

Diseño, aplicación y evaluación de una propuesta de enseñanza de electricidad y magnetismo mediante indagación para la escuela primaria

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Design, implementation and assessment of a proposal about electricity and magnetism by inquiry teaching for primary school

Jairo Ortiz-Revilla, Ileana M. Greca

Departamento de Didácticas Específicas, Facultad de Educación, Universidad de Burgos, c/ Villadiego, s/n, 09001 Burgos, España.

E-mail: ortizrevillaj@gmail.com

(Recibido el 18 de noviembre de 2016; aceptado el 1 de marzo de 2017)

Resumen

Tanto desde el marco legislativo español, como desde el panorama educativo actual de Europa, se viene reivindicando la necesidad de otorgar un carácter científico a la enseñanza de las ciencias. Para ello, es necesaria la transformación de la enseñanza tradicional hacia enfoques más constructivistas. En este artículo, se muestra una experiencia de enseñanza-aprendizaje de la asignatura de Ciencias de la Naturaleza basada en la metodología didáctica de la indagación. También se explica su diseño y el método de evaluación utilizado, una rúbrica que evalúa los distintos grados de desarrollo del aprendizaje del alumnado. La unidad didáctica que se llevó a cabo en el sexto curso de Educación Primaria giró en torno a contenidos relacionados con la electricidad y el magnetismo. Además de la alta motivación de los niños con el proyecto, según la evaluación realizada, los alumnos consiguieron adquirir habilidades de aprendizaje, hábitos mentales y el conocimiento científico del contenido tratado.

Palabras clave: Educación Primaria; Física; Enseñanza de Ciencias Basada en la Indagación (ECBI).

Abstract

From the Spanish legislative framework and current European educational landscape, a need to consent a scientific character to science teaching is being claimed. To achieve this, the transformation of the traditional education to a constructivist approach is required. This article shows a teaching-learning experience of the subject of Natural Sciences based on inquiry teaching. Its design and evaluation method are also explained. Different degrees of students' development are evaluated through a rubric. The teaching unit that took place on the sixth level of Primary Education was about electricity and magnetism. Besides children being highly motivated by the project, the assessment performed showed that students reached learning abilities, mental habits, and the scientific knowledge of the treated content.

Keywords: Primary Education; Physics; Inquiry teaching.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy, tanto desde el marco legislativo español, establecido por Ley Orgánica para la mejora de la calidad educativa (LOMCE), como desde el panorama educativo europeo, se indica la necesidad de otorgar un mayor carácter científico a la enseñanza de las ciencias. Así, se pretende contribuir al desarrollo educativo de las competencias que los ciudadanos deben alcanzar a lo largo de la enseñanza obligatoria española, últimamente en el punto de mira de la educación.

El Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, establece el currículo básico vigente de la etapa de Educación Primaria. En el *apartado a* de su anexo I se recogen los contenidos comunes, los criterios de evaluación y los estándares de aprendizaje evaluables del área troncal de Ciencias de la Naturaleza. Esta se presenta dividida en cinco bloques de contenidos que deben abordarse a lo largo de los seis cursos o niveles que comprende la etapa de Educación Primaria. Se puede apreciar que los bloques de contenidos 2, 3,

4 y 5 se corresponden con algunos de los antiguos bloques recogidos en el apartado de Conocimiento del medio natural, social y cultural, dentro del anexo II del Real Decreto 1513/2006, de 7 de diciembre, por el que se establecían las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria con la Ley Orgánica de Educación (LOE). Sin embargo, aparece un nuevo bloque, el número 1, llamado *Iniciación a la actividad científica* y presentado como:

Un bloque de contenidos comunes (...) en el que se incluyen los procedimientos, actitudes y valores relacionados con el resto de los bloques y que, dado su carácter transversal, deben desarrollarse de una manera integrada. (MECD, 2014).

En él, se muestran numerosos contenidos: entre otros, algunos relacionados con la búsqueda y selección de información, la planificación y realización de proyectos o la presentación de informes y conclusiones. Pero no solo aparece este nuevo bloque de contenidos, sino que, además, en las orientaciones generales de la asignatura, también se hace referencia al necesario carácter científico de la misma.

Una de las novedades más significativas de la LOE fue la inclusión de las competencias básicas como un elemento más del currículo y su incorporación por primera vez a las enseñanzas mínimas. Con la LOMCE las competencias básicas pasaron a denominarse competencias clave y se agruparon las antiguas competencia matemática y competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico en una nueva, llamada competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología, una de las siete competencias clave del Sistema Educativo Español según la Orden ECD/65/2015. Así, se indica que estas competencias:

Inducen y fortalecen algunos aspectos esenciales de la formación de las personas que resultan fundamentales para la vida. (MECD, 2015).

