental para ser precisos, la prueba está en que nadie dudaba del resultado que se obtendría cuando el experimento pudiera materializarse. El experimento lo realizó, Claus Jönsson en la Universidad de Tubinga, Alemania, en 1961, cuando ya el experimento equivalente de difracción había sido *inmortalizado* hacía casi un cuarto de siglo con el premio Nobel otorgado a Thomson y Davisson en 1937.

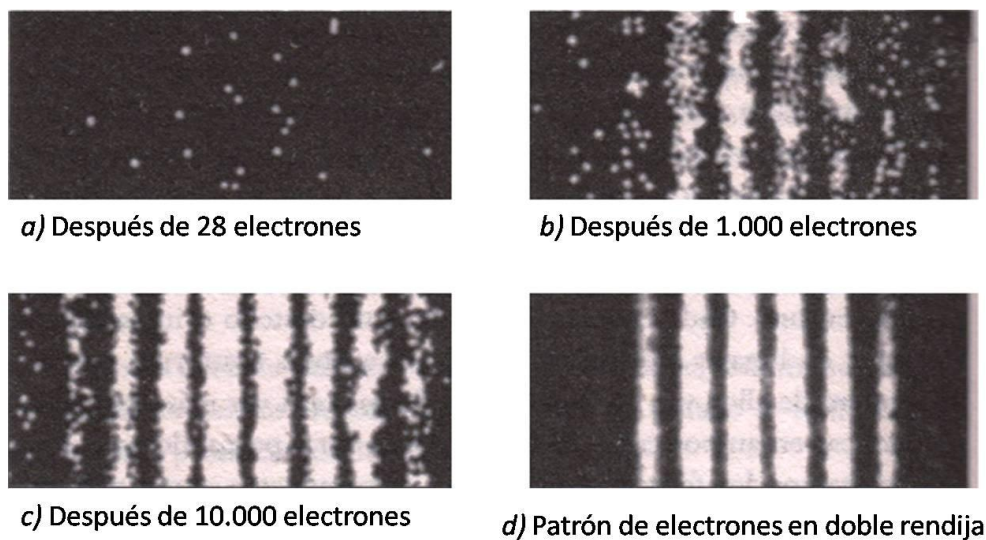


Figura 17. Experimento de Jönsson:
un experimento real de interferencia de electrones a través de dos ranuras.

3.6 Principio de Incertidumbre y Tunelamiento Cuántico

Como complemento a la sección anterior, volvamos de nuevo al Principio de Incertidumbre de Heisenberg, el cual está en perfecta armonía con la dualidad onda-corpúsculo, o de manera más general, con la descripción mediante una función de onda

de los entes cuánticos. Lo haremos en la forma que más a menudo se aplica en la región nanoescalar: el efecto del tunelamiento cuántico.

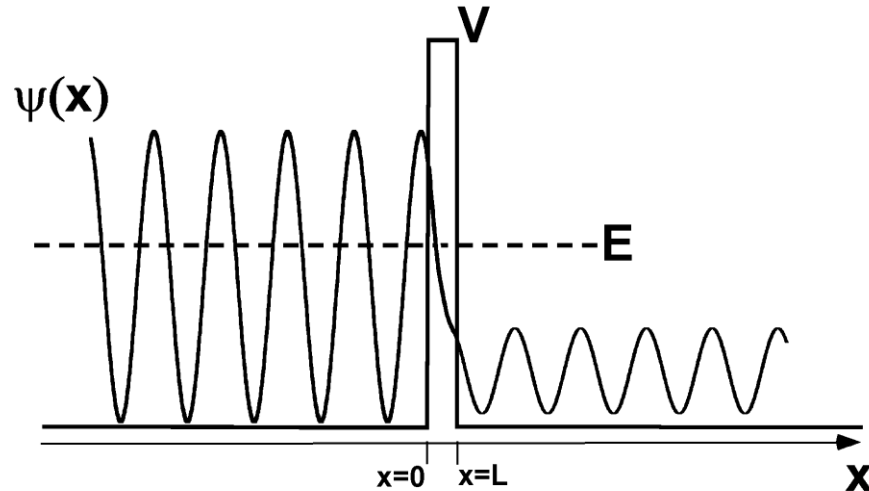


Figura 18. Esquemización del efecto túnel. (Aquí Ψ no es la función de onda sino la amplitud de probabilidad.)

El tunelamiento es uno de los efectos cuánticos de mayor aplicación en las tecnologías que involucran semiconductores. Es consecuencia del principio de incertidumbre, el cual suele enunciarse haciendo referencia a lo que en mecánica clásica se denominan dos variables conjugadas. Son conjugadas la posición y el momentum lineal, el ángulo y el momentum angular, la energía y el tiempo de que se dispone para medirla, y muchas otras variables que no tienen análogo clásico, como las componentes de espín. El principio mismo es consecuencia de los postulados básicos de la mecánica cuántica, los cuales hacen referencia a *observables* y *operadores*. En lenguaje elemental, un observable es una cantidad física que se puede medir como resultado de la observación. Dos variables conjugadas no se pueden determinar simultáneamente con absoluta precisión. Ello es consecuencia de que sus operadores no son conmutables, no es lo mismo aplicar uno y después el segundo que hacerlo en orden inverso. Antes de enunciar el principio en su forma rigurosa, vamos a ilustrar sus consecuencias con referencia a la figura 16.

Aceptando que un objeto cuántico, generalmente una partícula, por ejemplo un electrón, se puede describir mediante una función de onda, la figura representa la intensidad (amplitud de probabilidad) de una onda (partícula) que incide desde la izquierda sobre una *barrera de potencial*, un obstáculo para que esa onda o partícula continúe hacia la derecha. Lo que se espera clásicamente es que la partícula o el objeto

rebote contra unobstáculo, para el caso ilustrado mediante una barrera de potencial. En la práctica la barrera puede ser el espacio vacío entre dos metales o entre dos semiconductores o entre un semiconductor y un metal; o para ilustrarlo en un caso más elemental, el mal contacto que se establece entre dos trozos de cable. Si el objeto cuántico es un electrón, estese mueve inicialmente dentro del trozo de materia a la izquierda, pero hablando en términos probabilísticos, puede ingresar a formar parte del trozo de materia a la derecha. La línea discontinua representa la energía de movimiento que tiene la partícula. La altura de la barrera representa la energía (potencial) necesaria para que el objeto *dé el salto*, pasando de uno a otro material. El efecto se da también en los núcleos atómicos: un nucleón (el neutrón, por ejemplo), puede abandonar el núcleo, espacio en el que usualmente está confinado, por *efecto túnel*. La amplitud de la onda a la derecha, menor que la de la izquierda, representa la probabilidad de encontrar la partícula del lado derecho. El espacio entre las dos regiones está representado probabilísticamente por una intensidad decreciente de izquierda a derecha. Si la pared o el obstáculo es muy extenso, es en la práctica imposible que se dé el paso de una a otra región. Por el contrario, una pared muy delgada facilitará que se dé el tunelamiento. En el caso de los semiconductores, usualmente esa región suele ser de unos pocos nanómetros.

El “inverso” de *labarrera de potencial*, el *pozo de potencial*, una estructura bidimensional, fue uno de los primeros logros de materialización de la emergente nanotecnología cuando aún no se utilizaba este término.

El enunciado del principio de incertidumbre suele hacerse con referencia a la posición y el momentum de una partícula. Se dice entonces que ninguna de ellas, en principio, puede determinarse con absoluta precisión. El producto entre la incerteza Δs en la posición y la incertidumbre Δp en la cantidad de movimiento es mayor o igual a *h-barra*:

$$\Delta p \Delta s \geq \hbar.$$

Tanto el momentum \mathbf{p} como la posición \mathbf{r} son cantidades vectoriales, y las cantidades anteriores se refieren a una de las componentes. Más rigurosamente, la relación de incertidumbre para posición y momentum se escribe como $x p_x - p_x x = i\hbar$, y de manera similar para las otras dos componentes. La relación se generaliza a cualquier pareja de variables conjugadas.

4. NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA

4.1 Feynman y las primeras ideas sobre el comportamiento de la materia a escala mesoscópica.

Se atribuye al brillante físico norteamericano Richard Feynman, premio Nobel en 1965, haber hecho notar *la inmensidad de lo pequeño*. Lo que señaló entonces fue tan espectacular y novedoso que bien vale la pena dedicarle más de una sección en un trabajo como este. Veamos:

“Los principios de la física, tal y como yo los entiendo, no niegan la posibilidad de manipular las cosas átomo por átomo... sería posible, en principio, para un físico sintetizar cualquier sustancia que el químico proponga. ... Se colocan los átomos donde diga el químico, y así se hace la sustancia. Se podría ayudar a resolver los problemas de la química y de la biología si desarrollamos nuestra habilidad para ver lo que estamos haciendo, y para hacer cosas al nivel atómico”.

Richard Phillips Feynman 1959.

En un histórico congreso de la Sociedad Americana de Física, División Oeste, realizado a fines de 1959, Feynman dio una conferencia durante la cual por primera vez previó la posibilidad de manipular los átomos uno por uno, generando gran discusión entre sus colegas, ya que la tradición era hacerlo de lo macro a lo micro (*top-down*) y no de lo micro a lo macro (*bottom-up*), como él estaba proponiendo. Para entonces la idea era muy extraña y nadie creía que esto fuera posible. La imagen que proponía Feynman era más ambiciosa. Por eso planteaba también los siguientes interrogantes: “¿Cuáles son los problemas más fundamentales de la biología hoy? Hay preguntas como: ¿Cuál es la secuencia de bases en el ADN? ¿Qué ocurre cuando hay una mutación?... ¿Cuál es la organización de los microsomas? ¿Cómo se sintetizan las proteínas? ... En la fotosíntesis, ¿dónde está la clorofila? ... ¿Cuál es el sistema de conversión de luz en energía química?”

El título de la conferencia era más que visionario: “*There’s plenty of room at the bottom*”. Muchas de esas preguntas ya tienen una respuesta clara, otras siguen siendo interrogantes. Pero los avances de la nanotecnología en la dirección señalada por Feynman han sido enormes. Desde esta época Feynman concibió la formación de líneas de relieve de unos pocos átomos de ancho con haces de electrones, prediciendo así la litografía de haz electrónico, que se usa en la actualidad en la fabricación de chips de Silicio. (Poole, 2007).

Feynman, tenía una agudeza mental que le permitía tocar bongó, interpretar jeroglíficos y el reconocimiento de la existencia de nanoestructuras en los sistemas

biológicos. Feynman decía: “*En un sistema biológico las células, aunque muy pequeñas, son muy activas, fabrican diversas sustancias, se mueven y hacen cosas maravillosas, todo en una escala muy pequeña*”. Y aunque para él las células eran unas cajas negras que escondían importantes secretos, gracias a recientes avances, logrados principalmente por la riqueza de los nuevos conceptos y el poder de los nuevos instrumentos de observación, los microscopios atómicos y electrónicos, hoy sabemos que ellas determinan el mecanismo de trabajo de las proteínas.

A Richard Feynman le otorgaron el Premio Nobel en Física por los aportes que hizo a la electrodinámica cuántica, un tema muy distante de la nanotecnología; sin embargo se le debe el haber generado la inquietud entre sus colegas sobre la manipulación de átomos y moléculas. Nadie como él previó las aplicaciones que hoy se están dando también en el terreno de la computación cuántica.

De manera más general, el procesamiento cuántico de lo que hoy se denomina **información** desde el punto de vista de la física, está generando lo que algunos denominan **la segunda revolución cuántica**. La sigla **nbic**, a la cual hicimos referencia en la introducción, es apenas una sugerencia de lo que está por venir. La parte correspondiente a **nano**, primera letra, sigue dominando las otras 3. Ya empiezan a escribirse los primeros textos y ha surgido una revista que ha lanzado dos números con el título **nanoneurociencia**. (Journal of Nanoneuroscience: EISSN: 1939-0653, online, No.1, 2012. <http://www.aspbs.com/jns.htm>) Si hacemos referencia al tema, es solo para advertir al maestro sobre otra revolución que se avecina. No se trata solamente de las maravillas de la optonanoelectrónica, tan oportunas para la nanorobótica, sino también de la vida y de la inteligencia, no ya artificiales, sino reguladas por dispositivos biológicos de tamaño nanométrico. El tema es digno de muchos trabajos como éste, si se quiere en verdad mostrar *lo maravilloso del nanomundo*.

4.2 El origen y expansión de la revolución nano-escalar

Si en una simple búsqueda por internet rastreamos el término *nanotecnología*, a la fecha surgen en pocos segundos 6 millones de entradas. Si lo hacemos con la palabra *nanociencia*, el resultado es 25 veces menor, una diferencia abismal para dos términos similares. Pruébese con otras palabras compuestas que empiecen con el prefijo *nano* y no se encontrará otra con cercano número de entradas al del primer término. ¡Es fruto de lo que hacen los medios y el mercado!

Lo *nano* se asocia con lo pequeño y ese es el origen etimológico de la palabra. En el sistema decimal hay una definición muy precisa de nanómetro que puede enunciarse de varias maneras. Así como el milímetro (mm) es la milésima de metro (m) y el micrómetro

(μm) la milésima de milímetro, es exacto referirse al nanómetro (nm) como la milésima de micrómetro. En notación científica, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.

El término “nanotecnología”, sin que por supuesto jamás se haya podido hacer referencia a una sola tecnología nano, fue introducido por primera vez por Norio Taniguchi en 1974 como "...aquella necesaria para poder fabricar objetos o dispositivos con una precisión del orden del nanómetro, es decir 10^{-9} metros en longitud". (Taniguchi, 1974.) La definición aceptada ha cambiado mucho y en realidad existen varias; algunas difieren entre sí enormemente. En general la nanotecnología se refiere a la elaboración de unos sofisticados materiales que tienen en su interior o en su exterior, en alguna o algunas de sus dimensiones, partículas de tamaño nanométrico que les da propiedades en principio maravillosas.

No es tarea fácil precisar cuándo el desarrollo de nuevos materiales llegó de manera consciente a la región nanoescalar. No cabe duda alguna de que la búsqueda en esa dirección, de lo grande a lo pequeño, o como se abrevia en inglés, *top-down*, tuvo que ver con la electrónica y por ende con la reducción en tamaño de los dispositivos electrónicos. El primer paso revolucionario fue pasar de los tubos de vacío amplificadores de corriente a los diodos y triodos o transistores semiconductores. El término *transistor* también procede de la electrónica y es la contracción de *transfer resistor* (resistencia de transferencia). Sus inventores, John Bardeen, Walter Houser Brattain y William Bradford Shockley (1947), recibieron por ello el premio Nobel en física en 1956. Es interesante señalar que el primero ha sido el único en la historia de esa disciplina que ha sido distinguido con un segundo premio Nobel en física, esta vez por la denominada teoría BCS (Bardeen, Cooper y Schrieffer) de la superconductividad, la primera explicación coherente de ese fenómeno.

Desde el invento del transistor y la generalización de diodos y triodos semiconductores la industria electrónica (hoy es más correcto denominarla optoelectrónica) ha sufrido enormes transformaciones. La observación del fenómeno condujo primero al enunciado de la denominada Ley de Moore, aunque en la cita cotidiana de la misma se cometen grandes imprecisiones (<http://www.gridcafe.org/ES/la-ley-de-moore.html>, recuperado el 28/06/2013). Esta no fue más que una declaración publicada en 1965 por Gordon Moore, uno de los cofundadores de Intel y reformulada por el ejecutivo de la compañía David House. Ellos observaron que el número de transistores que se podían insertar en un chip de silicio se duplicaba cada año, o más exactamente cada 18 meses. Se suele citar la ley *para todo*, abusando de la referencia.

Durante los años cincuenta y sesenta del siglo XX se hicieron ingentes esfuerzos en la modificación de las estructuras atómicas de semiconductores de silicio y germanio, aleaciones con memoria, desarrollo de catalizadores con partículas catalíticas soportadas por debajo de los 20 nm, entre otros ejemplos. En las dos décadas siguientes tuvo lugar

una expansión en la investigación y desarrollo de nuevos materiales en la nano-escala. Ese auge se caracterizó por la tendencia en la manipulación y re-configuración de materiales a nivel molecular y/o atómico, lo cual ha permitido mantener un incremento en el estudio de las propiedades de materiales, de manera más amplia en los que se denominan materiales nanotecnológicos durante el último cuarto de siglo.

Desde que se comenzó a trabajar en nanotecnología, en la década de los 80, se han tratado de desarrollar nuevos métodos de producción de materiales que tienen en sus componentes cristales de un tamaño inferior a los 100 nanómetros, los llamados materiales nanoestructurados. Cuando se reduce el tamaño de los materiales al rango nanométrico, se inducen diferencias en sus propiedades físicas. También los procesos superficiales se ven fuertemente alterados. Por ello, un control preciso de las dimensiones de los materiales en el rango de los nanómetros nos permite variar sus propiedades. Esto abre la puerta al diseño de materiales para mercados muy diversos como las aplicaciones en salud, en energía, biotecnología, construcción, industria automotriz, etc., para no mencionar las de la industria optoelectrónica: nanooptoelectrónica sería apenas una punta del iceberg, de nuevo **nbics** sugiere un campo mucho más extenso y profundo.

La tendencia actual del desarrollo en el campo se inició sin lugar a dudas en la década de 1980, con la invención o fabricación del primer microscopio de efecto túnel en 1981; el invento mereció el otorgamiento del Premio Nobel en Física a sus protagonistas, Gerd Binnig y Heinrich Rohrer (IBM de Zürich), en 1986. Esta herramienta permitió caracterizar y manipular materiales átomo por átomo. La dinámica de la investigación y el desarrollo en el área de nano-materiales se ve reflejada en la década de 1990 con el establecimiento de centros de estudio dedicados exclusivamente al estudio de fenómenos en la región nanométrica y a la producción de materiales que sacan partido del comportamiento de la materia en esa escala. Al finalizar el siglo XX países como Japón, Estados Unidos y la comunidad Europea mantenían un liderazgo, cada uno con más de un centenar de centros de investigación en el campo. Para entonces, algunos países asiáticos estaban preparados para competir con los reconocidos gigantes de las nuevas tecnologías de finales del siglo pasado. En la primera década del siglo XXI China y Corea del sur lograron más que duplicar el número de centros de investigación en nanomateriales y nanotecnología. En América Latina el país que lidera investigación básica y aplicada en el tema es Brasil, seguido por México. Colombia no ha estado ausente, si bien los centros de investigación en el área son todavía incipientes.

4.3 ¿Qué es lo grande en lo pequeño?

Contrariando lo que está de moda, la nanotecnología, pondremos el énfasis en la nanociencia, la convergencia de todas las ciencias básicas naturales, a saber, la física, la

química y la biología. Nótese que aquella es la convergencia de todas las tecnologías, si bien ella sola sin las ciencias, sobre todo la física, no hubiera podido ni siquiera despegar. No se trata de restar méritos a la química, pero fue indudablemente la física la que marcó el rumbo a seguir. Al fin y al cabo hay que reconocer que los enlaces moleculares, fundamentales para la asociación de átomos en moléculas sencillas y de estas en macromoléculas, son de origen físico, más específicamente, son fenómenos rigurosamente cuánticos. Así, por ejemplo, los puentes de hidrógeno, básicos para los enlaces que forman la escalera en doble hélice del ADN, son cuánticos.

Empecemos por intentar una definición trivial de nanociencia: es la explicación de los fenómenos que ocurren en la escala nanométrica. Por sencilla que parezca, no está exenta de complejidad. Se ha insistido desde la introducción y se hará en la unidad didáctica, centro fundamental o parte esencial del presente trabajo, que los enlaces moleculares son el soporte de las estructuras nanométricas. Lo mismo ocurre en todo tipo de materiales, incluidos los biológicos. Si se da un salto a lo que hoy en día es fundamental para las neurociencias, forzoso es reconocer que lo esencial son las conexiones neuronales, todas ellas rigurosamente en la escala nanométrica. Ahora bien, en esa escala mucho de lo que decide las propiedades fundamentales solo puede ser explicado desde la física que rige el comportamiento a nivel atómico o molecular.

Lo anterior nos lleva a replantear un problema que, si bien no vamos a formular siquiera, mucho menos a resolver, debe tenerse en cuenta: ¿dónde termina el comportamiento cuántico y comienza el clásico? Thomson descubrió el electrón siguiendo su trayectoria en un tubo de vacío; no tiene nada de extraño que lo haya tratado como un ente clásico, lo sorprendente quizá es que el esquema le haya funcionado. Una vez más forzoso es reconocer las limitaciones de un trabajo como el presente, y terminamos este comentario haciendo referencia al principio de correspondencia, mencionado apenas en el capítulo anterior.