En concreto, se hace referencia a las competencias básicas en ciencia y tecnología como:

Aquellas que proporcionan un acercamiento al mundo físico y a la interacción responsable con él. (MECD, 2015).

También se apunta que:

Estas competencias contribuyen al desarrollo del pensamiento científico, al incluir la aplicación de los métodos propios de la racionalidad científica y las destrezas tecnológicas, que conducen a la adquisición de conocimientos, la contrastación de ideas, y la aplicación de los descubrimientos al bienestar social. (MECD, 2015).

Esto implica necesariamente un cambio en la forma tradicional de la enseñanza de Ciencias de la Naturaleza, dado que, aunque en mayor o menor medida todas las áreas de la Educación Primaria deberían contribuir al desarrollo de cada una de las siete competencias clave; los contenidos y el carácter científico de esta obligan a abordar con mayor profundidad las competencias básicas en ciencia y tecnología.

Otro elemento central en la forma en que se enseña en la Educación Primaria, además de las leyes, tiene que ver con los libros didácticos, que tradicionalmente han servido de puntos de apoyo fundamentales en las programaciones didácticas de los maestros.

Con la entrada en vigor de la LOMCE, las editoriales españolas no tardaron en crear nuevos libros de texto para intentar dar respuesta al currículo recientemente modificado. Analizando las nuevas colecciones destinadas a Ciencias de la Naturaleza de las principales editoriales españolas, nos encontramos con propuestas didácticas que poco distan de las que se venían utilizando con la LOE e incluso con leyes educativas anteriores. Todos los libros siguen teniendo un carácter estrictamente teórico, descriptivo y destinado principalmente al aprendizaje memorístico de contenidos sin apenas nexos de conexión, presentando unidades didácticas aisladas y sin relación entre sí.

Como se ha comentado anteriormente y tal y como dicta la ley, la asignatura de Ciencias de la Naturaleza ha de abordarse como un todo coherente para que los alumnos se inicien en el desarrollo de las principales estrategias de la metodología científica. Desde nuestro punto de vista, una metodología científica transcurre por una serie de fases como el planteamiento o la detección de una pregunta o un problema relevante de ser investigado, el planteamiento de opiniones o hipótesis para resolverlo, la búsqueda de respuestas a través de evidencias –entre las que, en Ciencias naturales, es fundamental la empírica- y la comunicación de las mismas. No obstante, no creemos en una visión cerrada de la metodología científica sino en la existencia de múltiples posibilidades de adaptación al aula, principalmente teniendo en cuenta el nivel educativo donde se aplique. Sin embargo, mediante el seguimiento de los libros didácticos, no se

les deja a los niños desarrollar la capacidad de identificar problemas y hacer preguntas, debido a que no se propician situaciones que desencadenen la reflexión. Tampoco existe lugar para formular hipótesis, ya que en muchos casos las preguntas aparecen ya contestadas o con opciones a elegir que no desarrollan la capacidad de pensar, la búsqueda de soluciones y la indagación del alumno para contestarlas. Es obvio que, sin que los alumnos tengan una base de la metodología científica, difícilmente podrán planificar y realizar actividades destinadas a comprobar hipótesis. Al estar propuesto en la actividad, únicamente observarán y recogerán datos de manera mecánica, sin comprender la información relevante.

Tal y como se muestra a continuación, existen razones suficientes para tomar la metodología de la enseñanza de las ciencias basada en la indagación como estrategia a emplear en el aula de primaria. Además, esta metodología permite cubrir todas las demandas anteriormente mencionadas. Sin embargo, su uso en el aula de primaria en España es aún escaso. En este artículo se expone el diseño de nuestra propuesta, su transcurso y los resultados de la experiencia de enseñanza-aprendizaje.

II. MARCO TEÓRICO

Desde que el famoso filósofo, pedagogo y psicólogo estadounidense John Dewey quiso romper con la enseñanza tradicional hacia la primera mitad del siglo XX, muchos son los autores que han seguido las bases de lo que fue llamado método del problema, en el que Dewey trataba de aproximar el método científico al aprendizaje de las ciencias, utilizando la investigación orientada por el educador.

La Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación (IBSE por sus siglas en inglés o *inquiry teaching*) conlleva que los estudiantes formulen preguntas científicamente orientadas, planifiquen y lleven a cabo investigaciones para reunir pruebas, den prioridad a la evidencia en la respuesta a las preguntas, conecten explicaciones al conocimiento científico, las comuniquen y justifiquen. Todo ello teniendo en cuenta que las investigaciones científicas incluyen investigaciones de los fenómenos naturales a través de la experimentación y un pensamiento que va más allá del mero registro de datos o de la aplicación mecánica de conceptos (Alake-Tuenter y otros, 2012).

Para conseguir que los alumnos aprendan significativamente, es decir, sean capaces de transformar el conocimiento adquirido (Ausubel, 1968), se ha de prestar especial atención a la conexión entre la indagación y los contenidos sometidos a estudio. Por ello, el maestro es el encargado de intermediar en el aula para que se produzca una adecuada construcción del conocimiento, guiando las reflexiones hacia situaciones que conduzcan al alumnado hacia la interpretación y comprensión del conocimiento aceptado por la comunidad científica para su nivel. Consiguiendo que los alumnos tiñan sus explicaciones de un carácter científico, es decir, que consigan elaborar argumentos rigurosos y experimentalmente probados, se estará contribuyendo a desarrollar un aprendizaje significativo.

Un enfoque basado en la metodología de la indagación IBSE supone una serie de fases por las que deben pasar los estudiantes en un enfoque IBSE: apropiación de una pregunta que da sentido a la enseñanza, formulación y justificación de hipótesis y explicaciones, búsqueda de pruebas que apoyen o rechacen sus ideas, análisis y comunicación de ideas y resultados y evaluación de sus explicaciones a la luz de otras nuevas (Martínez Chico, 2013).

Un aspecto importante a valorar cuando se enfoca la enseñanza IBSE es no considerarla como una metodología que se centra en el trabajo manipulativo sino que también engloba una serie de tareas intelectuales dentro de un enfoque constructivista o socioconstructivista. Martínez Chico (2013) afirma que:

En ocasiones la enseñanza por indagación es interpretada de forma reduccionista, intensificándose la realización de actividades de tipo manipulativo (conocidas como hands-on activities) en detrimento de otras actividades que requieren mayor esfuerzo cognitivo al integrar la teoría en el proceso de construcción de conocimiento (minds-on activities).

Cada vez está apareciendo más investigaciones y propuestas didácticas que usan un enfoque de la enseñanza de las ciencias basada en la indagación. Y es que, según Osborne y Dillon (2008), los enfoques basados en la indagación presentan a los niños más oportunidades para utilizar y desarrollar una gama amplia de habilidades como el trabajo en grupo, la comunicación y expresión oral y escrita, la resolución de problemas y numerosas experiencias que aumentan la motivación tanto del estudiante como del maestro. Así, algunos autores (Verdú Carbonell, 2004; Worth y otros, 2009; López-Gay Lucio-Villegas y otros, 2015) llevan años ocupándose de la difusión del enfoque indagatorio en la enseñanza de las ciencias, desarrollando materiales y mecanismos diversos o creando programas en diferentes contextos. También, proyectos como Pollen (Jasmin y van den Berg, 2010), Fibonacci (Artigue y otros, 2012) y Rocard (Rocard y otros, 2007) han tenido una gran repercusión en la enseñanza de las ciencias por indagación en edades tempranas. *Mind the gap* o *Sinus Transfer* son ejemplos de proyectos destinados a fomentar la

enseñanza de las ciencias basada en la indagación en la educación secundaria, pero que también han servido de inspiración para la etapa de educación primaria.

Revisando la literatura, podemos encontrar en los últimos años varias investigaciones con experiencias y propuestas didácticas que emplean el enfoque IBSE para la enseñanza de contenidos relacionados con la física en la educación secundaria (Ješkova y otros, 2016; Kapon, 2016). Sin embargo, aunque existe una amplia información acerca de cómo aplicar este enfoque en la educación primaria, pocas son las propuestas que se pueden encontrar acerca de su implementación abordando contenidos de física. Los trabajos de Postigo Fernández y Greca (2014), Benetti, de França Ramos y de Oliveira da Cruz (2015) o Herrenkohl, Tasker y White (2011) son algunos ejemplos de ello. En todos ellos se utiliza la metodología de la indagación para abordar los temas de fuerza, máquinas simples, energía solar y electrostática. Nuestra propuesta, además de abordar un contenido diferente con varias indagaciones relacionadas que permitirían a los alumnos más oportunidades para apropiarse de la metodología, parece proporcionar una mayor especificación del proceso de evaluación del alumnado, aspecto menos desarrollado en estos trabajos.