4.4 Desarrollo histórico y evolutivo del nanomundo

Este escrito ha sido preparado para docentes que probablemente no conocen del asunto más que el significado etimológico de NANO. Si bien a pesar de todo no se logrará ilustrarlo suficientemente, confiamos que sirva de motivación para que se interesen por el tema. Recomendamos al lector ampliarlo, recurriendo a la extensa información que se encuentra en la red y en la bibliografía suministrada. Se pretende también marcar diferencia con el enfoque tradicional centrado en la nanotecnología, una recomendación que sugerimos mantener en el aula de clase. La nanotecnología no es la panacea, trae “promesas y amenazas”. (Shelley, 2006.) A nivel divulgativo, sobre la nanociencia se ha escrito menos.

Siempre que se va a conceptualizar o desarrollar un término nuevo con estudiantes, se debe tener claro que existen muchas definiciones y que en este sentido se debe indicar con cuál de ellas se está más comprometido o cuál de ellas es más confiable. La palabra *nanociencia* está compuesta por dos palabras, sobre cuyo significado el lector no tendrá mayores dudas. Pero la escala o el tamaño también es determinante para las propiedades o el comportamiento. Más adelante intentaremos o propondremos una definición precisa del término compuesto y de su acompañante inseparable, *nanotecnología*.

Las estructuras de tamaño nanométrico, conocidas como *nanoestructuras*, se pueden encontrar de forma natural o sintetizadas en el laboratorio. Las formas naturales son nuevas para los seres humanos, pero siempre han estado presentes en la tierra, muchas de ellas desde su origen, si no antes. En los espacios interestelares se han encontrado en las últimas dos décadas estructuras *nano* que inicialmente se creyó habrían sido producidas de manera original por el hombre. En forma similar a lo que ha ocurrido con las partículas elementales que se producen en los laboratorios de altas energías, surgidas durante el *Big Bang* o *Gran explosión*, la mayor parte de las nanoestructuras básicas posibles fueron fabricadas por la naturaleza, muchas de ellas hace miles de millones de años. Esto es indudablemente cierto con algunas nanoestructuras derivadas del carbono que han sido producidas y estudiadas sintéticamente durante las últimas 2 o 3 décadas: fullerenos, nanotubos de carbono, grafenos, etc., mencionadas en el capítulo tercero.

Es interesante para la biología explorar si existen organismos vivos de tamaño nanométrico. Los virus caen dentro de esta región, pero puede contra-argumentarse que ellos no son propiamente seres vivos. Desde hace algún tiempo se ha venido especulando con *nanobios*, organismos vivos como las bacterias y otros microbios, pero de tamaño nanométrico. En diversas ocasiones se ha hablado de *nanobacterias*, mas no hay consenso sobre sus características de vida propia, o más exactamente, la confirmación de su reproducibilidad no es del todo clara. Algunos estudios parecen confirmar la existencia de nanobacterias en la sangre, siendo ellas responsables de formación de cálculos en los riñones. Por otra parte, las arqueobacterias son organismos vivos muy antiguos, anteriores a las bacterias; más pequeñas que estas, tienen clorofila; por eso su color es el verde típico de plantas y algas. En 2006 se descubrieron unos organismos denominados nanoorganismosarqueobacterianosacidófilos, ARMAN por sus siglas en inglés. El tema es digno de una revisión amplia que escapa a los propósitos de este trabajo.

En cambio el ADN (ácido desoxirribonucleico) es definitivamente una estructura nanométrica muy singular que no pierde actualidad, a pesar de que fue aislada por primera vez hace casi 150 años; por ser básica para la vida y por muchas otras

propiedades que exhibe, su estudio sigue siendo apasionante. Su diámetro es con bastante exactitud 2.37 nm. Compárese con la hemoglobina, un pigmento de color rojo en los glóbulos rojos, que tiene un diámetro de 6.5 nm. La longitud del ADN de una célula humana, al extenderlo, es de unos 2 m, mientras que si se sumaran todas las moléculas extendidas de ADN de una persona se obtendría una distancia 14 veces la distancia Tierra-Sol.

Para elaborar los componentes moleculares del cuerpo, la información se copia primero de una hebra de ADN a una hebra del ARN (ácido ribonucléico) mensajero. Esta cadena molecular abandona el núcleo y encuentra un ribosoma en la célula utilizando la información para ensamblar una cadena de aminoácidos o péptidos formando una cadena de polipéptido del que se forma una proteína. Es, pues, una especie de nanofábrica de material biológico.

Otros sistemas biológicos de especial interés son los que permiten las reacciones moleculares indispensables para procesar y aprovechar la energía almacenada en las células. La descomposición parcial del ATP (Adenosíntrifosfato) en ADP (Adenosíndifosfato) libera una pequeña cantidad de energía en forma de calor. Esta energía se utiliza para generar reacciones químicas que de otra manera no podrían ocurrir. Por el contrario, en las hojas de los vegetales y en muchas bacterias, la producción de ATP a partir de ADP se hace aprovechando el fenómeno de la fotosíntesis. Los cloroplastos, organelos que realizan la fotosíntesis, descienden de una clase de bacteria denominada cianobacteria. Alegóricamente podría decirse que las cianobacterias, más antiguas que las plantas, enseñaron a estas el proceso de la fotosíntesis para el aprovechamiento de la energía solar. (McFadden, 2001.) Se ha sugerido con razón que quien pueda copiar este proceso empleando la nanotecnología tendrá energía de uso ilimitado (Comisión Europea, Unidad de Información y Comunicación, 2004).

Así, pues, la naturaleza siempre ha usado la nanotecnología sin saberlo; al ser humano le corresponde ahora descubrir esos mecanismos y darles el mejor de los usos. Los mecanismos los podemos encontrar de forma natural en aminoácidos, enzimas, proteínas, ribosomas, fosfolípidos, lípidos, células, etc. Sin duda la partícula ensamblada por la naturaleza de mayor importancia es el ácido desoxirribonucleico (DNA por sus siglas en inglés). Si se entiende que la naturaleza se tomó el trabajo de organizar, átomo por átomo, esta molécula para dar origen a tan alta multiplicidad de seres vivos, es fácil imaginar que la manipulación de átomos y moléculas, como lo señalara Richard Feynman desde 1959, nos abre el gran camino hacia el mundo nano o nanomundo (Giraldo Gallo, González, & Gómez-Baquero, 2007).

En organismos mayores se encuentra la aplicación de propiedades nano para situaciones prácticas de la vida diaria. Por ejemplo, el *gecko*, un lagarto distribuido en

gran parte del planeta, tiene la capacidad de adherirse a cualquier superficie, aunque esta sea lisa, gracias a unas vellosidades de tamaño nano que posee en sus dedos (MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT, 2003). Otro ejemplo de estructuras naturales es la *oreja de mar*, un molusco que produce una concha de cristales de CaCO_3 de tamaño nano que es muy fuerte gracias a su tamaño y al pegamento, compuesto por una mezcla de carbohidratos y proteínas (Poole & Owens, 2007)). Igualmente, elberro, una planta pequeña, mantiene sus hojas limpias usando un sistema de limpieza que recurre a vellosidades nanométricas; estas permiten que se deslice el agua y se arrastre la suciedad. (Efecto Lotus.)

Como lo hemos señalado, la aplicación de estas tecnologías no es novedosa, ya que en la antigüedad se usaron materiales de tamaño nanométrico como lo hicieron los romanos y otros pueblos. En el museo de Londres, por ejemplo, se encuentra una pieza de la época de los romanos del siglo IV (a.c) que cambia de color gracias a la presencia de nanopartículas de oro y plata, es el *Vaso de Licurgo*. (Poole & Owens, 2007). El color rojo de los vitrales en las catedrales góticas de Europa se obtenía utilizando nanopartículas de oro. Este caso es una aplicación del efecto nano del oro y es quizás la primera nanotecnología empleada *en gran escala*. Igualmente, un color usado por los indígenas mesoamericanos, llamado *azul maya*, sorprendió por muchos años a investigadores debido a sus características particulares de resistencia al cambio químico, al paso del tiempo, a la acidez, a la erosión por acción de los elementos naturales, a la biodegradación, e incluso a disolventes químicos modernos; su secreto radica en el uso de partículas de tamaño nanométrico que encapsulan un pigmento extraído de las hojas de Añil. (Citado en DiCYT por Mercedes Suárez 2009). Las espadas de damasco utilizadas durante la edad media por los guerreros árabes, famosas por su dureza y contundencia en el corte, tenían incrustada una proporción significativa de nanotubos de carbono.

Los materiales nanoestructurados ya han sido utilizados en muchas aplicaciones prácticas, habiéndose convertido en ingredientes esenciales de nuestra vida diaria. (Visítese, p.e.: <http://www.nanoandme.org/nano-products/>) La película fotográfica utiliza nanopartículas de plata; los bloqueadores solares utilizan nanopartículas de dióxido de titanio y de zinc como parte activa. Descubrir los principios y las técnicas necesarias para el funcionamiento de estas nanoestructuras (véase definición anterior), como se ha hecho, permite aplicarlos en una u otra dirección, todos quisiéramos que en beneficio de la humanidad; probablemente pueda afirmarse que el efecto sobre el medio ambiente ha sido más negativo que positivo. El principio que usa el *Gecko* puede aplicarse en suturas de cirugía, la capacidad de los moluscos de mar para soportar presiones muy altas dan origen a soluciones de protección para los seres humanos y vehículos, y ya hicimos referencia al efecto *lotusy* su elemental aplicación de autolimpieza, entre muchas otras

aplicaciones que se intentarán describir más adelante: son apenas 3 de muchas situaciones en las que “copiar” a la madre naturaleza trae efectos positivos.

De esta forma, la nanotecnología ha estado en uso durante milenios sin que nos hayamos percatado, pero el concepto de lo nano ha tenido un desarrollo más reciente en el tiempo, sin que sea de ahora, como a continuación se expondrá.

Así, pues, el desarrollo del concepto *nano* viene desde siglos atrás. Veamos brevemente algunos ejemplos de los últimos siglos, durante el desarrollo de la ciencia moderna. Robert Boyle, un químico irlandés, en 1661 sugirió que pequeñas partículas se combinan para formar corpúsculos. Si analizamos este concepto, se puede inferir que este científico ya tenía claro que la materia –de forma natural– se organiza a nivel nanométrico. A propósito de esto, él decía: “*diminutas masas o cúmulos que no son fáciles de disipar en las partículas que las formaron*” (citado en Poole&Owens, 2007)

Más adelante dicho concepto se continuó enriqueciendo cuando se aplicó la nanotecnología al proceso de la fotografía durante los siglos XVIII y XIX, en los cuales, el principio fue netamente de carácter nano, ya que la emulsión que se empleaba en las películas fotográficas estaba constituida por una emulsión que contiene haluros de plata, como el bromuro de plata con una base de acetato de celulosa; la luz descompone los haluros de plata, produciendo nanopartículas de plata que son sensibles a la luz y, al ser expuestas a esta, funcionan como píxeles de la imagen, posteriormente se desarrolló esta técnica pero usando nitrato y cloruro de plata por parte de Thomas Wedgewood y Sir Humprey Davy sin embargo sus fotografías no fueron permanentes, luego James Clark Maxwell logra por esta misma técnica producir imágenes a color, de esta forma podemos decir que la aplicación de la nanotecnología no es algo tan reciente, si bien el fundamento científico sí lo es. (Poole & Owens, 2007).

En esta misma época, se hicieron otros aportes importantes al concepto nano, realizados por Michael Faraday en 1857, divulgados a través de un artículo publicado en la revista *Philosophical Transactions of the Royal Society*; en su escrito, este científico trató de explicar la manera como el tamaño de las partículas influía en el color de las ventanas de las iglesias; la posible explicación para que esto sucediera tendría que ser al tamaño de las partículas, el cual necesariamente es de orden nanométrico. Solo unos 50 años más adelante, Gustav Mie explicó cómo el color dependía del tamaño y del tipo de metal; su artículo fue publicado en la revista alemana *Annalen der physik* en 1908. A partir de sus postulados, se conoce la “Dispersión de Mie”. Llegamos así al nuevo siglo, en el cual hubo que revisar los conceptos fundamentales de la física.

<http://www.eluniverso.org.es/2013/05/el-futuro-de-la-fisica-esta-en-nuestra-imaginacion/>

4.5 Instrumentos para observar y manipular

En la sección 4.4 se hizo alusión a la difracción de rayos X pero no se mencionó el enorme campo de investigación que surgió con la introducción de la técnica. Fue W.C. Röntgen su descubridor (1895), sin que para entonces estuviera claro su carácter: ¿partícula u onda? La segunda alternativa parecía obvia, pero recuérdese que por la misma época se hablaba de *rayos catódicos* para otro tipo de *radiación* que en 1897 se identificó con el de la primera partícula verdaderamente elemental que se conoce. Fue en 1912 cuando se aclaró mejor su naturaleza, pudiendo de paso determinarse su longitud de onda, del orden del tamaño de los átomos que forman la estructura cristalina de los sólidos ordenados. Era evidente la posibilidad de utilizarlos en el estudio de esos sólidos; surgió así la cristalografía.

Aunque parezca trivial, una pregunta que puede hacerse es la siguiente: de esos enrejados cristalinos, ¿cuál es el mínimo tamaño en que puede disgregarse un sólido para que conserve sus propiedades? La respuesta es más compleja de lo que parece y encierra muchas sutilezas.

Recuérdese que en esa misma sección extendimos la idea de difracción a los electrones, tras haber concluido que los electrones y los fotones, de hecho todas las partículas, se comportan de la misma manera. Esa idea condujo a la invención del microscopio electrónico, cuyo primer prototipo data de 1931 y se debe al trabajo conjunto del físico Ernst Ruska y el ingeniero eléctrico Max Knoll. El diseño pasó primero por un largo periodo de construcción de lentes electromagnéticas para la manipulación y enfoque de los electrones.

Los avances no fueron espectaculares en varias décadas, pero como lo predijo Feynman en 1959, hay suficiente espacio en el fondo, premonición que anticipa el descubrimiento de nuevos instrumentos para observar y manipular la materia en la escala nanométrica.

En las décadas de los 60 y los 70 solo se disponía de microscopios electrónicos de transmisión y de barrido. A partir de los años 80, tiempo después de las predicciones de Feynman, surgieron nuevos instrumentos que permiten observar y manipular la materia en la escala nanométrica para hacer realidad *el sueño de Feynman*. Hagamos un rápido recorrido por los más usuales hoy en día.

4.5.1 El microscopio electrónico de transmisión

Los microscopios comunes que habitualmente usamos en los laboratorios de colegio, funcionan con un par de lentes que aumentan el tamaño de una muestra, usualmente tan delgada que permite el paso de la luz por refracción. El rango de la luz visible nos lleva a longitudes de onda que van entre unos 400 y 700 nm. Puesto que estamos interesados en observar objetos que tienen longitud de onda mucho menor que la de la luz, no se

pueden ver con el microscopio óptico, por lo que se usa el microscopio electrónico en todas sus variantes. Como su nombre lo indica, en los microscopios electrónicos se usan electrones. Es natural entonces que los principios para su funcionamiento son los de la física cuántica.

El microscopio electrónico funciona con los mismos principios básicos de un microscopio óptico, pero al usar electrones la resolución que se alcanza es de miles de veces mejor que los mejores microscopios ópticos; gracias a esta poder de resolución, es posible ver objetos del orden de las décimas de nanómetros.

El microscopio electrónico de transmisión (TEM, por sus siglas en inglés) funciona así:

Se tiene una fuente de electrones, que se generan desde un cañón que son acelerados por un alto voltaje y se enfocan con ayuda de unas lentes electromagnéticas que hacen un haz de electrones muy delgado; los electrones viajan a través del vacío que hay en la columna del microscopio; el vacío es necesario para que el aire no intervenga en el movimiento de los electrones; estos atraviesan la muestra que se está estudiando, de ahí el nombre; de acuerdo a la densidad de la muestra, unos la atraviesan, algunos se dispersan y los más llegan contra una pantalla fluorescente, donde se genera la imagen del objeto de estudio, en forma de sombras de diferentes tonos que se transmiten hacia un ordenador que genera la imagen, para ser analizada posteriormente; como es una imagen en diferentes tonos de negro y gris, posteriormente se pueden retocar. Las imágenes se pueden aumentar hasta un millón de veces.

4.5.2 El microscopio Electrónico de Barrido (SEM, por sus siglas en inglés)

Cuando las muestras que se desean estudiar no son tan delgadas para que puedan ser atravesadas por los electrones, se utiliza el microscopio electrónico de barrido; a diferencia del TEM el haz de electrones no está fijo en una sola posición, sino que realiza el barrido de la muestra punto a punto; la interacción entre los electrones que inciden en la muestra generan señales que son detectadas y enviadas a un ordenador donde se origina la imagen del objeto de estudio en tres dimensiones.

El SEM se utiliza en estudios de biología, porque los resultados de las observaciones permite ver texturas, pero solamente de estructuras inertes.

Una de las limitaciones es que no se puede ver los átomos de forma individual, pero sí es posible estudiar las propiedades de los materiales.

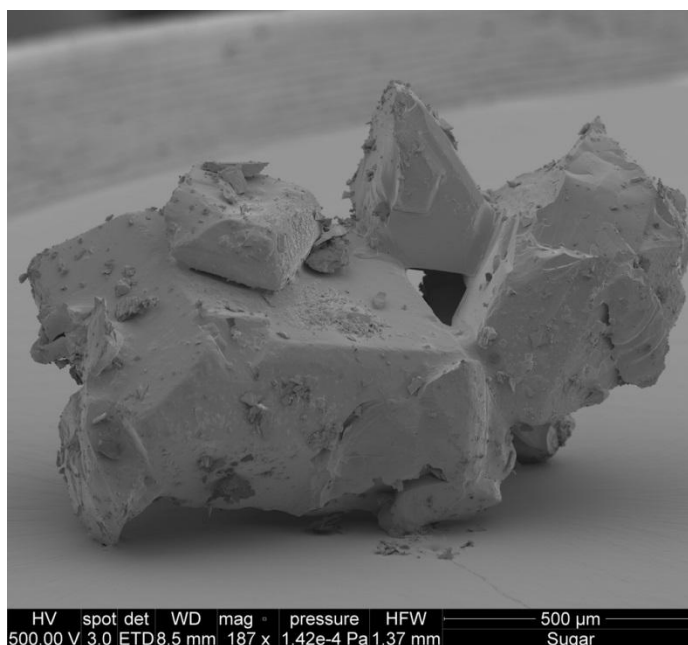


Figura 19. Imagen formada con microscopio electrónico de barrido (azúcar)

4.5.3 Microscopio de efectotúnel(Scanning Tunnelling Microscope, STM)

Es una máquina capaz de revelar la estructura atómica de las partículas, inventado en la IBM de Zürich por Binnig y Gert en 1981, lo que les valió el premio Nobel de Física en 1986. Básicamente consiste en un aparato para medir la conducción de corriente a través de un material con una aguja extremadamente fina; mientras ésta va recorriendo su superficie con gran precisión –de forma parecida al movimiento de la aguja (o “pick up”) de un viejo tocadiscos mientras explora mecánicamente los surcos en cuyas irregularidades está guardada la música. Como se sabe, todo material está formado por átomos –muchas veces bien ordenados en forma de “estructura cristalina”. Como la conducción eléctrica varía en la medida en que nos movemos de átomo a átomo, ésta nos brinda información de dónde los mismos están situados, e incluso de la forma de cada uno de ellos. Sólo queda agregar que la aguja en realidad no toca la superficie, sino que va “volando” sobre los átomos a una pequeñísima distancia, de modo que la corriente eléctrica “salta” desde la superficie hasta la aguja mediante el extraño fenómeno del micromundoal que nos referimos en el capítulo cuarto, tunelamiento cuántico, para el caso llamado “tunelamiento por barrido”, lo que permite en el barrido lograr una imagen de la estructura atómica de la materia con una alta resolución; cada átomo se puede distinguir de otro; una vez llevado a cabo el proceso en el microscopio, escaneando la superficie del objeto y haciendo un mapa de la distancia entre varios

puntos, se genera una imagen en tres dimensiones. Los microscopios de efecto túnel también han sido utilizados para producir cambios en la composición molecular de las sustancias.

Este instrumento no solo muestra la topografía de los átomos; el STM también permite manipular átomos y moléculas, uno por uno, por lo que se pueden, empujar, halar, recoger y soltar (Takeuchi, 2009), para esto se necesitan condiciones muy especiales, en relación a temperatura menos de $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ para poder estabilizar la punta del microscopio, debe existir ultra-alto vacío para limpiar la cámara de cualquier tipo de gas presente en el aire, lo que puede generar interferencias.

5.5.4 El Microscopio de Fuerza Atómica (AFM)

Es un instrumento mecano-óptico capaz de detectar fuerzas del orden de los nanonewton. Al analizar una muestra, es capaz de registrar continuamente la altura sobre la superficie de una sonda o punta cristalina de forma piramidal. La sonda va acoplada a un listón microscópico, muy sensible al efecto de las fuerzas, de sólo unos $200\text{ }\mu\text{m}$ de longitud (cantilever, ver figura). La fuerza atómica se puede detectar cuando la punta está muy próxima a la superficie de la muestra. Es posible entonces registrar la pequeña flexión del listón mediante un haz laser reflejado en su parte posterior. Un sistema auxiliar piezoeléctrico desplaza la muestra tridimensionalmente, mientras que la punta recorre ordenadamente la superficie. Todos los movimientos son controlados por una computadora. (Universidad de la Habana Cuba, Facultad de Física., 2013)

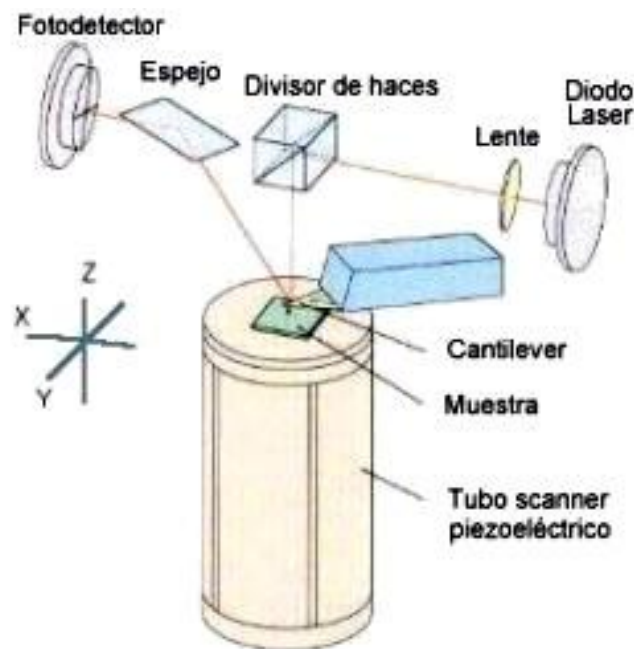


Figura 20. Esquema del funcionamiento de un microscopio de fuerza atómica

5. Metodología

La unidad didáctica **“Viaje al interior de los objetos, el fantástico mundo de lo diminuto. ¿Cómo están hechas las cosas en su interior?”** es una propuesta para introducir el tema de Nanociencia, con estudiantes de básica secundaria; esta unidad es elaborada a partir de la revisión conceptual e histórica de la Nanociencia y la Metodología de Enseñanza de las Ciencias Basada en Indagación, ECBI, 2009.

Como el objetivo del presente documento es el diseño de una Unidad didáctica, no existe la aplicación y validación de instrumentos, porque el tiempo asignado es muy limitado y la maestría es de profundización, no de investigación, sin embargo en el proceso de construcción de la Unidad Didáctica se utilizó la *Metodología de Investigación Cualitativa* ya que el diseño de la Unidad Didáctica **“Viaje al interior de los objetos, el fantástico mundo de lo diminuto. ¿Cómo están hechas las cosas en su interior?”** presenta diferentes instrumentos que conforman cada una de las secuencias, las cuales se espera puedan ser aplicadas a nivel de la secundaria.

Partiendo del concepto de Investigación Cualitativa como una serie de acciones ordenadas que orientan la recolección, análisis y selección de material, en este caso se usó la revisión de múltiples textos que soportan el diseño de la unidad didáctica, en todos sus componentes, se retomaron los conceptos fundamentales relacionados con la estructura de la materia, el nacimiento de la Nanociencia, su desarrollo y aplicaciones, así como las bases teóricas y metodológicas de la Enseñanza de las Ciencias Basadas en Indagación, que sustenta el diseño de cada una de las secuencias de la unidad didáctica.

El resultado es la selección de los conceptos básicos relacionados con nanociencia que permitieron hacer una *Storyline*, respondiendo a preguntas como ¿Qué conceptos son necesarios? ¿Cuál es la secuencia de aprendizaje? ¿Cómo evaluar?, y a partir de estos el diseño de actividades e instrumentos que guían el proceso de aprendizaje.

La evaluación de los instrumentos planteados en cada secuencia de aprendizaje están diseñados de acuerdo a los principios metodológicos de la ECBI; estos corresponden a: evaluaciones introductorias que hacen relación a la revisión de conceptos previos por parte de los estudiantes, hojas de trabajo en clase, relacionados con la predicción y experimentación, y hojas de conclusiones o cierre de las secuencias.

5.1 Desarrollo de la investigación.

Se tienen tres momentos a considerar en la presente investigación, el primero es la selección y análisis de documentos, donde a partir de los objetivos de investigación se

busca de forma ordenada y planificada dar lectura a varios documentos que desde diferentes áreas aportan a la selección de los conceptos básicos de Nanociencia, ya que estos se consideran fuentes que dan cuenta de los propósitos y perspectivas de sus autores (Bisquerra, 2004).

Posteriormente como segundo momento, después de la selección de los conceptos básicos, pasamos a construir las secuencias que forman la unidad didáctica, con sus actividades e instrumentos particulares (como se observará más adelante), que pretenden en el momento de su aplicación poder comparar el cambio conceptual de los estudiantes cuando participan de la metodología de la ECBI.

Finalmente, el tercer momento será la validación de los instrumentos, los cuales solamente quedarán diseñados y para los cuales existirán unos criterios de análisis en su posterior aplicación.

5.2 Etapas de la investigación

Para el presente trabajo se consideran las siguientes etapas de acuerdo a la investigación cualitativa, que conllevan al cumplimiento de los objetivos y la solución al problema de investigación.

Etapas 1: Revisión bibliográfica

Definido el tema de investigación y localizados los documentos, se seleccionaron en torno a las siguientes temáticas:

- Modelo de aprendizaje a través de la indagación y la investigación
- Diseño de unidades didácticas.
- Conceptos básicos de la estructura de la materia.
- Proceso histórico-epistemológico de la Nanociencia.
- Aplicaciones y avances en Nanociencia.

Etapas 2: Diseño de marco conceptual.

Se seleccionaron los conceptos teóricos relacionados con Nanociencia, que sirven de base para la formulación de las secuencias.

Etapas 3. Construcción de secuencias.

Se elaboran las secuencias que dan cuerpo a la unidad didáctica (**anexo A**). De acuerdo a la metodología pedagógica, cada una tiene cuatro fases como se muestra a continuación:

FASE	OBJETIVO
Iniciando	Motivar a los estudiantes a partir de preguntas, para

	conocer las ideas previas de los estudiantes. Preguntas problema.
Explorando	Desarrollar experiencias donde se desarrollen las competencias científicas para la construcción de conceptos. Observación, Planteamiento de hipótesis, diseño de experimentos y modelos.
Explicando	Confirmar los aprendizajes de los estudiantes como fruto de las actividades realizadas. Conclusiones y teorías.
Aplicando	Aplicar los conceptos aprendidos en diferentes contextos.

Etapa 4: Instrumentos de verificación.

Se diseñan los instrumentos que permiten la evaluación de las secuencias (siguiente capítulo). Los cuáles serán validados en la implementación de la Unidad Didáctica a través de los criterios planteados. Para dar cuenta de su continuidad o modificaciones.

Etapa 5: reflexiones.

Las conclusiones y recomendaciones, van dirigidas a la aplicación de la unidad didáctica posteriormente, ya que como es un diseño, los criterios de análisis de los resultados no son posibles, son el resultado de lo trabajado en este documento y de la experiencia en general.

6.Unidad didáctica

A continuación se presenta la unidad didáctica:“**VIAJE AL INTERIOR DE LOS OBJETOS: el fantástico mundo de lo diminuto**”. **¿Cómo funcionan las pequeñas cosas en su interior?**Siendo la propuesta a desarrollar para que los estudiantes de educación media se acerquen a algunos conceptos de nanociencia y nanotecnología:

Título: VIAJE AL INTERIOR DE LOS OBJETOS: el fantástico mundo de lo diminuto.

¿Cómo funcionan las pequeñas cosas en su interior?

6.1 INTRODUCCIÓN.

Esta unidad didáctica está diseñada por el Licenciado en química Oswaldo Rubiano, estudiante de Maestría en enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales, con la colaboración del Dr. Jairo Giraldo, profesor titular de la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, como proyecto de grado de profundización para optar al título de Maestro en Enseñanza de las Ciencias. El propósito principal de la unidad es lograr que los estudiantes de la educación media construyan aprendizajes en torno al tema de la nanociencia, sus ventajas y desventajas, desarrollos y aplicaciones, especialmente los usos que se le están dando y se le pueden dar en la vida cotidiana, a través de la aplicación de experiencias investigativas en el aula.

En la aplicación de la presente metodología **Enseñanza de las Ciencias Basada en Indagación, ECBI**, se debe tener en cuenta lo siguiente:

a) **NO DESCONOCER LAS IDEAS PREVIAS.**

Los estudiantes no llegan al aula de clase con su cabeza vacía; a través del tiempo han construido conceptos que en la mayoría de los casos son contradictorios o incompletos frente a las explicaciones de la ciencia del momento; estas ideas casi siempre han sido adquiridas a través de experiencias que no se han cuestionado, complementado y desarrollado con otros, especialmente a la hora de sustentar por qué ocurren ciertos fenómenos en la naturaleza, o cómo funcionan ciertos objetos de la vida cotidiana; esas ideas previas se deben tener en cuenta, se pueden usar como punto de partida, ya que hay elementos conceptuales que tienen de alguna manera parte de la explicación científica, buscando que después del desarrollo de las secuencias, se complementen esas ideas, se transformen o den lugar a nuevas explicaciones usando los elementos conceptuales adquiridos después de evidenciar los fenómenos.

b) GENERAR Y SACARLE PROVECHO A LA DISCUSIÓN DE GRUPO.

Los espacios de discusión facilitan el aprendizaje y lo hacen más sólido; el trabajo cooperativo en grupos pequeños, debe ser una práctica constante ya que hay más participación e interacción, las ideas fluyen fácilmente, hay confianza y menos prejuicios, se disminuye el paradigma de la dependencia del docente que todo lo sabe, los protagonistas son cada estudiante del grupo, por lo que las ideas de cada estudiante se hacen más valiosas y significativas. Ellos pueden así convertirse en constructores de saber y conocimiento.

Se debe hacer énfasis en la importancia de participar y de buscar las respuestas o soluciones entre todos; esto es validado a través de discusiones que se pueden presentar desde el inicio de una unidad o de una secuencia.

c) LAS PREGUNTAS, INDISPENSABLES PARA EL APRENDIZAJE

Las preguntas se encuentran entre lo que piensa el estudiante y el conocimiento producido en la experiencia; el hacer buenas preguntas permite que los estudiantes empiecen a buscar muy en su interior esas respuestas y que empiecen a hacer otras guiados por su curiosidad; estas deben estar bien formuladas, de tal manera que no den la posibilidad de dar una respuesta corta, o que sea tan ambigua que no se entienda; debe posibilitar el uso de las competencias científicas adquiridas para guiar la construcción de su aprendizaje; durante todas las sesiones y momentos el maestro debe estar interrogando, recogiendo las preguntas de los estudiantes y colocándolas a la vista, para no perderlas.

d) SE APRENDE A TRAVÉS DE LA EXPERIENCIA.

Se debe trabajar desde la experiencia directa. El hecho de interactuar, crear, modelar, manipular objetos conlleva a que el estudiante emita preguntas y respuestas, se equivoque, encuentre repuestas variadas a sus inquietudes; es tan valioso que él se haga protagonista de su propio aprendizaje, ya que los resultados son más significativos.

Hay ideas y explicaciones erróneas que son válidas para nuestros estudiantes y que luego, a través de experimentos, pueden llegar a deshacerse.

e) LA OBSERVACIÓN GUIADA, UNA COMPETENCIA CIENTÍFICA QUE SE DEBE DESARROLLAR.

Una de las competencias científicas que se deben impulsar en los estudiantes es la observación, ya que ellos están acostumbrados a describir las cosas de forma muy

simple y elemental; a la hora de observar algo, no basta con decirle a los estudiantes “observen”, el maestro debe plantear muy bien las preguntas que permitan guiar a los estudiantes, observar dependiendo de los objetivos planteados desde el inicio, hacer énfasis en cómo los estudiantes pueden desarrollar esa habilidad de ser detallista para poder llegar a las conclusiones que resuelven la pregunta problema.

f) LA ESCRITURA GUÍA EL CAMINO DEL APRENDIZAJE

El cuaderno, libreta o agenda, se hace un instrumento necesario, ya que es el elemento donde se plasman las ideas de forma individual y grupal, les permite concretar propuestas, se convierte en un elemento de consulta, es fundamental porque los estudiantes además de intercambiar con sus compañeros opiniones, diseños e hipótesis, tienen un documento que permite al finalizar las secuencias consignar las conclusiones sobre las experiencias realizadas.

En el trabajo con los estudiantes, no solamente los escritos en forma de texto son válidos, también hay otras habilidades que se deben desarrollar; la elaboración de dibujos y gráficos que expliquen los experimentos, diseños de posibles soluciones, la elaboración de tablas que permitan comparar resultados, mejorando las competencias relacionadas con la comunicación, ya que son transversales al aprendizaje de las ciencias.

6.2 ESTRUCTURA DE LAS UNIDADES DE APRENDIZAJE.

De acuerdo a la metodología ECBI, hay cuatro momentos en cada una de las secuencias:

Iniciando, explorando, explicando y aplicando. Esta estructura es, grosso modo, el resumen del uso del método científico desarrollado en el aula, el cual es propuesto por Nancy Songer (Songer, 2006); se fundamenta en los ciclos de aprendizaje de Karplus, Bruner y otros (2004), (citado por Cardona, Gómez y Manrique, 2009).

A continuación se describen los momentos en las que están organizadas las secuencias.

...INICIANDO...

Consiste en el proceso de motivación a partir de preguntas realizadas por el docente y los jóvenes, que surgen a partir de experiencias, de presupuestos resultantes de la imaginación, de aprendizajes erróneos; esto permite que los estudiantes se creen inquietudes y se conviertan en parte activa del aprendizaje. Vale aclarar que estas preguntas están presentes durante toda la secuencia.

...EXPLORANDO...

En el segundo momento, ya teniendo las preguntas planteadas se proponen experiencias y actividades para que el estudiante confronte las ideas con la realidad, se aplican las competencias científicas; observar, predecir, formular hipótesis, registrar información e identificar fenómenos, es el momento dentro de la clase que permite comprobar que algunas ideas y conceptos son ciertos o no; los resultados llevan a replantear las ideas previas de los estudiantes, si es necesario, o a reafirmar los conceptos que se tienen.

...EXPLICANDO...

Luego de tener una experiencia y corroborar ciertas ideas, de hacer propuestas individuales y en grupo, se debe guiar a los estudiantes para que respondan las preguntas que guiaron las investigaciones desarrolladas y puedan elaborar un discurso que explique el fenómeno de estudio después de haber ensayado alternativas.

...APLICANDO...

Teniendo un mayor grado de conceptualización de los fenómenos, puede llegar a comprender la teoría, como resultado del aprendizaje significativo; por esto se deben propiciar acciones donde el estudiante esté en capacidad de usar lo aprendido, en diferentes contextos al del aula de clase, para verificar su funcionalidad, motivando a los estudiantes a crear nuevos diseños, experiencias o modelos. Estas actividades se pueden desarrollar en otros sitios, como en la casa, donde el acompañamiento de los padres debe ser indispensable, o en la misma institución.

6.3 RELACIÓN CON LOS ESTÁNDARES DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL (MEN)

Las siguientes secuencias que componen esta unidad didáctica, están relacionadas con los estándares de competencias básicas del Ministerio de Educación Nacional de Colombia (MEN, 2004), en relación a Ciencias Naturales y Educación Ambiental, que a continuación se describen.

GRADO DÉCIMO A UNDÉCIMO

Estándar: Identifico aplicaciones de diferentes modelos biológicos, químicos y físicos en procesos industriales y en el desarrollo tecnológico; analizo críticamente las implicaciones de sus usos.

... Me aproximo al conocimiento como científico/natural.

- Observo y formulo preguntas específicas sobre aplicaciones de teorías científicas.
- Formulo hipótesis con base en el conocimiento cotidiano, teorías y modelos científicos.
- Identifico variables que influyen en los resultados de un experimento.
- Propongo modelos para predecir los resultados de mis experimentos y simulaciones.

- Registro mis observaciones y resultados utilizando esquemas, gráficos y tablas.
- Registro mis resultados en forma organizada y sin alteración alguna.
- Establezco diferencias entre descripción, explicación y evidencia.
- Busco información en diferentes fuentes, escojo la pertinente y doy el crédito correspondiente.
- Relaciono la información recopilada con los datos de mis experimentos y simulaciones.
- Saco conclusiones de los experimentos que realizo, aunque no obtenga los resultados esperados.
- Persisto en la búsqueda de respuestas a mis preguntas.
- Propongo y sustento respuestas a mis preguntas y las comparo con las de otros y con las de teorías científicas.
- Comunico el proceso de indagación y los resultados, utilizando gráficas, tablas, ecuaciones aritméticas y algebraicas.

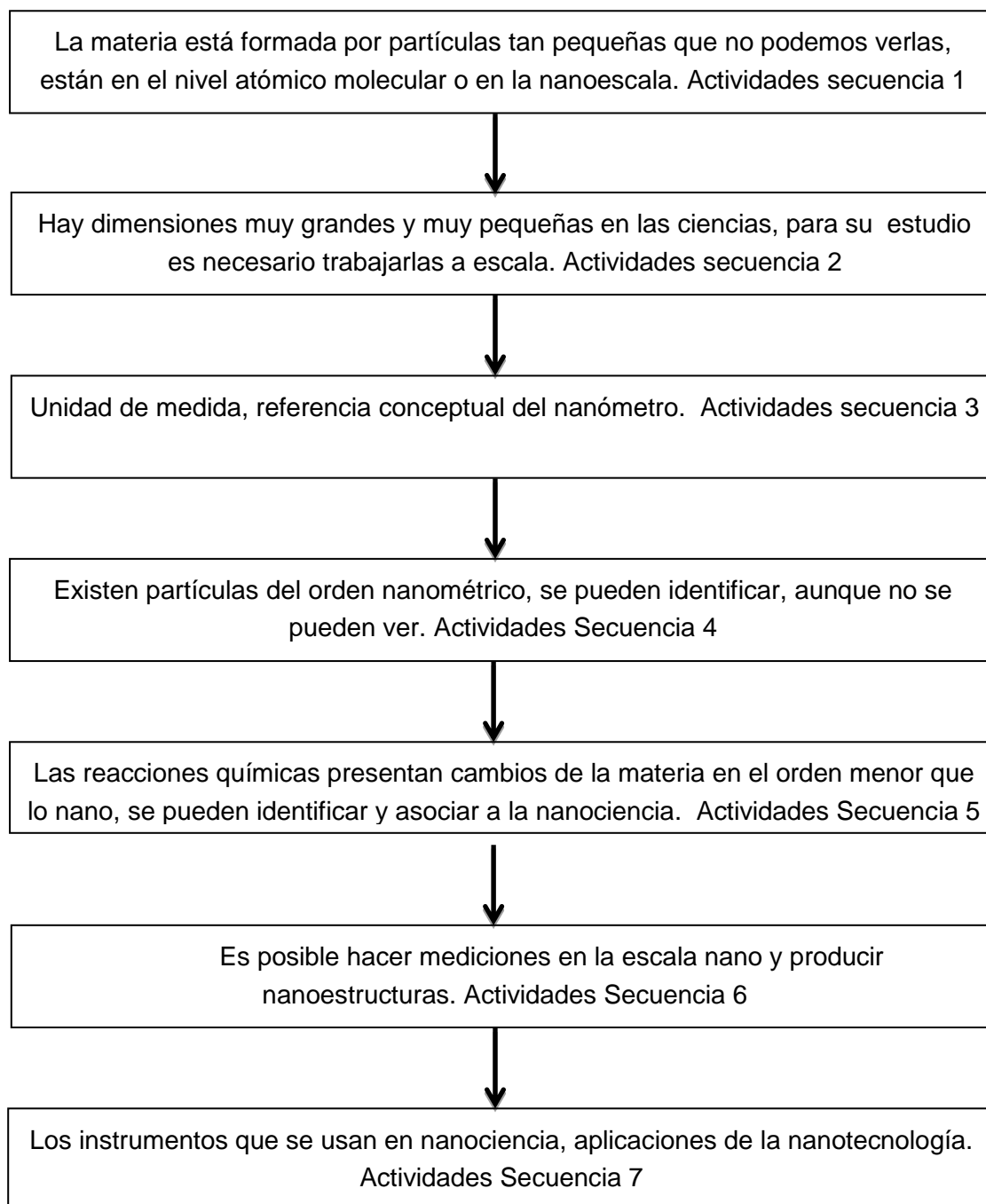
...manejo conocimientos propios de las ciencias naturales.

- Explico la estructura de los átomos a partir de diferentes teorías.
- Identifico tecnologías desarrolladas en Colombia.

...desarrollo compromisos personales y sociales.

- Escucho activamente a mis compañeros y compañeras, reconozco otros puntos de vista, los comparo con los míos y puedo modificar lo que pienso ante argumentos más sólidos.
- Reconozco y acepto el escepticismo de mis compañeros y compañeras ante la información que presento.
- Reconozco los aportes de conocimientos diferentes al científico.
- Reconozco que los modelos de la ciencia cambian con el tiempo y que varios pueden ser válidos simultáneamente.
- Cumpló mi función cuando trabajo en grupo y respeto las funciones de las demás personas.
- Me informo para participar en debates sobre temas de interés general en ciencias.

6.4 SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN CONCEPTUAL



6.5 NORMAS DE SEGURIDAD

Para que el trabajo en las diferentes actividades sea de mayor utilidad se debe disponer de cierto equipo esencial como mesas de trabajo amplias, tomas de corriente eléctrica, salidas de agua, electricidad y gas, grifos para que el material sea debidamente lavado, regaderas, extintores, botiquín, y sobre todo cumplir con las normas de seguridad básicas para el buen desarrollo de las actividades.

- a) Se debe revisar que las instalaciones cuenten con las normas básicas de seguridad, buena ventilación, instalaciones eléctricas en buen estado, equipos de emergencia.
- b) Se deben seguir las indicaciones del maestro, no mover mesas y materiales, si no es necesario.
- c) El orden es indispensable en todos los aspectos, por lo que está prohibido consumir cualquier tipo de alimento. No se debe jugar con los materiales. Hay que mantener los implementos de seguridad personal siempre bien puestos (bata, tapabocas, guantes y los que se requieran), el cabello largo debe ser recogido.
- d) Las sustancias con las que se trabaja no se deben probar, ni manipular directamente con las manos, no usar sustancias desconocidas o hacer montajes que no son necesarios.
- e) Todos los grupos se encargan de mantener su espacio de trabajo ordenado y limpio para evitar accidentes.
- f) Antes de usar las sustancias se debe verificar que son las que se necesitan, y seguir en orden las instrucciones.
- g) Si hubiera que desechar sustancias, debe hacerse de acuerdo a las normas, como bajar su concentración o neutralizarlas.
- h) Usar adecuadamente la pipeta ya sea con la bomba o con ayuda de una jeringa.
- i) Tener cuidado con los bordes y puntas cortantes de tubos u objetos de vidrio. Alisarlos al fuego. Mantenerlos siempre lejos de los ojos y de la boca

6.6 EVALUACIÓN INTRODUCTORIA.

Para empezar a implementar el modulo y de acuerdo a la metodología ECBI, se hace importante conocer las ideas previas con las que llegan los estudiantes, a partir de ellas podemos ir verificando los aprendizajes, si se mantienen, si se modifican, si se construyen unos nuevos.

La recomendación es que cada estudiante debe tener un cuaderno de notas, apuntes, agenda, etc. Lo primero que se debe consignar son las preguntas introductorias y aclarar con los estudiantes que es una consulta de lo que ellos piensan, no hay respuestas verdaderas ni falsas, todas las respuestas son válidas, se aclara que en ningún momento se pretende evaluar numéricamente, esto genera un espacio de confianza, tranquilidad y se disminuye la tensión que crean las clases de ciencias, de esta forma es posible que fluyan las ideas que los estudiantes tienen, finalmente se aclara que se debe responder de forma individual.

- ¿Qué hay al interior de cualquier objeto que nos rodea, si pensamos en sus componentes? ¿Qué es lo más pequeño que lo compone? ¿De qué forma será? Dibújelo y explíquelo. Recuerde que existen modelos de átomos,
- ¿Cómo hacen esas “cosas” que hay al interior de los objetos para permanecer unidas?
- ¿Qué tamaños alcanzarán esas “cosas” que forman los objetos. ¿Qué aparatos usamos para poderlos ver?
- ¿Será que se pueden manipular esas pequeñas cosas?
- ¿Habrá vacío entre una de esas cosas y otras, o se dará un continuo?
- ¿Qué diferencia hay entre un pedazo de hielo, el agua que hay en un vaso y el agua que sale en forma de vapor cuando se cocina?
- ¿Por qué la mayoría de objetos tienen, formas, colores, durezas, texturas, entre otras características distintas?
- ¿Se mantendrán estas propiedades si se dividen en partes muy pequeñas?
- ¿Qué significa el término “nano”?
- ¿Qué productos has usado que tengan nanotecnología?
- ¿Cómo se almacena la información en los diferentes aparatos tecnológicos y por qué han evolucionado en los últimos años?

Se recuerda nuevamente, que el resultado de estas preguntas no tiene una valoración, simplemente es el punto de partida que queremos conocer.

6.7 CRITERIOS GENERALES DE VALORACIÓN.

Cuando se valoran las preguntas de la evaluación introductoria y en general a través de las diferentes actividades de la unidad didáctica, nos debemos guiar por algunos criterios que nos permiten revisar y valorar los avances del proceso y de acuerdo a estos determinar si se va por el buen camino cumpliendo los objetivos, si hay temas que definitivamente se deben atacar de otra forma, si persisten ideas equivocadas, que permita tomar ciertas decisiones en relación a la continuidad de las secuencias, o modificaciones.

0	El estudiante no responde la pregunta.
1	El estudiante responde la pregunta pero usa información incorrecta y no explica sus afirmaciones.
2	El estudiante explica sus afirmaciones, pero no usa información correcta para sustentarlas.

3	El estudiante usa información correcta para sustentar sus informaciones pero no usa los datos que extrajo de las experiencias de clase.
4	El estudiante usa información correcta para sustentar sus afirmaciones y se apoya en los datos que extrajo de las experiencias de clase.
5	El estudiante usa información correcta para sustentar sus afirmaciones y se apoya en los datos que extrajo de las experiencias de clase, para aplicarla a diferentes contextos y explicarle a otra persona.

(Cardona, Gómez, & Manrique, 2010)

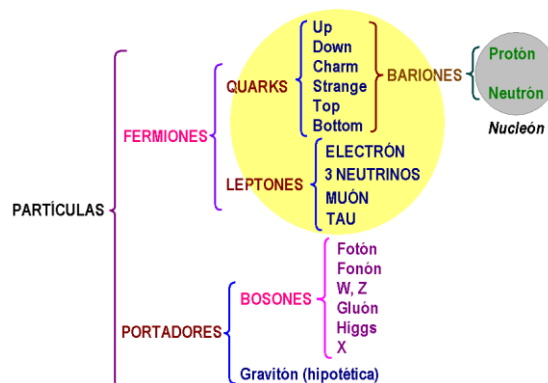
6.8 SECUENCIA 1: ¿DE QUÉ ESTÁN HECHOS LOS OBJETOS?

DESCRIPCIÓN GENERAL.

En esta secuencia, los estudiantes a través de diferentes actividades identifican la existencia de átomos, su estructura, la diferencias entre elementos y compuestos, permitiéndoles asociarlo con la materia macroscópica, esto con el objeto de tener mayor claridad cuando se aborden los conceptos relacionados a nivel nano.

FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS

En términos de la física moderna, la materia hace referencia a una entidad, campo o discontinuidad que forma parte del universo, que puede tener masa o energía asociada, que ocupa un lugar en el espacio, que permanece en el tiempo modificándose o transformándose, que se difunde o se propaga y que es capaz de interactuar con la energía misma o con otras formas de materia. (Valencia Rios & Gerena Rojas, 2011.) De acuerdo con los conceptos de comienzos del siglo XXI, está constituida por partículas subatómicas como el protón, el neutrón y el electrón, aunque a lo largo del mismo se fue avanzando en la física de partículas que cambiaron la visión del núcleo; hoy se ha demostrado que existen subdivisiones más pequeñas y otras partículas que componen la materia, como se muestra en el diagrama siguiente.



TIEMPO SUGERIDO.Dos sesiones de 120 minutos.

TÉRMINOS CIENTÍFICOS Y HABILIDADES.

Esta secuencia pretende que los estudiantes desarrollen las siguientes habilidades y competencias científicas:

Capacidad de observar, reflexionar, argumentar, describir, predecir, interrogar; a través de la formulación de preguntas, aplicar lo aprendido en diferentes contextos, explicar y definir conceptos como: átomo, molécula, compuesto, reacción, electrón, protón y neutrón.

OBJETIVO DE APRENDIZAJE.

Reconocer e identificar las generalidades de la materia en diferentes objetos de uso cotidiano, para mejorar el aprendizaje de conceptos relacionados con nanociencia.

MATERIALES

Hielo, agua en estado líquido, NaCl, harina, azúcar, arena, tiza, 3 vasos de precipitado, equipo de calentamiento, Erlenmeyer, microscopio, lupa, barra de plástico, agitador de vidrio.

PREPARACIÓN PRELIMINAR.

- El maestro debe con anterioridad hacer la lectura, síntesis y análisis del tema “Estructura de la materia”.
- Gestionar el espacio físico. Lo ideal un laboratorio, con todas las condiciones, o adecuar un salón con los recursos básicos.
- Organizar los materiales básicos de acuerdo a la cantidad de grupos que se pueden formar.
- Tener a mano una cartelera con las normas de seguridad en el sitio de trabajo, otra con las características del trabajo de acuerdo a la metodología ECBI y otra con la explicación de las partículas de la materia.
- Dar a conocer a los estudiantes en qué consiste la metodología ECBI, la importancia de trabajar en grupos de máximo 4 estudiantes, tener cada uno su cuaderno o libreta de apuntes, indicarles que se van a realizar experiencias, que hay que estarse preguntando y cuestionando, que las buenas preguntas son más importantes que la respuesta misma, que todos tienen aportes que hacer, que existen unos roles en las clases que se deben respetar y en ciertos casos rotar, que hay diferentes momentos en las clases, que finalmente la idea es aprehender.
- Contar con las copias suficientes para el trabajo.

ACLARACIÓN IMPORTANTE PARA LOS MAESTROS

De acuerdo a la metodología ECBI, la clase debe ser participativa, la conformación de grupos hace que los estudiantes den sus opiniones, se debe guiar a que todos hagan preguntas y den respuestas. No es necesario iniciar con respuestas “verdaderas”, ya que muchos conceptos de los estudiantes han sido construidos erróneamente.

ACTIVIDADES

...INICIANDO...

Antes de dar inicio a las actividades se deben proponer y discutir acuerdos, normas o reglas, los cuales deben quedar plasmados por escrito y a la vista de todos. Se asignan los grupos de trabajo y los roles: director científico, responsable de materiales, relator y vocero.

Luego de tener todo listo, se inicia el desarrollo de la secuencia dando a conocer a los estudiantes que las actividades van a girar en torno a la composición de los objetos, que vamos a interactuar con diferentes sustancias, tratando de descubrir qué hay en su interior.

Para dar inicio se necesita generar la expectativa, por lo que se puede iniciar mostrando objetos de diferentes aspectos, formas, estados, hielo, agua líquida y vapor de agua, hielo seco CO_2 sólido, sustancias gelatinosas, pantallas líquidas, una bomba inflada, un bombillo, entre otros tantos. Se hacen preguntas para todo el grupo como:

¿De qué están hechos los objetos que nos rodean?

Las respuestas posiblemente girarán en torno a palabras como: partículas, moléculas, de cosas más pequeñas, de átomos, de energía, entre otras.

¿Qué tienen en común los objetos?

Las respuestas podrían ser: son sólidos, líquidos, gases, son duros, se caracterizan por el color, la textura, que los podemos ver, tocar, entre otras.

Estas respuestas se deben plasmar en carteleras o en el tablero, para poder tener un punto de referencia durante toda la sesión.

La habilidad del maestro hace que se generen muchas dudas entre los estudiantes, que se interesen, que queden con la intención de buscar las respuestas, que se interroguen sobre los aprendizajes que traen.

...EXPLORANDO...

Observando el entorno hasta descubrir de qué está hecho.

Actividad 1. Iguales o diferentes

Se entrega a cada grupo los siguientes materiales: (leer las recomendaciones sobre las normas de seguridad)

- Agua en estado sólido (hielo).
- Agua en estado líquido.
- Agua en estado gaseoso. Usar un equipo de calentamiento básico para llevar agua hasta ebullición y con la ayuda de un vaso recolectar vapor de agua (agua en estado gaseoso).

Cada grupo debe hacer la lista de las características del agua en sus tres estados.

Características	Hielo	Agua líquida	Vapor de agua
Apariencia.			
Color.			
Textura.			
Olor.			
Sabor.			
Forma.			
Dureza.			
Otras.			

Deben hacer dibujos que muestren qué hay en su interior. ¿Cómo se comportan las partículas que hay en su interior? ¿Qué hace que el agua cambie de estado? Si es la misma sustancia, ¿por qué se comporta diferente cuando es sólida, líquida o gaseosa? ¿Qué propiedades se conservan al pasar de un estado a otro y por qué?

El acercamiento al mundo Nano desde esta experiencia radica en preguntar a los estudiantes en torno a la observación de las sustancias para intentar predecir su tamaño,

preguntas como: Qué ocurre cuando empiezan a salir moléculas de agua en el paso de estado líquido a gaseoso, de qué tamaño son las moléculas cuando se evaporan, cuántas moléculas de agua se necesitan para formar la gota más pequeña condensada, si quisiéramos solidificar agua de qué tamaño sería el cristal más pequeño.

El hecho de cambiar de tamaño las partículas de agua para el cambio de estado, ¿hace qué las propiedades cambien?

Finalmente deben diseñar una experiencia para demostrar que el agua conserva ciertas propiedades sin importar que cambie de estado.

¿Cómo hacer para comprobar que sigue siendo agua?

Si se calienta agua con otras sustancias como alcohol, ¿el vapor que se forma contiene todas las sustancias, o solo parte de ellas? ¿Cómo comprobarlo?

Deben diseñar el experimento y llevarlo a la realidad.

Actividad 2: ¿Qué se hizo la sal?

Se le entrega a cada grupo una muestra de sal de cocina, Cloruro de Sodio NaCl, y se les pide que realicen su observación. Se pueden ayudar con una lupa, si se tiene un estereoscopio mucho mejor, ¿Cómo es cada partícula?, forma, textura, color, olor, brillo, entre otras.

En un vaso de precipitado los estudiantes deben colocar 200 ml de agua y añadir 1 gramo de sal, posteriormente agitar muy bien.

Ahora los estudiantes deben debatir sobre ¿Qué se hizo la sal? Deben hacer los diagramas o dibujos que indiquen dónde está la sal, ¿Cómo se puede recuperar? Para esto deben diseñar una experiencia y realizarla en el laboratorio.



La experiencia se puede repetir usando diferentes sustancias solubles en agua.

Relacionando esta actividad con los conceptos Nano, hay que intentar que los estudiantes expliquen la diferencia entre lo macroscópico que es la representación mental que procesamos con nuestros sentidos, en nuestras experiencias, con el nivel submicroscópico, que hace referencia a representaciones abstractas y modelos que se asocian a esquemas, para iniciar el proceso de acercamiento al mundo Nano.

Es conveniente discutir si con las experiencias anteriores se ha llegado realmente al mundo Nano. Debe explicarse la existencia de macromoléculas que llegan a esa escala y tratar de “visualizarlas”.

Actividad 3: Fabricando cosas diminutas.

Se entregan 6 sustancias sólidas; un pedazo de papel, sal, harina, azúcar, arena y una tiza, el reto es diseñar la forma de obtener la partícula más pequeña de cada sustancia que conserve las propiedades de cada sustancia, todo es válido.

Se puede apoyar con un microscopio para poder ver las partículas. Cuando sea posible, se aconseja examinar suspensiones en donde puedan verse con el microscopio partículas coloidales, fragmentos de polen para discutir el movimiento browniano, etc.

¿Cuál será el tamaño más pequeño al cual se puede llegar?

El docente debe guiar a los estudiantes a construir el concepto de átomo y molécula, como unidad de las sustancias con las que se trabaja, hacer preguntas como ¿si no lo veo significa que no está? ¿Por qué las propiedades de algunas sustancias cambian dependiendo del tamaño? Es válido dar el ejemplo de los cambios que tiene sustancias como el oro y el aluminio, dependiendo de su tamaño a escala nanométrica.

Actividad 4. Por qué no se quedan quietas.

¿Qué sucede si se deja caer una gota de tinta en un vaso con agua, (sin agitar)?

Se anotan las predicciones y se complementan con dibujos y esquemas.

Los estudiantes ahora dejan caer una gota de tinta en un vaso con agua en total reposo y explican lo que sucede, ¿Cómo se mueven?, ¿la tinta está viva?, ¿tienen movimientos definidos?, ¿quién hace mover la tinta, por qué se mueve?

Ahora pida que se pregunten ¿Qué pasa si se repite la experiencia con agua fría y con agua caliente?, ¿Qué diferencias posiblemente habrá?

Luego de hacer sus predicciones y observaciones deben realizar la experiencia.

Pregunte a los estudiantes si existe una forma de volver a capturar la tinta.

Los estudiantes deben agregar un poco de carbón activado, anotar sus observaciones y dar una explicación a lo sucedido. (Indagar sobre lo que pasó: nanoporos.)

...Explicando...

Después de haber estado en contacto con las diferentes experiencias, se hace necesario que en los grupos se concluya. Para esto se debe crear un sistema donde se explique ¿De qué están hechos los objetos? ¿Cómo se organizan en su interior las partículas?

En un tiempo determinado, en cada grupo los estudiantes deben debatir sobre la estructura de la materia y cómo sería la mejor forma de representarla a través de un esquema, diagrama o dibujo.

Se deben hacer preguntas a los estudiantes como: ¿Toda la materia tiene la misma estructura interna?, ¿Qué hace que los objetos sean diferentes? ¿Cuál es la parte más pequeña de los objetos, es igual de grande en los diferentes estados de la materia?

Después del tiempo determinado se trabaja en forma de plenaria donde un miembro del grupo expone el diagrama construido, sustenta las ideas y conceptos acordados. Se toman las ideas principales, tanto acertadas como erróneas para poder hacer un cierre de la secuencia. Este espacio permite que se termine de hacer las aclaraciones necesarias para que las actividades no queden solamente en eso, en actividades.

Finalmente cada estudiante debe contestar la pregunta en su cuaderno o agenda científica ¿Cuál es la estructura interna de la materia?

Se da un espacio para que de forma individual responda las preguntas y luego voluntariamente algunos de ellos las compartan con todo el grupo.

...Aplicando...

- El trabajo desarrollado permite que los estudiantes puedan identificar la estructura interna de la materia, por esto deben:
- Definir el concepto de átomo, molécula, sustancia, compuesto y elemento químico.
- En la casa deben identificar sustancias de uso común y los elementos químicos que las componen, si es posible llevar al colegio ciertas sustancias y explicar de qué se componen, por ejemplo un pedazo de zinc, algo de hierro, de aluminio y otros.

- Antes de iniciar la siguiente secuencia, se deben compartir los resultados de estas actividades.

6.9 SECUENCIA 2: UN MUNDO A ESCALA

DESCRIPCIÓN GENERAL.

Continuando el proceso de acercamiento al mundo nanoscópico, en esta secuencia se posibilita que los estudiantes desarrollen el concepto de escala, cómo se usa y su importancia en el estudio de la nanociencia, así como intentar contar mil millones de diferentes cosas, o por lo menos indicar como se podría llegar a tener una idea de este cifra, es posible a través de la dimensión macro de este número conceptualizar esta cantidad, normalmente se escuchan números grandes; en el colegio se habla del número de Avogadro ($6,022045 \times 10^{23}$), en las noticias de 7 mil millones de habitantes en el planeta, de billones de pesos para los presupuestos, entre otros, normalmente estos no dejan de ser información. Por esto el objetivo es llegar a tener mayor claridad sobre este concepto, para poder relacionar lo macro y lo micro con la nanociencia.

FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS.

En el estudio de las Ciencias Naturales se trabaja con objetos, modelos y dimensiones que son difícilmente comprensibles, o que se deben adaptar para que puedan ser estudiadas por otras personas, por esto se deben visualizar de acuerdo a escalas, que deben estar en proporciones definidas, para lo cual existe un referente que se debe mantener, que es fijo y del cual podemos deducir las características de los objetos reales, por ejemplo, en la elaboración de mapas es indispensable conocer las escalas, para poder estudiar el universo también es indispensable, en tecnología se hacen prototipos a escala, el estudio de las células debe hacerse a escala a partir de las observaciones reales que se hacen a través de los microscopios, en el caso de la química las dimensiones entre las partículas son tan grandes que solo se puede hablar de ellas, pero se dificulta dibujarlas a escala. (Recomendación: el maestro debe hacer un repaso sobre el tamaño de las cosas, el uso de las escalas, las unidades de medida, ya que se parte de un conocimiento adquirido previamente en la formación profesional).

En la cotidianidad se trabajan con valores de medida para distancias como el centímetro, el metro y el kilómetro o medidas de tiempo como segundos, horas, días, años, valores monetarios como mil, cien mil, un millón o varios millones, muy poco se usa en el lenguaje popular “mil millones de algo”, para el caso de la edad de la tierra y de los

organismos vivos es complicado pensar que estamos en el año 2013 y que el universo según los astrónomos tiene 13.700 millones de años, para lo cual la edad de cualquier ser humano es insignificante, o el hecho de indicar que la distancia media que hay entre la Tierra y la Luna es de 384.317,2 Kilómetros, algo así como recorrer 270 veces la distancia entre la Guajira y el Amazonas en nuestro país, aproximadamente, (vale aclarar que la Luna es el cuerpo celeste más cercano a nuestro planeta), la distancia entre el sol y la Tierra es de 149,600,000 km, números muy grandes que en la mayoría de ocasiones no relacionamos, o cuando se trabaja en el laboratorio de biología con los microscopios y se indica que cierta estructura es 1000 veces más grande, o en química cuando se explica que una cantidad muy pequeña de cierto elemento contiene billones de billones de átomos, o que en la cabeza de un alfiler hay una gran cantidad de átomos de hierro.

Si se hace una conexión entre los conceptos matemáticos, la ciencia y la cotidianidad, usando cosas reales, es posible lograr que los estudiantes encuentren relación con los conceptos de la nanoescala, visualizar y experimentar números muy grandes o números muy pequeños.

Vamos a trabajar el concepto de un millardo, que equivale a mil millones, ó sea 1.000'000.000; como es un número muy grande, se puede expresar en potencias de diez, como exponencial 10^9 , lo que nos indica que es un UNO (1) seguido de NUEVE (9) ceros a la derecha; es muy útil hacer la comparación con el nanómetro que equivale a 10^{-9} m.

Si alcanza el tiempo, se puede hacer algo similar con *la escala de tiempo*, llevándolos en lo posible hasta la *femtoquímica*.

TIEMPO SUGERIDO. Dos sesiones de 120 minutos.

TÉRMINOS CIENTÍFICOS Y HABILIDADES.

Esta secuencia pretende que los estudiantes desarrollen las siguientes habilidades y competencias científicas:

Observar, describir, predecir, medir, tomar y analizar datos, explicar, definir conceptos, reflexionar, argumentar, capacidad de analizar y proponer modelos aplicados al concepto de la nanoescala.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE.

- Aprender acerca del manejo e importancia de las escalas en las ciencias, haciendo actividades de analogía para comprender con mayor facilidad el rango de trabajo de la nanociencia.

- Comprender y construir el concepto mental de mil millones a través de las diferentes experiencias.

MATERIALES

Imágenes de una bacteria, un insecto, un juguete, un mamífero terrestre grande, un árbol, una ballena, un continente, un planeta, el sistema solar, con sus dimensiones en metros. Los videos: “la gran escala del universo” y “La Materia Extraña: un viaje por la física de astropartículas”, computador y Video beam.

2 pliegos de papel periódico y materiales de trabajo, lápices, colores, reglas, etc. Cuadrículas suficientes para cada grupo (Anexas)

Por grupo: 2 vasos grandes, una cuchara plástica, azúcar en cristales, 10 pimpones, regla plástica de 30 cm, botella plástica de un litro con perforación a 2 cm de la base, cronometro. Balanza digital.

Materiales de trabajo, lápices, colores, reglas, etc.

PREPARACIÓN PRELIMINAR.

- Gestionar el espacio físico. Ideal un laboratorio, con todas las condiciones, o adecuar un salón con los recursos básicos.
- Organizar los materiales básicos de acuerdo a la cantidad de grupos que se pueden formar.
- Tener a mano una cartelera con las normas de seguridad en el sitio de trabajo, otra con las características del trabajo de acuerdo a la metodología ECBI.
- Previo aviso, a quien corresponda, de que los estudiantes estarán por el colegio haciendo dibujos.
- Contar con las copias suficientes para el trabajo.
- Gestionar los materiales y hacerle las adecuaciones necesarias.
- Calcular las medidas del aula de clase.

Sesión 1, de la secuencia No 2.

ACTIVIDADES

...INICIANDO....

Como lo plantea la metodología ECBI, lo primero es hacer las recomendaciones generales sobre el trabajo, definir o recordar los acuerdos, revisar las normas de seguridad y asignar los roles.

Para dar inicio a esta secuencia se recomienda compartir una corta introducción sobre los tamaños de los objetos, haciendo preguntas a los estudiantes sobre: ¿Qué cosas son grandes?, ¿Qué cosas son pequeñas?, ¿Grandes o pequeñas con respecto a qué?, ¿Cómo se mide la distancia entre los planetas, las galaxias? ¿Cómo se mide la distancia al interior de las células o en el ADN? ¿Cómo se miden diferentes magnitudes, el tiempo, la velocidad, el volumen? se debe tomar nota de las respuestas de los estudiantes.

Se pueden mostrar las siguientes imágenes e indicar sus tamaños, preferiblemente en metros, para tener los referentes.

Una bacteria ($1 \times 10^{-6} \text{m}$ a $10 \times 10^{-6} \text{m}$), un insecto ($1 \times 10^{-2} \text{m}$ a $10 \times 10^{-2} \text{m}$), un juguete ($10 \times 10^{-2} \text{m}$ a $60 \times 10^{-6} \text{m}$), un mamífero terrestre grande (elefante entre 2.5 y 4 m), un árbol (pino entre 3 y 100 m), una ballena (25 a 30 m), un continente (América $4.2142 \times 10^6 \text{m}$), un planeta (diámetro de la tierra $12.756 \times 10^6 \text{m}$).

El maestro debe relacionar el tema de la secuencia anterior, con el tema que se va a desarrollar, retomar las ideas sobre la estructura de las cosas y recordar que todo está hecho de los mismos “ladrillos” llamados átomos y moléculas, que tienen tamaños muy pequeños, que se miden en ciertas escalas.

Se deben hacer preguntas a nivel general como:

¿A qué cosas les podemos medir su tamaño y que usamos? ¿Cuáles son los objetos más pequeños que podemos medir y como lo hacemos? ¿Existen reglas o metros para medir cosas pequeñas? ¿Cómo se mide la distancia fuera del planeta?

Las respuestas girarán en torno a animales pequeños, distancias entre objetos, el tamaño de las células, el concepto de año luz, se mide con una regla hasta milímetros y cómo ir más lejos, Se debe tomar nota de las frases de los estudiantes, para tenerlas presentes, como puntos de comparación

Presentar como introducción los videos “La gran escala del universo”, ubicado en

<http://www.youtube.com/watch?v=Cyasy54wDQc> y “La Materia Extraña: un viaje por la física de astropartículas”, ubicado en <http://www.youtube.com/watch?v=zjvtyXBGj1Y> y “potencias de diez”, de lo cual hay muchas versiones.

...EXPLORANDO...

Actividad 1.

APRENDIENDO EL CONCEPTO DE ESCALA.

El reto de esta secuencia es construir un modelo que permita comprender el concepto de escala para entender el tamaño de las estructuras.

Para esto los grupos de estudiantes, deben proponer un método para poder hacer un dibujo del colegio, o de una parte del colegio, a escala en forma de planos, en un cartel de un pliego.

Se les indica que debe existir una unidad de medida, que ellos deben proponer y mantener, para esto pueden usar las cosas que tienen cerca, un borrador, un esfero, un cuaderno, entre otros.

Los cuestionamientos para el grupo deben girar en torno a ¿Cómo hacer para que su unidad de medida la usen otras personas? ¿Qué dificultades tiene esa unidad de medida? ¿Qué beneficios tiene esa unidad de medida?

Luego deben usar la misma unidad de medida para medir diferentes objetos del salón, posteriormente usarlo para medir distancias muy pequeñas.

Actividad 2. GRANDE, MUY GRANDE.

De acuerdo a la información de las imágenes mostradas al inicio de la presente secuencia, hacer un dibujo a escala, representando todo con puntos o círculos en un pliego de papel.

Una bacteria, un insecto, un juguete, un mamífero terrestre grande, un árbol, una ballena, un continente, un planeta.

El maestro debe guiar a los estudiantes para que comparen los tamaños, que logren visualizar lo abstracto, como el tamaño de la bacteria hasta ver qué tan grande es el universo.

Este ejercicio permite hacer un primer acercamiento al concepto de las escalas, para luego

...Explicando...

Las actividades han permitido usar y proponer adecuadamente el concepto de escala, ya que cuando se trabaje con nano estructuras se debe dimensionar que el trabajo se desarrolla a nivel muy pequeño por lo que los resultados deben darse a conocer de tamaños mucho más grandes, a escala.

Ahora, en cada grupo de trabajo se debe llegar a concluir sobre ¿Cuál es la importancia de trabajar y mantener las escalas con las que se trabaja?

Los voceros de cada grupo exponen las conclusiones y se da un debate general en el cual se hace un cierre de la secuencia y se pide que cada estudiante escriba en su cuaderno científico lo que aprendieron durante estas actividades.

...Aplicando...

La intención es no perder las oportunidades que nos ofrece la tecnología, por lo que la actividad para la casa es usar el programa Google Earth, donde debe ubicar el sitio de vivienda de algunos compañeros, y el colegio. Se recomienda hacer una pequeña sesión de trabajo interdisciplinario con el maestro de sistemas y sociales.

Otra acción es el diseño a escala de un objeto que acuerden entre el grupo o de forma individual, puede ser un carro, un avión o buscar algunos que ya están diseñados y calcular cuales serían sus dimensiones reales, cuales sus implicaciones, esto porque la divulgación errónea de ciertos conceptos científicos generan creencias en los estudiantes, por ejemplo no es posibles hacer una máquina de tamaño nanométrico que sea capaz de moverse en la sangre, ya que necesitaría mucha energía.

Sesión número 2 de la secuencia No 2

ACTIVIDADES

...INICIANDO...

El grupo de trabajo y el maestro ya se encuentran habituados a la metodología ECBI, por tal razón antes de iniciar se hace un recuento de las características de la clase, la asignación de roles, las normas de seguridad y el trabajo por grupos, los cuales han trabajado en las secuencias anteriores.

Se da inicio recordando el trabajo realizado en las clases anteriores, para reafirmar que es un proceso en el cual los elemento aprendidos se siguen usando, la introducción a la secuencia puede girar en torno a preguntas como:

¿Qué tan grande es un grano de arroz, un cristal de sal, en relación al tamaño de cada uno de los estudiantes?, ¿cuántos granos de arroz se necesitarían para llenar una piscina? ¿Cómo se podría contar la cantidad de peces en el océano o la cantidad de árboles en el Amazonas? ¿Es posible contar los cabellos que hay en la cabeza de un ser humano?

Posteriormente se empieza la discusión sobre números grandes y pequeños, en relación a la cotidianidad, se puede dar inicio preguntándoles sobre que números grandes o pequeños han escuchado.

Las respuestas varían mucho, para algunos un número grande es 100 millones, para otro un año luz, para otros la velocidad de la luz, la velocidad de un automóvil de carreras; si han viajado en avión la velocidad del avión, la cantidad de agua que hay en el planeta, la cantidad de células que tiene un ser humano, la deuda externa del país, la cantidad de

dinero que se invierte en la guerra, algunos dirán billones, algunos más osados nombrarán el número de Avogadro entre otros. Se debe insistir en decir el número como tal (si lo recuerdan), se pide que escriban estos números.

Ahora se cuestiona a los estudiantes sobre la posibilidad de contar números grandes y pequeños, donde se usan, ¿Cómo se cuenta los años que tiene el universo?, ¿Cómo expresar esa edad en segundos?, ¿Cómo se haya la edad de un fósil?, ¿Cómo se cuenta la cantidad de espermatozoides en una muestra o la cantidad de personas en actividades masivas?, ¿Qué método se usa para medir la cantidad de neuronas en el cerebro?

Estas preguntas buscan que los estudiantes empiecen a buscar la forma de contar cantidades grandes y pequeñas.

Debe quedar la evidencia de sus respuestas para poder compararlas al finalizar la secuencia.

...EXPLORANDO...

Actividad 1. Es poquito y mucho al mismo tiempo, ¡¡¡ NO ENTIENDO!!!

Se entrega a cada grupo de estudiantes un vaso con una cantidad determinada de azúcar en cristales. Las indicaciones del maestro giran en torno al reto para el grupo de científicos de indicar cuántos granos de azúcar hay en el vaso, deben dar el número más exacto, se puede decir que “el maestro ya sabe cuántos hay” por lo que el método debe dar la respuesta más cercana.

Los estudiantes intentarán crear mecanismos, estrategias e ideas de como cumplir el reto, hasta intentaran contar uno por uno. El maestro debe guiar a los estudiantes para que creen un método que permita un conteo fácil, eficaz y que pueda ser validado por otros grupos de científicos. **¡Todo es válido!**

En los cuadernos de trabajo se consignan los métodos o estrategias que van a usar. El maestro debe acompañar siempre a los grupos, motivándolos a buscar la estrategia, debe dar pistas sobre el uso de las propiedades de las sustancias.

Finalmente, deben dar un estimado sobre la cantidad de cristales que hay en el vaso y si es posible calcular con el método cantidades mucho más grandes como una libra de azúcar, o un bulto.

Otras preguntas que pueden surgir son, ¿Cuántos cristales de azúcar son necesarios para llenar un recipiente cuadrado de 10 cm^3 ?

¿Qué información necesitan? Los estudiantes deben hacer una estimación de cuántos granos ordenados se necesitan para llenar el recipiente.

Si tenemos 1.000'000.000, de cristales de azúcar ¿Qué espacio ocuparán? ¿Cuánto pesarán? ¿A cuánto equivale 1 cristal de azúcar en relación a los 1.000'000.000 de cristales de azúcar?

Actividad 2: Eso son muchas pelotas.

El reto ahora es a la inversa, intentar predecir cuantas unidades se necesitan de algo para llenar una habitación o cualquier recipiente.

Situación: al grupo de estudiantes se les pide que predigan, solamente con lo que tienen en la mesa, cuantos pimpones (que se les han entregado previamente), son necesarios para llenar de forma ordenada el salón en que se encuentran.

Predicción, individual: _____ Promedio predicción del grupo _____

¿Qué proceso deben hacer para comprobar la predicción? ¿Qué datos son necesarios?

Continuando en este mismo proceso, tienen que construir hipotéticamente cajas cuadradas en la cuales se puedan colocar de forma ordenada:

- 1000 pimpones. 10^3
- 10.000 pimpones. 10^4
- 100.000 pimpones. 10^5
- 1'000.000 pimpones. 10^6
- 1.000'000.000 pimpones. 10^9

Las dimensiones de las cajas creadas hipotéticamente deben estar dadas en metros.

Lo mismo que en el ejercicio anterior la intención es que generen un sistema o método que se pueda aplicar a diferentes situaciones, igualmente se busca que logren dimensionar qué tanto puede ser mil millones (un millardo).

Actividad 3: Contando, contando me voy cansando.

Intentemos contar gotas de agua. Para esto cada grupo debe tener una botella plástica de un litro, a la cual previamente se le hace un orificio con una broca pequeña que deje caer entre 1 y 3 gotas por segundo, a una distancia de 2 cm de la base.

El grupo de estudiantes debe contar el tiempo que dura en caer 10 gotas, (con la ayuda de un cronometro), luego hacer el ejercicio para contar 100 gotas, siempre se debe tener el mismo volumen de agua al iniciar el conteo, ya que hay factores que afectan la velocidad de salida del agua.

¿Cuánto tiempo se podría estimar para contar 1.000 gotas a una velocidad constante?
¿Cuánto tiempo se podría estimar para contar 10.000 gotas a una velocidad constante?
¿Cuánto tiempo se podría estimar para contar 100.000 gotas a una velocidad constante?
¿Cuánto tiempo se podría estimar para contar 1.000'000.000 de gotas a una velocidad constante? ¿Este tiempo se puede determinar en minutos, en horas, en años?

...Explicando...

Las actividades anteriores permiten comprender y construir el concepto de mil millones.

Los grupos deben construir una conclusión sobre la relación que hay entre 1 y mil millones y sobre las estrategias que usaron para medir los diferentes elementos

Los voceros de los grupos dan a conocer las estrategias que usaron para medir cantidades tan grandes, se comparten y se llegan a conclusiones grupales.

Los estudiantes de forma individual escriben en sus cuadernos que aprendieron en esta secuencia.

...Aplicando...

- En casa, los estudiantes pueden observar su entorno y proponer el conteo de objetos que están en cantidades muy grandes, como la cantidad de insectos en cierto sitio, la cantidad de hojas de un árbol.
- Debe indagar sobre la cantidad de seres humanos que habitan el planeta, aproximadamente y de esos que porcentaje hay en Colombia.
- En una noche despejada ver las estrellas y hacer una estimación de cuántas se ven desde la casa.
- Pedir a los padres que les informen cuánto dinero gastan en el mercado cada mes y hacer la conversión de esa cifra a centavos.
- Finalmente, obtener los datos del presupuesto nacional para educación y para la guerra.

6.10 SECUENCIA No 3: ACERCÁNDONOS AL CONCEPTO DE NANÓMETRO.

DESCRIPCIÓN GENERAL.

Esta secuencia está diseñada para comprender el concepto de nanómetro, a través de un ejercicio de concentración-dilución.

FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS.

El nanómetro es la unidad de medida de las estructuras que se trabajan en este campo, para iniciar debemos decir que *Nanus* quiere decir “enano” en latín, pero el prefijo viene del griego. *vávoç* (*nanos*) significaría *superenano*. No hay duda, en el sistema internacional de unidades, el prefijo se refiere a una milmillonésima de alguna unidad de medida, se representa con unidades nm.

Un nanómetro corresponde a la división de un metro en mil millones de partes, o la millonésima parte del metro, equivale a 0,000000001 metros. 1 milímetro equivale a un millón de nanómetros.

Para ampliar los fundamentos científicos de la presente secuencia el docente debe remitirse al capítulo 5 de la tesis “Construcción de una unidad didáctica para la enseñanza de los conceptos y términos más usados en nanociencia a través de la indagación y la investigación”, ubicada en el repositorio de la Universidad Nacional de Colombia, donde se hace un recorrido de algunos conceptos de nanociencia.

TÉRMINOS CIENTÍFICOS Y HABILIDADES.

Esta secuencia pretende que los estudiantes desarrollen las siguientes habilidades y competencias científicas:

Capacidad de describir, predecir, interrogar a través de la formulación de preguntas, aplicar lo aprendido en diferentes contextos, explicar y definir conceptos como: dilución, concentración, estructuras de escala nano.

OBJETIVO DE APRENDIZAJE

Identificar el concepto de nanómetro, como unidad de medida en la nanociencia a través de la asimilación de la mil millonésima parte de algo.

MATERIALES

Por grupo: Cinta métrica, 9 tubos de ensayo de 15 ml, 1 pipeta de 1 ml, pera de succión, colorante, probeta, gradilla, cinta de enmascarar.

TIEMPO SUGERIDO. 1 sesión de 120 minutos.

PREPARACIÓN PRELIMINAR

- Gestionar el espacio físico. Ideal un laboratorio, con todas las condiciones, o adecuar un salón con los recursos básicos.
- Organizar los materiales básicos de acuerdo a la cantidad de grupos que se pueden formar.
- Cartel sobre prefijos y sufijos del metro, imágenes de estructuras de tamaño nanométrico y una unidad de medida.
- Tener a mano una cartelera con las normas de seguridad en el sitio de trabajo, otra con las características del trabajo de acuerdo a la metodología ECBI y otra con la explicación de las partículas de la materia.
- Contar con las copias suficientes para el trabajo.

ACTIVIDADES.

...INICIANDO...

Vamos a trabajar en esta secuencia en torno a la milmillonésima parte de las cosas, para ambientar el trabajo se inicia con preguntas para buscar las ideas que traen los estudiantes,

¿Existe la mil millonésima parte de algo? ¿Y la cien mil trillonésima?

¿Qué tanto podemos dividir algo en la casa o en laboratorio?

¿Para qué se necesita dividir las cosas en algo tan pequeño?

Se toman las respuestas de los estudiantes y se dejan a la vista para poderlas ver durante toda la secuencia.

...EXPLORANDO...

Actividad 1: USANDO EL METRO.

Se les entrega por grupo una cinta métrica, se les pide que midan el grosor de un cuaderno, de una hoja de cuaderno, el grosor de un cabello, de una moneda, de un celular, de una uña, de un documento de identidad, y otros 10 elementos que ellos escojan, 5 muy pequeños y 5 grandes, estos datos deben quedar consignados en un tabla y expresados los datos en metros, la idea es usar los múltiplos y submúltiplos del metro (se recomienda tener una cartelera donde se encuentren las equivalencias del metro en relación a los múltiplos y submúltiplos).

Aquí se hace necesario introducir la idea de dividir el metro en centímetros, milímetros, micrómetros, nanómetros y pico metros, para medir objetos muy pequeños. Al igual que la importancia de usar elementos creados para “ver” objetos muy pequeños.

Los instrumentos de medición son útiles para diferentes actividades, pero pierden su utilidad cuando se quiere trabajar con objetos que no son visibles al ojo de forma natural.

De esta forma se habla de la milmillonésima parte del metro a la que llamamos NANÓMETRO.

Actividad 2: MIDIENDO CON NANÓMETROS.

Se entregan imágenes de estructuras de tamaño nano y una unidad de medida construida con anterioridad (Anexo de esta secuencia), se les pide que realicen la medición de los objetos y den los datos en nanómetros a través de una tabla que deben construir. Se incluyen imágenes del orden de 10 a 100 nanómetros y de 100 a 1000 nanómetros.

Actividad 3: ¿REALMENTE ES TAN PEQUEÑO?

Buscaremos llegar a la escala de lo Nano, cada grupo debe contar con los materiales necesarios, 9 tubos de ensayo, de 15 ml, una pipeta de 1 ml, una pera de succión y la muestra control que entregará el maestro. Esta muestra control es una solución preparada al 10% de un colorante natural.

Antes de iniciar esta actividad se puede dialogar con los estudiantes sobre los conceptos de concentración, se puedan dar ejemplos: en el salón hay un 50% de hombres y 50% de mujeres, una bebida alcohólica como la cerveza tiene 4 % de etanol, mientras que el whisky puede tener 40% etanol, la concentración afecta las propiedades de las soluciones

Ahora es válido hablar de las concentraciones más pequeñas, se puede hablar de la concentración de una sustancia toxica en el agua, por ejemplo el rio tiene una concentración, de una parte por millón o una parte por billón ¿Cuál es más toxico? Si tuvieran que preparar una solución de cierto ácido en una concentración de una parte por millón, PPM, ¿Cómo lo haría? Las respuestas de los estudiantes podrían ser,...eso es imposible, o podría pensar que se gastaría mucho, posiblemente no conocerán el concepto de dilución por lo que a continuación se va a trabajar.

Se explica que la sustancia llamada muestra control, se preparó usando 10 gramos de un colorante en 100 ml de agua, que por lo tanto su concentración es del 10%, en otras palabras de 100 partes hay 10 que son del colorante.

El procedimiento para trabajar el concepto de dilución en serie es el siguiente.

1. Hacer el proceso de descripción de la muestra control dando el mayor número de observaciones, haciendo énfasis en el color y la cantidad de colorante que hay.
2. Tome 9 tubos de ensayos limpios y secos, rotúelos del 1 al 9.
3. Se toma 1 ml de la muestra control y se lleva al tubo de ensayo número 1, al cual se le agrega adicionalmente 9 ml de agua destilada.

Describir las diferencias en relación a la muestra control, si es posible hacer el dibujo con color.

¿Cuál es ahora la concentración de la sustancia que contiene el tubo?, ¿Cuánto colorante hay en el agua? Normalmente los estudiantes tendrán dificultad, por lo que en ocasiones es necesario que el maestro ayude a realizar el cálculo:

$$\frac{1}{100} \times \frac{1}{10} = \frac{1 \times 100}{1000}$$

Lo que equivale al 1%.

4. Se toma 1 ml del tubo de ensayo número 1 y se coloca en el tubo de ensayo número 2 al cual se le adiciona 9 ml de agua destilada.

Cuáles son las nuevas características del tubo de ensayo número 2, si es posible hacer el dibujo con color. Para poder ir comparando, ¿Cuál es la concentración del colorante ahora? ¿Qué ha pasado con las moléculas del colorante, dónde se encuentra? ¿Qué pasó con el color?

Si es necesario nuevamente se ayuda: La nueva concentración es de 0,1%, de acuerdo a:

$$\frac{10}{100} \times \frac{1}{10} = \frac{10}{1000}, \text{ simplificando } \frac{1 \times 100}{100}$$

5. En grupo deben discutir ¿en algún momento desaparecerá el color? ¿en qué tubo?
6. Repita la experiencia hasta tener los 9 tubos de ensayo, con sus respectivos valores.
7. ¿En el tubo de ensayo número 9 que concentración se tiene?, ¿aún existe algo del colorante?

En este momento es válido aclarar que se llegó a tener una concentración de 10^{-9} , lo que equivale a las dimensiones de lo Nano, y que es similar a lo que sucede cuando se habla del tamaño de las sustancias del orden nanométrico, que son tan pequeñas que no las podemos ver pero que existen.

NOTA: esta misma experiencia se puede repetir usando otros sentidos como el olfato, al diluir un alcohol en agua, o enjuague bucal, o el sentido del gusto al diluir sal o azúcar en agua, eso depende de las materiales con los que se cuente.

...Explicando...

Las actividades anteriores han permitido que nuestros estudiantes se acerquen al concepto de nanómetro, por lo que se hace necesario poder dar cuenta de ello para esto pueden concluir en sus cuadernos y luego en plenaria en torno a las siguientes preguntas: ¿Qué es un nanómetro? ¿Qué se puede medir en la escala nanométrica? ¿Las propiedades de las sustancias cambian dependiendo del tamaño?

Al finalizar se debe llegar a un acuerdo sobre las respuestas a las preguntas planteadas anteriormente y al inicio de las actividades.

...Aplicando...

Al conocer la existencia de la escala nanométrica, los estudiantes están en capacidad de reconocer el concepto de nanómetro y hacer una inferencia mental sobre los órdenes de magnitud de dicho tamaño, por esto se les pide que desarrollen las siguientes actividades en casa:

1. Indagar sobre qué cosas, objetos o sustancias tienen tamaño nano y como lo demuestran.
2. ¿Qué significa iPod nano y por qué su nombre? ¿Qué significa shampoo con nanopartículas de queratina?
3. Dialogar con los padres y conocidos sobre la evolución del tamaño de las cosas, ¿cuáles eran grandes y ahora presentan tamaños más pequeños? La intención es que se den explicaciones de por qué sucede esto.

Con los avances en nanotecnología, el estudiante debe diseñar algo de tamaño nano que tenga una utilidad, debe dar sus características. Es solo el diseño, dejar que los estudiantes creen estructuras de tamaño nano, permite la aplicación a los conceptos trabajados hasta el momento.

6.11 SECUENCIA No 4

El nano mundo que nos rodea.

DESCRIPCIÓN GENERAL.

La secuencia el nano mundo que nos rodea, quiere que los estudiantes identifiquen la existencia de nano partículas a través de las actividades planteadas, esto aporta a la idea central de la unidad de conceptualizar la nanociencia.

FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS.

La palabra nanociencia está compuesta por dos palabras: la palabra en latín nanus que quiere decir “enano” y la palabra ciencia del latín scientia que significa “conocimiento”, por lo tanto, la nanociencia es el conocimiento sobre el comportamiento y manipulación de las estructuras del orden de la milmillonésima parte del metro y se hace usando la nanotecnología y otras ciencias complementarias.

Las estructuras de tamaño nanométrico, conocidas como nanoestructuras, se pueden encontrar de forma natural o sintetizadas en el laboratorio. Las formas naturales son nuevas para los seres humanos, pero siempre han estado presentes en la tierra desde su origen, por ejemplo, el gecko, un lagarto distribuido en gran parte del planeta, tiene la capacidad de adherirse a cualquier superficie, aunque esta sea lisa, gracias a unas vellosidades de tamaño nano que posee en sus dedos (MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT, 2003). Otro ejemplo de estructuras naturales es la oreja de mar, un molusco que produce una concha de cristales de CaCO_3 de tamaño nano que es muy fuerte gracias a su tamaño y al pegamento compuesto por una mezcla de carbohidratos y proteínas (Poole & Owens, 2007). Igualmente, el Berro, una planta pequeña, mantiene sus hojas limpias usando un sistema de limpieza, el cual, gracias a sus vellosidades nanométricas, permite que se deslice el agua y se arrastre la suciedad (Efecto Lotus). Finalmente, otra de las tecnologías más refinadas a escala atómica es el proceso de fotosíntesis, el cual capta la energía necesaria para la vida en la tierra, que se realiza a nivel de cada átomo. (Comisión Europea, Unidad de Información y Comunicación, 2004).

Para ampliar los fundamentos científicos de la presente secuencia el docente debe remitirse al capítulo 5 de la tesis “Construcción de una unidad didáctica para la enseñanza de los conceptos y términos más usados en nanociencia a través de la indagación y la investigación”, ubicada en el repositorio de la Universidad Nacional de Colombia, donde se hace un recorrido de algunos conceptos de nanociencia.

TÉRMINOS CIENTÍFICOS Y HABILIDADES.

Esta secuencia pretende que los estudiantes desarrollen las siguientes habilidades y competencias científicas:

Capacidad de describir, predecir, interrogar a través de la formulación de preguntas, aplicar lo aprendido en diferentes contextos.

OBJETIVO DE APRENDIZAJE

Identificar de forma práctica la existencia de nano partículas y asociarlas con los procesos que se den a nivel atómico y electrónico en las reacciones químicas.

MATERIALES

Microscopio, solución de nitrato de plomo (II), solución de Yoduro de Potasio KI, gotero, Sulfato de Cobre pentahidratado, cloruro cobaltoso, etanol.

Video nanociencia (<http://www.youtube.com/watch?v=Qxkw-RebWnU>), equipo de proyección.

TIEMPO SUGERIDO. 1 sesión de 120 minutos.

PREPARACIÓN PRELIMINAR

- Gestionar el espacio físico. Ideal un laboratorio, con todas las condiciones, o adecuar un salón con los recursos básicos.
- Organizar los materiales básicos de acuerdo a la cantidad de grupos que se pueden formar.
- Tener a mano una cartelera con las normas de seguridad en el sitio de trabajo, otra con las características del trabajo de acuerdo a la metodología ECBI y otra con la explicación de las partículas de la materia.
- Contar con las copias suficientes para el trabajo.

ACTIVIDADES.

...INICIANDO...

Para introducir el tema se ve el video "NANOCIENCIA" ubicado en <http://www.youtube.com/watch?v=Qxkw-RebWnU>, donde se explica de una forma muy elemental las generalidades de la Nanociencia.

A partir del video se hacen preguntas a los estudiantes como:

- ¿Han usado algún material con partículas de tamaño nano?
- ¿Qué ventajas y/o desventajas tiene el uso de nano partículas?
- ¿Quiénes pueden trabajar con nano partículas?
- ¿En la naturaleza donde se puede identificar partículas de tamaño nano?

...EXPLORANDO...

Actividad 1: ¿LAS NANO PARTÍCULAS NOS RODEAN?

Vamos a identificar en el ambiente cosas y sustancias que tengan tamaño nano. La meta es identificar por lo menos 10 cosas de su entorno que estén formadas por partículas de tamaño NANO; el maestro debe motivar a los estudiantes para que imaginen que hay alrededor que no se puede ver, pero que está formado por partículas pequeñas, por ejemplo, las partículas de polvo, las bacterias, entre otras.

Estos ejemplos se deben dibujar.

¿Cómo se podrían identificar o ver estas partículas?

Actividad 2: COMO CAMBIAN LAS COSAS.

Las reacciones químicas pueden ser usadas para demostrar cambios a nivel atómico-molecular, que se dan en el orden de tamaño menor que los nanómetros.

Para esto, los grupos deben realizar las siguientes acciones:

- En tubo de ensayo se coloca una solución de nitrato de plomo (II) $Pb(NO_3)_2$, previamente preparada, luego con la ayuda de un gotero se deja caer lentamente gotas de una solución de Yoduro de potasio, KI, los estudiantes deben explicar qué sucede, deben plantear hipótesis sobre lo que está sucediendo en el interior de las sustancias, pueden imaginar una lupa muy grande que les permita observar lo que sucede, para poderlo dibujar.

Se puede repetir el ejercicio, haciendo las diluciones como se trabajó en la secuencia anterior, para intentar ver las reacciones en unas concentraciones de orden de 10^{-9} .

Actividad 3: COLOR QUE APARECE Y DESAPARECE.

- Coloque una muestra de sulfato de cobre penta-hidratado, en un tubo de ensayo limpio y seco, del cual se deben dar sus características.

Caliéntelo con mucho cuidado de acuerdo las siguientes instrucciones; se calienta con movimiento circular, con ángulo de inclinación y con la boca del tubo dirigida hacia donde no estén los compañeros, hasta que desaparezca el color azul. (También se puede hacer sobre un crisol con tapa o una cpsula de porcelana.)

Los estudiantes deben preguntarse y responder ¿Qué cambios presenta el sulfato de cobre? ¿Por qué cambia de color? ¿Qué se hizo el color azul? ¿De alguna forma se puede volver a colorear?

Pida a los estudiantes que coloquen en un gotero una muestra de agua destilada y que indiquen sus características, ¿Qué pasaría si se le agrega agua a la sustancia que se acabó de calentar? Luego de haber respondido se deben dejar caer unas gotas de agua en el tubo de ensayo hasta que tome nuevamente el color azul. Ahora las explicaciones deben girar en torno a ¿de dónde sale el color azul nuevamente si el agua es incolora?

Se puede repetir la experiencia con cloruro cobaltoso.

Actividad: 4 CÓMO COCINAR UN HUEVO SIN FUEGO.

Se les entrega un huevo y se les pide que lo cocinen usando las sustancias de las cuales se disponen, lo único que no se puede es acercarlo al fuego.

La mayoría de las respuestas y diseños serán en torno a obtener calor de diferentes fuentes, como la luz, el cuerpo, entre otros, es válido anotar las respuestas de los estudiantes, para poderlas comparar con los resultados de la experiencia.

Luego que han intentado por diferentes medios cumplir con el reto, se valoran los logros obtenidos, y las dificultades que se presentan. Se debe buscar que realicen diferentes métodos.

Finalmente se les pide que coloquen una muestra de huevo en un tubo de ensayo, al cual se le agregara posteriormente un líquido que se les va a entregar (Etanol), deben hacer las predicciones.

...Explicando...

Las experiencias anteriores han permitido que nuestros estudiantes se acerquen a ciertos conceptos relacionados con la nanociencia, por lo que se hace necesario poder dar cuenta de ello, para esto pueden concluir en sus cuadernos y luego en plenaria en torno a las siguientes preguntas:

¿Qué es una nanopartícula, donde se encuentran y que tamaño puede tener?

¿En las reacciones químicas, qué parte de las sustancias interactúan, de qué tamaño son esas estructuras?

¿El huevo de que sustancias está compuesto? ¿Por qué cambia en contacto con el líquido transparente (etanol)

El resultado de estos debates, se debe poner en común y comparar con las respuestas que se habían dado durante toda la secuencia. De cada grupo hay un delegado encargado de poner en común los acuerdos de cada grupo, se exponen los conceptos y modelos construidos.

El maestro recoge las ideas principales, sin importar si son acertadas o no, a partir de las cuales se hace el cierre, en el cual se debe hacer énfasis en el tamaño de los átomos y las escalas que se usan para poderlos medir así, como de las interacciones que se presentan entre ellos cuando hay reacciones químicas.

...Aplicando...

Los estudiante ya han adquirido elementos relacionados con la nanociencia, es por esto que deben hacer una consulta sobre las aplicaciones actuales de la nanociencia, para esto deben hacer una comparación sobre las cosas como funcionaban antes de los avances en nanociencia y que beneficios trae.

6.12 SECUENCIA 5: TRABAJANDO CON ESTRUCTURAS NANO.

DESCRIPCIÓN GENERAL.

En la naturaleza se encuentran estructuras de tamaño Nano que son el resultado de la evolución, mas no son fáciles de reconocer; esas nano estructuras son hoy objeto de estudio, para entender su funcionamiento y poder aplicar los principios que lo rigen en la solución de problemas de la vida cotidiana. En esta secuencia los estudiantes tendrán la oportunidad de interactuar con una de ellas para identificar sus características y posibles usos;

FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS.

Las plantas se encuentran amenazadas por diferentes factores que influyen en su desarrollo, entre los que encontramos polvo, hollín, esporas de hongos, líquidos, entre otros; muchos de esos objetos les traen consecuencias negativas como aumento de su temperatura interna, disminución de la capacidad de intercambio gaseoso a través de sus estomas, algunas enfermedades y daños en las hojas, etc. Para evitar que esto ocurra, las plantas producen algunas sustancias en la cutícula que provocan el denominado efecto Loto, lo que las hace impermeables al agua al mismo tiempo que evita la permeabilidad del agua en su interior; esas sustancias son finalmente ceras, producto de una mezcla de lípidos en forma de cristal de tamaño nanométrico que se pueden observar con microscopios de alta resolución. El efecto es notable cuando ellas se exponen al rocío de agua o la lluvia y no se mojan. Este mismo efecto se puede observar en algunas animales como los cucarrones y las mariposas en sus alas.

Otras sustancias de tamaño nanométrico con las que se está trabajando, son los Ferrofluidos. Estos son mezclas coloidales de nanopartículas ferromagnéticas o ferrimagnéticas suspendidas en un fluido que se encuentra en un solvente orgánico o agua.(Barbeito, Carrá, & Sarlinga, 2009). En el laboratorio se pueden fabricar a través de reacciones química, llevarlas a cabo en el laboratorio ilustra de una forma práctica que ciertas reacciones conducen a menudo a estructuras de tamaño nanométrico en una o más de sus dimensiones espaciales.

TÉRMINOS CIENTÍFICOS Y HABILIDADES.

Las habilidades que se desarrollarán en esta secuencia son: la capacidad de observar y reflexionar, argumentar, describir, predecir, interrogar; a través de la formulación de preguntas, aplicar lo aprendido en diferentes contextos, explicar y definir conceptos como: estructuras nanométricas y ferrofluidos.

TIEMPO SUGERIDO.Una sesión de 120 minutos.

OBJETIVO DE APRENDIZAJE.

MATERIALES

Trozos de plástico, metal, vidrio, papel absorbente, papel bond, tela de algodón y nylon, tizas, icopor, hojas de plantas que traen los estudiantes como Diente de león, pasto, col (repollo), hojas y pétalos de rosa, una hoja de Sábila, cenizas, arena, polvo de madera, plastilina, gotero, 2 vasos de precipitado, equipo de calefacción, termómetro, embudo de separación, un imán, un tornillo grueso, carbón, diferentes líquidos.

Hidróxido de Amonio, cloruro ferroso y férrico, alcohol etílico, queroseno, ácido oleico.

Equipo de seguridad, bata, guantes de nitrilo, gafas.

PREPARACIÓN PRELIMINAR.

- Gestionar el espacio físico. Ideal un laboratorio, con todas las condiciones.
- Organizar los materiales básicos de acuerdo a la cantidad de grupos que se pueden formar.
- Tener a mano una cartelera con las normas de seguridad en el sitio de trabajo, otra con las características del trabajo de acuerdo a la metodología ECBI y otra con la explicación de las partículas de la materia.
- Tener los procedimientos de la actividad para ser entregados a cada grupo.
- Contar con las copias suficientes para el trabajo.

ACTIVIDADES

...INICIANDO....

Continuando con la estructura metodológica ECBI, los estudiantes ya deben estar familiarizados con la metodología, por lo que es más fácil dar inicio a las actividades planteadas.

Las preguntas que servirán de punto de partida a la secuencia se trabajan de forma general con todo el curso; el maestro debe tomar nota de las ideas previas de los estudiantes, para que puedan ser comparadas con las conclusiones después de la experimentación.

Algunas preguntas sugeridas que orientan esta primera etapa son:

- ¿Cuáles son las características y la importancia biológica de las plantas?
- ¿Por qué algunas plantas a pesar de que les llueva no se mojan?
- ¿Cuáles son las propiedades de los líquidos?
- ¿Cuáles son las estructuras en las que podemos encontrar al carbono en la naturaleza?
- ¿Qué tienen en común la mina de un lápiz y un diamante?
- ¿En nuestro cuerpo, dónde hay carbón?
- ¿Cuál es la importancia del carbono en la naturaleza?
- ¿Qué hace diferente al carbono de otros elementos químicos?

...EXPLORANDO...

Actividad 1. Conozcamos el efecto Loto

El grupo dispone de diferentes materiales, entre otros, un trozo de plástico, metal, vidrio, madera, papel absorbente, papel bond, tela de algodón, tela nylon, un pedazo de tiza, icopor, ¿Qué sucede si se deja caer una gota de agua y de otros líquidos sobre estas superficies? Esta pregunta como otras que aparecen en la secuencia, deben ser discutidas en los grupos y consignadas sus respuestas en los cuadernos de trabajo, a través de una tabla; en el acompañamiento que hace el maestro, debe orientar otra serie de preguntas que surgen en torno a las respuestas de los estudiantes.

Si es necesario, para completar las explicaciones los estudiantes deben hacer los dibujos que complementen sus respuestas.

Teniendo las ideas de los estudiantes plasmadas, deben dejar caer gotas de agua con ayuda de un gotero sobre los diferentes materiales realizando las respectivas observaciones y volver a dar las explicaciones frente a lo que observan; los resultados se deben consignar en un cuadro que permita comparar el material, lo que sucede y lo que habían pronosticado.

¿Qué sucede cuando entra en contacto el agua y los diferentes materiales a nivel atómico? Con la ayuda de un dibujo mostrar la diferencia entre un material que permite el ingreso del agua y otro que la repele.

Actividad 2

Se repite la experiencia anterior pero trabajando con hojas de algunos vegetales, como: Diente de León, pasto, col (repollo), hoja y pétalos de rosa, entre otras que traigan los estudiantes; ellos cuentan con ceniza, arena, tiza y madera en polvo (resulta del proceso de lijar la madera), que debe ser pulverizada con la ayuda de un mortero; se les pide que pongan pequeñas muestras de estas sustancias sólidas sobre las hojas de los vegetales y que simulen que se encuentran en cualquier hábitat, observen con una lupa o estereoscopio, la pregunta que surge es ¿Por qué es importante que las plantas quiten estas sustancias de su superficie? ¿Qué pasaría si no lo hacen? ¿Cómo hacen estas plantas en la naturaleza para limpiarse?

Deben diseñar un experimento para que las hojas de los vegetales retiren estas sustancias de su superficie.

Con ayuda de plastilina explicar a nivel nanométrico qué es lo que sucede en la superficies de las hojas, pueden hacer diferentes diseños, hasta averiguar ¿Cuál será el diseño o acomodación de las partículas para que el agua no ingrese a las hojas?

Si es posible, repetir la misma experiencia, pero colocando sustancias en alas de algunos insectos, libélulas, mariposas, cucarrones para demostrar que la naturaleza se las ingenia para solucionar problemas.

Actividad 3: Fabricando Ferrofluidos

Industrialmente se producen ferrofluidos a un alto precio, pero en el laboratorio se pueden construir a través de las reacciones químicas como se describe a continuación.

Antes de iniciar los estudiantes responderán ¿Qué son los imanes y que propiedades tienen? ¿Qué pasa si se le acerca un imán a un líquido? ¿Es posible hacer un árbol con un líquido? Las respuestas se consignan, para verificar los resultados.

De acuerdo a (L.A. García-Cerda, 2003), se hace reaccionar cloruro férrico $\text{FeCl}_{3(s)}$ y cloruro ferroso $\text{FeCl}_{2(s)}$, el procedimiento es; disolver los dos cloruros hasta su nivel máximo de disolución en cantidades iguales con 400 ml de agua, luego se ponen a calentar hasta 80° Celsius (10 min promedio), se pretende alcanzar el nivel máximo de disolución, y se agrega rápidamente una solución de hidróxido de amonio (NH_4OH) al 10% en volumen, la reacción entre estas sustancias formarán nano partículas de magnetita como un precipitado oscuro, esto genera una reacción exotérmica donde se desprende energía y se eleva la temperatura, adicionalmente se hace oscura la mezcla, lo que indica la formación de la magnetita, se mantiene al fuego con constante agitación hasta agregar el hidróxido necesario y no se evidencie más reacción.

Teniendo formada la magnetita de tamaño Nano, hay que lavarle, para retirarle los excesos de iones Cl^- NaOH y H_2O , para esto usamos, alcohol etílico, se coloca la mezcla obtenida anteriormente en un embudo de separación con suficiente alcohol etílico y se mezcla muy bien, como las partículas son tan pequeñas estas pasarían por el papel filtro, entonces hay que hacer una separación usando las propiedades magnéticas de la magnetita, para esto se arma un dispositivo con media botellas plástica cortada por la mitad, y se adhiere con cinta un imán en una su extremo de afuera:



Se deja caer gotas sobre la botella, la magnetita se adhiere al imán, y el líquido puede ser separado por la punta de la botella.

Se coloca la magnetita en un vaso de precipitado.

En otro vaso de precipitado se prepara una solución de 60% de queroseno y 40% de ácido oleico $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$, y se mezcla con la magnetita obtenida en el procedimiento anterior de tal forma que se vea una sustancia líquida.

De esta forma ya se tiene un ferrofluido; ahora sí se prepara el material adicional para observar todo lo que se puede hacer con esta sustancia.

1. Se coloca una gota de nuestros ferrofluidos sobre una hoja de papel bond y un imán por debajo, ¿Qué figuras se forman?, luego se pueden ir agregando pequeñas gotas, se pueden mover como si fuera una turbina con la ayuda de un agitador de vidrio, indique a los estudiantes que realicen diferentes actividades con esta sustancia.

Se recomienda usar guantes de Nitrilo y evitar el contacto directo de la piel con los ferrofluidos y no desechar los ferrofluidos.

2. Con la ayuda de un tornillo grueso, colocar en un extremo un imán, se coloca lentamente gotas de ferrofluidos en la cabeza del tornillo, hasta que se forme un árbol.
3. Los estudiantes dibujan lo que observan y explican el comportamiento de los fluidos.
4. Los estudiantes, recurriendo a su imaginación, pueden hacer muchas propuestas de diseños y manejo de los ferrofluidos.

¿Qué papel cumple el queroseno y el aceite oleico?

Otro procedimiento para fabricar ferrofluidos es usando *toner laser printer*, tóner para impresoras, el cual debe ser mezclado con aceite de cocina, obteniendo una sustancia con las mismas propiedades de los ferrofluidos, se debe contar con un imán de neodimio (el resultado depende del toner que se use).

...Explicando...

Después de este largo recorrido por el mundo de la Nanociencia se hace necesario reflexionar en torno a lo realizado, para lo cual el grupo debe debatir sobre las experiencias realizadas, revisar los apuntes y dibujos realizados, las conclusiones pueden salir a partir de las siguientes preguntas:

Frente al efecto Loto:

¿Qué es el efecto loto?

¿Cuál es la importancia del efecto Loto para las plantas y los insectos?

¿Qué sucede en la naturaleza si estas estructuras son averiadas?

¿Qué usos se le puede dar al efecto loto?(hacer de cuenta que se conoce a profundidad los principios de este efecto y que se cuenta con la tecnología para aplicarlo a algo).

¿De qué tamaño deben ser las estructuras que protegen las plantas?

Frente a los ferrofluidos:

¿Cuáles pueden ser las aplicaciones tecnológicas de los ferrofluidos?

¿Por qué se forma una especie de “erizo” cuando se coloca el imán debajo del ferrofluido, qué se puede describir?

...Aplicando...

El trabajo final de esta secuencia gira en torno a la consulta de los usos que se le está dando a la nanociencia, para esto deben preparar una exposición donde expliquen cuales son las principales aplicaciones de la vida cotidiana, la medicina y la comunicación.

6.13 SECUENCIA 6: UN CABELLO ALGO MUY GRANDE Y ALGUNAS NANO ESTRUCTURAS.

DESCRIPCIÓN GENERAL.

Esta secuencia lleva a determinar el diámetro de un cabello humano, aunque este último sistema dista mucho de ser nanométrico, enseña al estudiante un procedimiento de medida que utiliza longitudes de onda en esa región: las de la luz visible. Se extrapola a rayos X, para determinar la estructura cristalina de una sustancia.

También se introduce a las características del grafeno y la construcción de modelos a escala de Buckeyballs.

FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS.

El carbono es el elemento químico que ha dado origen a buena parte de la Nanotecnología. Su propiedad para usar los 4 electrones de valencia en la formación de sustancias, a través de diferentes ángulos de enlace mediante un proceso conocido como hibridación, le lleva a formar desde el monóxido y el dióxido de Carbono, hasta complejas proteínas, enzimas, ribosomas y muchas otras sustancias orgánicas asociadas a la vida, de escala nanométrica, incluidos el ADN y el ARN. Recientemente se descubrieron los nanotubos de carbono, los fulerenos o fullerenos, y las buckyballs, denominados así en homenaje al ingeniero y arquitecto Buckminster Fuller, al igual que los grafenos.

El carbono sólido tiene 2 estructuras principales, las cuales conocemos como formas alotrópicas; el diamante y el grafito. El diamante se caracteriza porque tiene una estructura particularmente fuerte gracias a la disposición de sus átomos de carbono, que se enlazan de forma tetraédrica; sus enlaces presentan hibridaciones sp^3 ; en el diamante, cada átomo de carbono tiene cuatro vecinos muy cercanos con idéntica estructura, lo cual le da sus características de dureza sin par; en cambio el grafito es lo contrario: a pesar de tener la misma composición química, es una estructura muy blanda ya que su disposición o acomodación es de forma laminar, formada por hexágonos de átomos de carbono enlazados entre sí, por enlaces híbridos sp^2 ; en esta sustancia cada átomo de carbono tiene 3 átomos de carbono vecinos, y estas láminas están unidas por fuerzas de van der Waals muy débiles. Recientemente se han encontrado nanodiamantes en estructuras presolares que conforman meteoros. A partir del grafito se ha encontrado otra estructura mucho más versátil y novedosa, denominada grafeno. Rigurosamente hablando, es una lámina hexagonal del grosor de un átomo de carbono, de variadas y atractivas propiedades electrónicas y ópticas. Las monocapas de grafeno

consideradas por muchos como un hito en la ciencia de los materiales, es una de las formas alotrópicas más interesantes del carbono. Dadas sus características electrónicas y magnéticas únicas, lo han convertido en un potencial reemplazo del silicio en la fabricación de dispositivos electrónicos. Particularmente, la posibilidad de que el grafeno se pueda usar en la fabricación de nuevos transistores y computadores que operen en el rango de los cientos de gigahertz o terahertz ha generado gran expectativa en los últimos años y ha motivado una gran cantidad de inversión y desarrollo en este campo. Adicionalmente, numerosos estudios han revelado sorprendentes posibles aplicaciones de este material en otras áreas como la medicina, la química ambiental y analítica. (Díaz López, 2012)

OBJETIVO DE APRENDIZAJE.

Comprender como se estructuran las estructuras nanoscópicas, a través de la experimentación y observación.

Reconocer la importancia del grafeno, como un material que promete muchas aplicaciones en ciencia y tecnología.

Aprender a construir algunas estructuras relacionadas con la nanociencia, usando modelos a escala.

MATERIALES

Indicador láser, cinta pegante, regla, calculadora, esquema de buckyball, video sobre grafenos ubicado en <http://www.youtube.com/watch?v=v4cKDzTyOek>.

PREPARACIÓN PRELIMINAR.

- Gestionar el espacio físico. Ideal un laboratorio, con todas las condiciones.
- Organizar los materiales básicos de acuerdo a la cantidad de grupos que se pueden formar.
- Tener a mano una cartelera con las normas de seguridad en el sitio de trabajo, otra con las características del trabajo de acuerdo a la metodología ECBI y otra con la explicación de las partículas de la materia.
- Tener los procedimientos de la actividad para ser entregados a cada grupo.
- Contar con las copias suficientes para el trabajo, tanto de las actividades como del esquema de los Buckeyballs.

...INICIANDO...

Para dar inicio a esta secuencia se organizan los grupos de acuerdo a la metodología que se ha trabajado hasta el momento.

Se inicia la motivación de los estudiantes retándolos a medir el grosor de un cabello humano, se les indica que deben pensar en diferentes métodos para hacerlo.

Los estudiantes también deben pensar en que harían si pudieran manipular la materia, átomo por átomo, en que lo usarían, que problemas resolverían, finalmente qué es y cómo se hace un modelo en química y física.

...EXPLORANDO...

Actividad 1. Que tan grueso es un cabello humano.

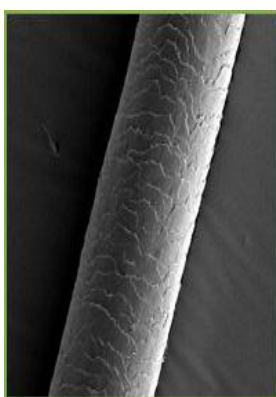


Imagen tomada por un microscopio electrónico de un pelo humano, cuyo grosor promedio es de 0,1

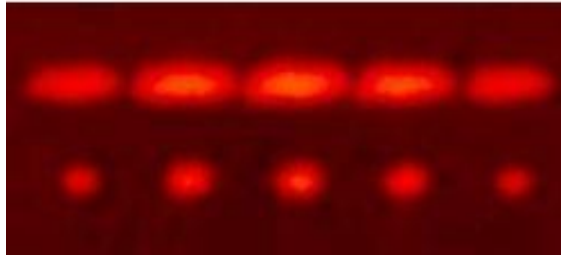
Antes de iniciar se debe recomendar que los indicadores láser no son para jugar, no se debe apuntar hacia los ojos de ninguna persona.

Poder medir el grosor de un cabello es muy difícil ya que es muy pequeño y los instrumentos que tenemos no permiten tomar estas medidas, pero en esta ocasión haremos uso de un método que nos puede dar una estimación del grosor del cabello de un compañero de clase.



Tome un láser de color rojo y con la ayuda de una cinta coloque en la punta un cabello de tal forma que quede en la mitad.

Fije el montaje anterior sobre una superficie a dos metros de la pared y actívelo, se verá en la pared como el haz de luz se divide haciendo una figura como la siguiente:



Esto sucede porque el cabello está incidiendo en la trayectoria del haz de luz del láser y hay una interferencia en las ondas, lo que genera un patrón, a esto se le conoce como difracción de Fraunhofer.

La forma de calcular el grosor del cabello depende del principio de Babinet, en el cual se aplica la siguiente ecuación matemática:

$$d = \frac{2 \times m \times \lambda \times D}{L}$$

En esta ecuación, d es el grosor del cabello, m es el orden de los máximos, en nuestro caso tomamos $m=1$, λ corresponde a la longitud de onda del láser (se encuentra en cada aparato láser), D es la distancia entre el pelo y la pared donde se genera el patrón finalmente L es la distancia entre el principal patrón al lado y lado. Todas las distancias deben estar en las mismas unidades.

Proceda a hacer lo mismo con un láser de color verde y discuta las diferencias que encuentre.

Nótese que la longitud de onda de la luz visible es de algunos cientos de nanómetros.

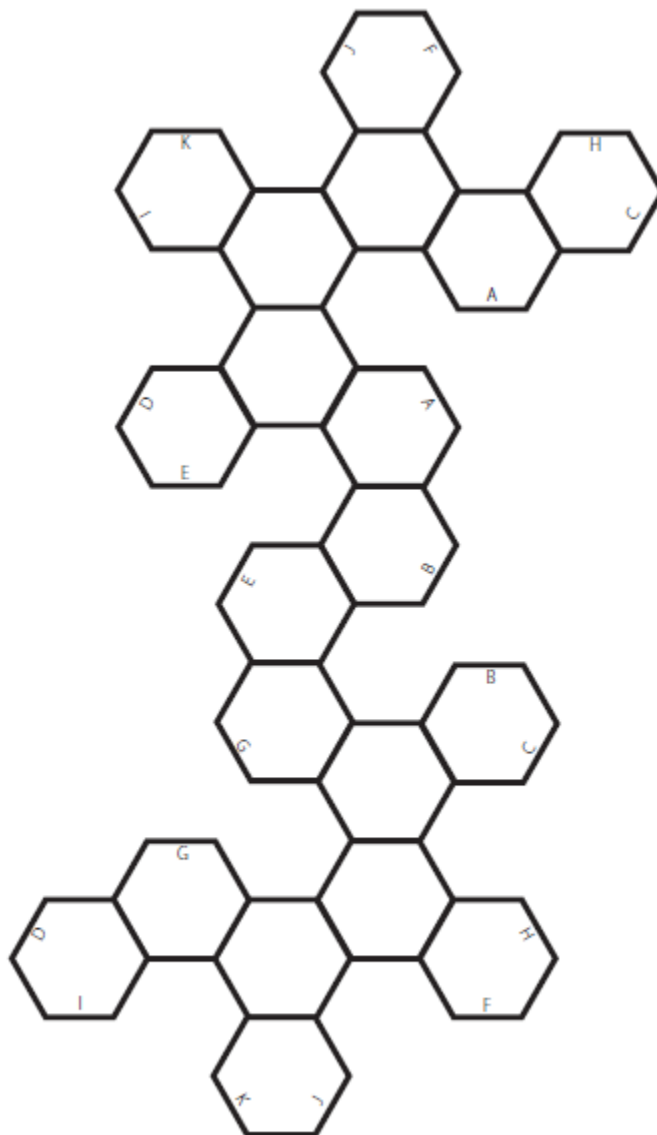
Precauciones: Los láseres utilizados son de categoría III, por lo que se deben utilizar gafas de protección, ya que pueden producirse reflejos no controlados que inciden sobre la retina, pudiendo provocar pérdida parcial o total del sentido de la vista

Actividad 2: Nano construyendo estructuras.

En esta actividad se va a explorar la estructura geométrica que tienen los buckyball, haciendo énfasis en las características de los enlaces entre carbonos.

Para iniciar se debe indagar sobre las cosas que conocen los estudiantes sobre el carbono, ¿Qué cosas están hechas de carbono? ¿Dónde lo podemos encontrar? ¿Cómo es su estructura? ¿Por qué es importante el carbono? ¿Qué tiene en común el carbono que se usa en asados, el del filtro de los peces, el carbono del smog y el dióxido de carbono que exhalamos?

En este momento se introduce el tema de los nanotubos y las buckyball, explicando que el carbono tiene muchas opciones de enlazarse entre sí porque puede hacer diferentes ángulos de acuerdo a sus propiedades y en esta ocasión se va a fabricar un modelo de buckyball a escala, formada por 60 átomos de carbono, y con forma de balón de fútbol, de acuerdo al siguiente esquema:



¿Cuántos pentágonos y hexágonos tiene? ¿Cuántas caras tiene? ¿Cuántos grados tienen los ángulos de los pentágonos y de los hexágonos? Una vértice es donde se encuentran varias líneas y representan un carbono, ¿Cuántos carbonos tiene?

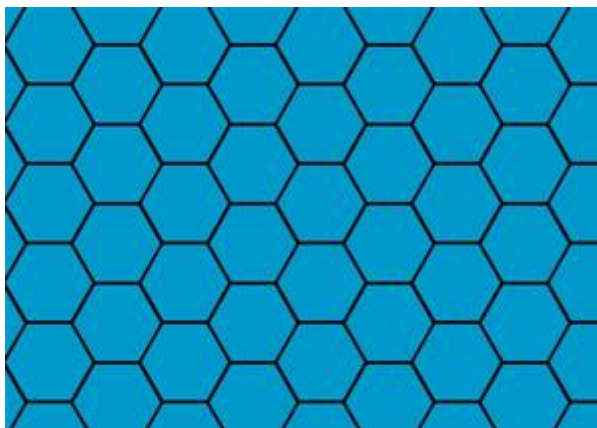
Actividad 3.

RECONOCIENDO NANOTUBOS.

Como es difícil trabajar con nanotubos en el aula porque no se cuenta con los instrumentos necesarios, en esta actividad se usan las TICs, como apoyo, por esto se invita a los estudiantes a ver los videos de ubicados en la dirección:

<http://www.youtube.com/watch?v=6k3U2rCOvVc&list=PLEA5E253FA2B35019>, se recomienda ver con anterioridad los video y garantizar que son accesibles.

Se les pide a los estudiantes que realicen diferentes modelos en cartulina, y que intente hacer tubos de acuerdo a lo visto en los videos.



Actividad 4

GRAFENO, EL MATERIAL DEL FUTURO.

Con la ayuda de una cinta pegante, obtener monocapas de grafeno; para esto se toma una punta de grafito (una punta de lápiz) y se coloca en una cinta pegante la cual se pega y despega dejando una huella del grafito, luego se repite este proceso de pegar la cinta sobre la huella que va dejando el grafito, hasta obtener la capa más delgada o una huella demasiado fina, como en las instituciones no tenemos los instrumentos para observar la fina capa de grafeno que queda, el ejercicio sirve para explicar lo que hicieron AndreGeim y KostyaNovoselov, (premios nobel de física 2010) para obtener este material, al igual que explicar sus características, propiedades y las posibles aplicaciones de esta sustancia.

Se complementa esta actividad viendo el video: Grafeno: dentro de 50 años (<http://www.youtube.com/watch?v=v4cKDzTyOek>) donde se pueden ver las posibles aplicaciones de este material.

...Explicando...

El maestro o maestra debe hacer una explicación en torno al tamaño nanométrico y cómo se logra medir el tamaño del cabello humano, se hace referencia a la parte matemática y como se desarrolla.

Posteriormente se hace la explicación de las estructuras conocidas como buckyball, y se hace la reflexión, si los buckyball son estructuras del orden de menos de 100 nanómetros, ¿en qué se pueden usar? ¿A qué se debe que estas estructuras sean tan estables? ¿Qué otras propiedades tienen los buckyball? Al igual que con los nanotubos.

Se explica de igual manera la importancia del grafeno, como este material nuevo, (no mas de 10 años) puede llegar transformar la ciencia y la tecnología, los estudiantes deben responder la pregunta ¿Qué harían con el grafeno si pudieran producirlo, en que lo aplicarían?

Los grupos obtienen sus conclusiones y las comparten con los otros compañeros. Se toman las ideas principales, tanto acertadas como erróneas para poder hacer un cierre de la secuencia. Este espacio permite que se termine de hacer las aclaraciones necesarias para llegar al proceso de conceptualización.

Se da un espacio para que de forma individual responda las preguntas y luego voluntariamente algunos de ellos las compartan con todo el grupo.

Después de este largo recorrido por el mundo de la Nanociencia se hace necesario reflexionar en torno a lo realizado, para lo cual el grupo debe debatir sobre las experiencias realizadas, revisar los apuntes y dibujos realizados, las conclusiones pueden salir a partir de las siguientes pregunta

¿Qué es la Nanociencia y la nanotecnología?

...Aplicando...

Realizar la comparación entre los tamaños del cabello y de otras estructuras, proponer otras mediciones, por ejemplo el ancho de un billete en nanómetros usando el método del rayo láser, si es posible medir el ancho de un pelo de un insecto o la cuerda de una telaraña.

La imaginación de los estudiantes es tan grande que pueden desbordarse y proponer diversidad de mediciones con este método.

6.14 SECUENCIA 7 MICROSCOPIOS MUY POTENTES.

DESCRIPCIÓN GENERAL.

La presente secuencia es un acercamiento al funcionamiento de los microscopios usados en nanociencia: Microscopio Electrónico, Microscopio de Efecto Túnel (STM) y

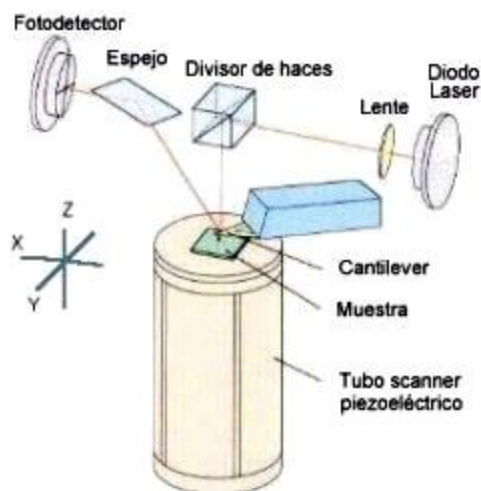
FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS.

El Microscopio de efecto túnel podríamos definirlo como una máquina capaz de revelar la estructura atómica de las partículas. Las técnicas aplicadas se conocen también como "de barrido de túnel" y están asociadas a la mecánica cuántica. Se basan en la capacidad de atrapar a los electrones que escapan en ese efecto túnel, para lograr una imagen de la estructura atómica de la materia con una alta resolución, en la que cada átomo se puede distinguir de otro.

Una vez llevado el proceso en el microscopio, escaneando la superficie del objeto y haciendo un mapa de la distancia entre varios puntos, se genera una imagen en tres dimensiones. Los microscopios de efecto túnel también han sido utilizados para producir cambios en la composición molecular de las sustancias. Es un instrumento fundamental en el campo de la nanotecnología y la nanociencia.

Inventado por Binnig y Rohrer en 1981, quienes fueron galardonados con el Premio Nobel en 1986 por este descubrimiento. (Euroresidentes, 2011)

El Microscopio de Fuerza Atómica (AFM) es un instrumento mecano-óptico capaz de detectar fuerzas del orden de los nanonewton. Al analizar una muestra, es capaz de registrar continuamente la altura sobre la superficie de una sonda o punta cristalina de forma piramidal. La sonda va acoplada a un listón microscópico, muy sensible al efecto de las fuerzas, de sólo unos 200 μm de longitud (cantilever, ver figura). La fuerza atómica se puede detectar cuando la punta está muy próxima a la superficie de la muestra. Es posible entonces registrar la pequeña flexión del listón mediante un haz laser reflejado en su parte posterior. Un sistema auxiliar piezoeléctrico desplaza la muestra tridimensionalmente, mientras que la punta recorre ordenadamente la superficie. Todos los movimientos son controlados por una computadora. (Universidad de la Habana Cuba, Facultad de Física., 2013)



TÉRMINOS CIENTÍFICOS Y HABILIDADES.

Esta secuencia pretende que los estudiantes desarrollen las siguientes habilidades y competencias científicas:

Capacidad para comprender el funcionamiento de instrumentos tecnológicos para el trabajo de la nanociencia.

OBJETIVO DE APRENDIZAJE

Comprender e identificar el funcionamiento de un microscopio usado en nanociencia.

MATERIALES

Lupa, microscopio tradicional, estereoscopio, materiales para elaborar un modelo de microscopio (el maestro debe traerlo preparado de acuerdo a las instrucciones)

TIEMPO SUGERIDO. 1 sesión de 120 minutos.

PREPARACIÓN PRELIMINAR

- Gestionar el espacio físico. Ideal un laboratorio, con todas las condiciones, o adecuar un salón con los recursos básicos.
- Organizar los materiales básicos de acuerdo a la cantidad de grupos que se pueden formar.
- Tener a mano una cartelera con las normas de seguridad en el sitio de trabajo, otra con las características del trabajo de acuerdo a la metodología ECBI y otra con la explicación de las partículas de la materia.
- Contar con las copias suficientes para el trabajo.
- Traer los materiales necesarios para la elaboración del modelo de microscopio.

...Iniciando...

Como ya es habitual en la metodología ECBI, se hacen los grupos, se asignan responsabilidades, se alista el material y da inicio a las actividades.

Para iniciar esta última secuencia, las preguntas de motivación para los estudiantes son:

¿Cómo funciona una lupa y un microscopio? ¿Cuándo y cómo han usado las lupas? ¿Cuál es la importancia de los microscopios para la ciencia? ¿Qué diferencia hay entre el microscopio y el telescopio? ¿Qué cosas le gustaría ver con un microscopio?

El maestro puede dar una breve “charla” sobre la historia del microscopio y como ha servido para los avances de la ciencia.

Se sugiere que el maestro comprenda el funcionamiento de los diferentes microscopios.

...Explorando...

Actividad 1 UN POCO GRANDE.

Con la ayuda de una lupa observar diferentes objetos y dibujarlos en el cuaderno. Se puede iniciar observando la mano, intentar ver la estructuras de la pared de las células y calcular su tamaño, se puede observar las partes de algún insecto o las letras de un periódico impreso, el tamaño nuevamente del cabello.

Actividad 2 MUCHO MAS GRANDE.

Se repite la experiencia anterior, pero esta vez se usa un microscopio, se corta una letra **e** de un periódico y se hace el debido montaje para verla con el microscopio y con el estereoscopio.

Actividad 3

Tome una moneda de cualquier valor, colóquela debajo de papel y frote por encima del papel suavemente con un lápiz, hasta que se vea la figura de la moneda.

Repita esta actividad ahora con un billete.

Trate de frotar del mismo modo sobre la piel de un compañero hasta ver la estructura de las membranas celulares.

Lleve a los estudiantes a la discusión de porque en la moneda se facilita y en el billete es casi imposible.

Actividad 4

Trabajando como lo hace un Microscopio de barrido

El maestro antes de iniciar prepara la muestra que los estudiantes van a observar con su “microscopio”, se explica con anterioridad su funcionamiento, en una caja pequeña se coloca un objeto tridimensional, o se hacen figuras de plastilina que se pegan en el fondo de la caja, la tapa de la caja lleva perforaciones cada centímetro, tanto vertical como horizontalmente, los huecos deben permitir el ingreso de un palo de “pincho” y su movimiento, la caja está muy bien cerrada de tal forma que no se vea nada en su interior.

Se fabrica el dispositivo lector con los palos de pincho de tal forma que uno ingrese en la caja y el otro dibuje sobre un papel que esta perpendicular a la caja de la siguiente forma:



Se indica a los estudiantes que deben hacer el barrido por todos los puntos de la cuadrícula, para poder “observar” lo que hay en su interior, como hay diferentes cajas preparadas, se puede permitir que realicen intercambios, par atener mas elemento en el momento de la discusión.

...Explicando...

Los estudiantes deben en grupo concluir sobre las siguientes preguntas:

¿Cómo funciona el microscopio tradicional?

¿Por qué es importante que cada día se den nuevos descubrimientos para observar y manipular el mundo nanoscopico?

¿En el ejercicio de la caja, cual son los errores que se presenta?

¿En qué consiste la modelización en ciencias?

¿Cómo harían para dar otras características de los objetos en el interior de la caja?

...Aplicando...

El reto final para los estudiantes es rediseñar las herramientas de observación para que sean más precisos sin mirar a los objetos en la caja.

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

No es posible evaluar plenamente las bondades y las debilidades de la unidad didáctica diseñada durante este trabajo y presentada en las páginas anteriores, sin antes haberla llevado intencionadamente al aula y puesto en práctica con los estudiantes del ciclo para el que fue formulada. Pero hay dos aspectos novedosos relevantes que se han integrado en el objetivo general y que constituyen la columna vertebral de este trabajo. En primer lugar, la metodología ECBI, a pesar de que ha sido propuesta desde hace más de dos décadas y se ha puesto en práctica en otros países, en Colombia solo ha llegado a un número nada significativo de instituciones educativas. Cuando se ha tenido la oportunidad de hacerlo, ha puesto en evidencia sus bondades. En segundo término, la enseñanza de las ciencias a partir de la nanoescala se ha intentado en casos todavía más singulares. No es exagerado afirmar que el tema de la nanociencia, más que el de nanotecnología, es casi totalmente desconocido en el medio educativo. Se puede entonces concluir que estos dos aspectos no son muy conocidos entre los maestros y las maestras que enseñan ciencias.

Hecha esta observación, es claro que no se pueden sacar conclusiones de la implementación misma del trabajo, con base en la observación y análisis de los resultados obtenidos, porque esta tarea está pendiente. No obstante, de manera parcial las ideas aquí formuladas han sido discutidas en foros y jornadas pedagógicas, mientras que el proceso de introducir y modificar los conceptos en la población escolar se ha hecho con una muestra que si bien no es representativa, da una idea de lo que se puede lograr.

Se ha hecho el esfuerzo de construir lo que hemos denominado NANORED DE MAESTROS con un grupo de docentes de diversas localidades en Bogotá. Los foros y reuniones se han adelantado con colaboración del Departamento de Física, de la Academia de Ciencias y particularmente de la Asociación Buinaima, en cabeza de su presidente. Con un pequeño grupo fluctuante de niños procedentes de algunos colegios públicos inscritos en el Programa Desarrollo del Talento, dirigido por la Asociación Buinaima. Con todo, es de anticipar que la actividad que nos permita sacar conclusiones específicas del resultado del presente trabajo.

A continuación se presentan las conclusiones generales previstas del trabajo en relación al cumplimiento de los objetivos y los alcances del mismo.

Es posible diseñar propuestas para la enseñanza de las ciencias, que cambien la relación: maestro-estudiante-conocimiento-contexto-actualidad, ya que el aprendizaje por indagación permite desde la identificación de los conocimientos previos, el diseño de actividades de acuerdo al sitio donde se trabaja, permite realizar procesos de actualización, así como generar mayor motivación y disposición por parte de los estudiantes para el desarrollo de las actividades y se asume mayor responsabilidad cumpliendo los objetivos de aprendizaje..

La implementación de la metodología ECBI, puede permitir que los estudiantes desarrollen sus competencias científicas a través de la aplicación de las diferentes etapas de la investigación y llevarlos a un aprendizaje significativo, al igual que cambiar el rol del maestro tradicional, ya que se convierte en orientador y guía del aprendizaje. Su papel, más que maestro portador de la verdad, es el de mediador que facilita la construcción de conocimiento.

Esta propuesta permite además que la indagación sea usada como estrategia de aprendizaje para el desarrollo de algunas habilidades científicas en los estudiantes a través de la indagación y de la investigación.

La Nanociencia por ser interdisciplinar permite dar otra visión al concepto de ciencias separadas para poderlas trabajar como complementarias.

El diseño y ejecución de actividades prácticas-experimentales, permite pensar en cómo hacer más efectiva la enseñanza de las ciencias.

Al realizar el presente trabajo se identifica que la velocidad en la producción del conocimiento es muy alta, por lo que existela tendencia a una desactualización por parte de los docentes de educación secundaria, esto se evidencia en que aún se sigue trabajando con contenidos del siglo pasado o antepasado.

Existe una gran distancia entre los conceptos que se trabajan en las aulas de clase de secundaria y la comprensión abstracta de la composición de la materia, ya que los principios de la física cuántica aún no se abordan en las clases de ciencias.

7.2 Recomendaciones

Para la aplicación de la Unidad didáctica fruto de este trabajo se recomienda.

- Conocer y entender la metodología de Enseñanza de las Ciencias Basada en la indagación **ECBI**, para sacar más provecho a las actividades planteadas.
- Adaptar las secuencias planteadas de acuerdo al contexto, condiciones y materiales con que se cuenta.
- Motivar a los estudiantes con el ejemplo para que haya una apropiación del lenguaje oculto de las ciencias.
- Aunque el diseño de la unidad didáctica va dirigido a estudiantes de ciclo 5º, este no es exclusivo, por lo que se puede implementar en otros ciclos, haciendo las adecuaciones necesarias.
- Como maestros debemos explorar las ventajas de la metodología ECBI para ser evaluada y comparada con la educación tradicional
- La recomendación final gira en torno a revisar otras propuestas de enseñanza que pueden complementar y enriquecer la metodología ECBI. Es el caso del modelo Constructivo, Autorregulado, Interactivo y Tecnológico CAIT, propuesto por Jesús Beltrán y Luz Pérez (Beltrán, Pérez, 2006) y los lineamientos del Programa Ondas de Colciencias, basados en “La Investigación como estrategia pedagógica” (Mejía, 2010.)

Referencias.

- Al-Khalili, J. (2003). *Quantum: a guide for the perplexed*. Weidenfeld&Nicholson, London.
- Euroresidentes*. (2011, Octubre 13). Retrieved Agosto 03, 2012, from <http://avances-nanotecnologia.euroresidentes.com/>
- Larioja.org*. (2011). Retrieved Agosto 03, 2012, from Gobierno de la Rioja en Internet: <http://t3innovacion.larioja.org/uploads/media/NanocienciaEnEspana.pdf>
- Alcca Quispe, F. (2005). *ESTRUCTURA Y SÍNTESIS DE NANOTUBOS DE CARBONO*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ávila Bernal, A. G., & Rodríguez Pinto, D. D. (2011). Experiencias en micro y nano escalas para niños y jóvenes. *Mundo Nano*, 121-128.
- Balmes, J. (2007, mayo). *Editorial Torre de Babel*. Retrieved Junio 25, 2012, from Historia de la Filosofía.: <http://www.e-torredebabel.com/Balmes-Historia-Filosofia/Leucipo-Democrito-H-F-B.htm>
- Barbeito, P., Carrá, M., & Sarlinga, M. (2009, septiembre). *Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires*. Retrieved junio 10, 2012, from <http://materias.fi.uba.ar/6210/Ferrofluidos%202.pdf>
- Cardona, R., Gómez, M., & Manrique, A. (2010). ¿Cómo obtenemos calor? *MODULO DE ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS BASADAS EN INDAGACION*. Bogotá, Colombia: programa pequeños científicos-CIFE. Universidad de los Andes.
- Charpak, G., Léna, P., & Quéré, Y. (2006). *os Niños y la Ciencia*. Argentina: Siglo XXI editores Argentina S.A.
- Christiny, F. (1998, ABRIL 01). *CIENCIA AL DIA*. Retrieved JUNIO 03, 2012, from <http://www.ciencia.cl/CienciaAlDia/volumen1/numero1/articulos/articulo4.pdf>
- Ciencia Popular.com*. (n.d.). Retrieved Noviembre 14, 2012, from http://www.cienciapopular.com/n/Experimentos/Medicion_del_Grosor_del_Pelo/Medicion_del_Grosor_del_Pelo.php
- Comisión Europea, Unidad de Información y Comunicación. (2004). *Nanotecnología Innovaciones para el mundo del mañana*. Retrieved MAYO 10, 2012, from Internet: http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index_en.html
- Delgado Ramos, G. C., & Takeuchi Tan, N. (Eds.). (2008, Noviembre). *MUNDO NANO Revista Interdisciplinaria en Naociencia y Nanotecnología*, 1(1).
- Díaz del Castillo, F. (2012). *Introducción a los nanomateriales*. Cuatitlán Izcalli. México.: Facultad de estudios Superiores. Departamento de Ingeniería. Laboratorio de tecnología de materiales.

- Díaz López, C. A. (2012). El grafeno: Un material versátil. *Hipótesis. Universidad de los Andes*, 5-6.
- Gerena Rojas, O. A., & Valencia Ríos, J. S. (2011). Algunos apuntes sobre átomos y moléculas. *Documento Universitario*. Bogotá, Colombia: Laboratorio de Catálisis Heterogénea, Departamento de Química Universidad Nacional de Colombia.
- Gil Pérez, D., Alonzo Sanchez, M., & Martínez Torregrosa, J. (1995). Concepciones docentes sobre la evaluación en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6-15.
- Giraldo, J. J. (2009). *Unos Cuantos para todo. Física Cuántica*. Bogotá Colombia: Ediciones Buinaima.
- Giraldo Gallo, J., González, E., & Gómez-Baquero, F. (2007). *Nanotecnología, Nociones preliminares sobre el universo nanoscópico*. Bogotá Colombia: Ediciones Buinaima.
- Herráez, A. (2009). *cdlmadrid.org*. Retrieved JULIO 03, 2012, from Las asombrosas estructuras del carbono: fullerenos, grafenos: <http://www.cdlmadrid.org/cdl/index.html>
- Instituto Riojano de Salud Laboral. (2011). *La seguridad y salud en la exposición a NANOPARTICULAS*. La Rioja, España.: Instituto Riojano de Salud Laboral.
- L.A. García-Cerda, O. R.-F.-G.-G. (2003). Síntesis y propiedades de ferrofluidos de magnetita. *CINVESTAV*, 28-31.
- Leymoníe Sáenz, J., Bernadou, O., Dibarboue, M., Santos, E., & Toro, I. (2009). *Aportes para la enseñanza de las Ciencias Naturales*. Santiago, Chile.: Organización de las Naciones Unidas para la Educación y la Cultura.
- MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT. (2003). *web Instituto de Investigación Max-Planck*. Retrieved Mayo 03, 2012, from http://www-neu.mpg.de/495111/pressRelease20040525?filter_order=jT&research_topic=MT
- MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT. (2004, Mayo 25). *MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT, MÜNCHEN*. Retrieved Mayo 03, 2012, from http://www-neu.mpg.de/495111/pressRelease20040525?filter_order=jT&research_topic=MT
- Ministerio de Ciencia y Tecnología e Innovación Productiva. Argentina. (n.d.). Retrieved Octubre 06, 2012, from http://www.mincyt.gov.ar/ministerio/estructura/org_dependientes/fan/index.php
- Pedreño, A. (2009). *Instituto de Economía Internacional*. Retrieved Junio 01, 2012, from <http://iei.ua.es/investigacion/nanotecnologia>

- Pérez Martelo, C. B., & Vinck, D. (2009, Mayo 01). *El Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología*. Retrieved Octubre 10, 2012, from Revista REDES: <http://iec.unq.edu.ar/images/redes/RedesN29/REDES2009vol15n29/07Perez%20Vinck.pdf>
- Poole, J. R., & Owens, F. J. (2007). *Introducción a la Nanotecnología*. Barcelona España.: Reverte, S.A.
- Ramirez, A. (2012, 07 25). *Slideshare.Net*. Retrieved Julio 2, 2012, from <http://www.slideshare.net/almaramirez/historia-de-la-fisica-13759451>
- Rodríguez Guarnizo, J., & Rodríguez Barrantes, D. (2011). Reflexiones didácticas sobre los estados de agregación de la materia. *ENSAYOS*, 16-25.
- Rodriguez, Á. (2009, Diciembre 14). *UNIVERSIA.NET.CO*. Retrieved octubre 06, 2012, from <http://noticias.universia.net.co/vida-universitaria/noticia/2009/12/14/234784/universidades-nanotecnologia.html>
- Sánchez Mora, C., & Tagüeña Parga, J. (2011). El manejo de las escalas como obstáculo epistemológico en la divulgación de la nanociencia. *Nanomundo*, 83-102.
- Silva Gomez, A. F. (2011). *Nanotech Colombia*. Retrieved Octubre 06, 2012, from <http://nanotech-col.blogspot.com/p/nanotecnologia-en-colombia.html>
- Takeuchi, N. (2009). *Nanociencia y nanotecnología*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Universidad de la Habana Cuba, Facultad de Física. (2013). Microscopio de Fuerza Atómica. . *Divulgando la ciencia*.
- Universidad de los Andes. (2010, Octubre 6). Retrieved Noviembre 3, 2012, from <http://www.cienciaenlaescuela.acfiman.org/ecbi2010/documentos/colombia.pdf>
- Worth, k., Duque, M., & Saltiel, E. (2009, junio 01). *Desinings and implementing Inquiry-Based Science Units for Primary Education*. Montrouge, Francia.: La main à la pâte.