Los asuntos asociados a los campos de estudio de la electricidad y el magnetismo, focos del trabajo que presentamos, parecen ser particularmente aptos para ser trabajados de esta forma. Por una parte, numerosas cuestiones del día a día tienen que ver con los conceptos asociados a estos campos, siendo posible así el planteamiento de problemas potencialmente interesantes para los alumnos, permitiéndoles formular preguntas investigables. Por otro lado, la posibilidad de realizar experiencias empíricas es amplia, dado que pueden ser utilizados materiales de bajo costo y amplia disponibilidad. Además, es necesario destacar la importancia de abordar estos contenidos desde la enseñanza primaria, dado que son de aquellos en los que más difícilmente son modificadas las concepciones alternativas de los alumnos. Las concepciones más habituales que los escolares suelen tener sobre la electricidad, están relacionadas con la concepción de esta como una especie de fluido que sale de un almacén que es la pila y que circula a lo largo de unos tubos que son los cables (Arillo y otros, 2013). Frases de algunos de nuestros alumnos como «la pila se ha gastado, ya no tiene electricidad» o métodos de intentar hacer lucir una bombilla sin cerrar el circuito son pruebas evidentes de ello. Además, explicaciones de la electricidad como un fluido se siguen encontrando en alumnos universitarios (Guisasola y otros, 2008). Por ello, resulta un tema particularmente interesante para trabajar con los niños desde temprana edad, con el objetivo de facilitar la superación de este tipo de concepciones.

III. SECUENCIA DIDÁCTICA

La unidad didáctica titulada *Electricidad y magnetismo* se llevó a cabo en un aula de sexto curso (alumnos de 11 y 12 años) de un colegio público de la ciudad de Burgos (España). Los contenidos abordados se enmarcan dentro del bloque 5, *La tecnología, objetos y máquinas*, del área Ciencias de la Naturaleza. Como ya se ha comentado, la metodología que se siguió a lo largo de toda la unidad fue de indagación, en nuestro afán por ayudar a los alumnos a la iniciación a la actividad científica, contenido principal del bloque 1, *Iniciación a la actividad científica*, de la misma área.

Para trabajar paralelamente al método científico, las diferentes partes de contenidos de la unidad se estructuraron de la misma manera, en diferentes momentos que ocupaban alrededor de tres sesiones:

- Aproximación a las ideas previas del alumnado: es primordial conocer las ideas previas de los alumnos, tanto para que ellos sean conscientes de sus conocimientos como para que el docente establezca un punto de partida en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Esta aproximación se realizaba con la presentación del problema que guiaba la sesión y el posterior debate con toda la clase acerca de las posibles soluciones. En este proceso, los problemas iniciales pasaban a convertirse en problemas investigables.
- Indagación: es el momento central en el que los alumnos combinan el trabajo manipulativo con el intelectual. Las soluciones propuestas se convertían en hipótesis a estudiar. Cabe destacar que los experimentos eran guiados aunque no impuestos por el maestro y realizados en pequeños grupos de trabajo.
- Reflexión y elaboración de las explicaciones: antes de finalizar se han de aclarar los conceptos trabajados, potenciando la participación de todos los alumnos para concretar las ideas centrales que dan respuesta al problema planteado inicialmente. Esto se hacía nuevamente con toda la clase, a partir de las conclusiones alcanzadas por cada grupo después de las sesiones de experimentos.

De esta manera, se intentó construir un aprendizaje significativo que cuestionase las ideas erróneas de los alumnos y que al mismo tiempo les abriera todo un mundo de curiosidad por la ciencia, incentivando sus vocaciones científicas.

Los objetivos de aprendizaje que esperábamos que los alumnos consiguiesen durante el desarrollo de esta unidad didáctica, relacionados tanto con los contenidos del bloque 5 como con los del bloque 1, eran:

comprender el concepto de modelo atómico, de cargas y sus peculiaridades; comprender el funcionamiento de la electricidad estática; entender el funcionamiento de la corriente eléctrica a través del concepto de energía; distinguir las características de un circuito eléctrico y las propiedades eléctricas de los materiales; conocer los fundamentos del magnetismo y del electromagnetismo y sus aplicaciones en la vida cotidiana; realizar y observar en grupo experimentos relacionados con la electricidad y el magnetismo; expresar oralmente contenidos y conceptos de forma adecuada; manipular diferentes materiales de trabajo científico (cuaderno de campo, materiales de los experimentos, etc.); y colaborar con el resto de compañeros.

Durante el desarrollo de toda la unidad se trabajó en pequeños grupos compuestos por cuatro alumnos, que realizaban las diferentes experiencias científicas e iban discutiendo los resultados obtenidos. De manera individual, cada escolar elaboró su propio cuaderno de campo donde recogió todas las anotaciones necesarias y las experiencias vividas en el aula. La única directriz para la elaboración de dicho cuaderno fue la proposición de un formato común para todos los cuadernos. En su desarrollo, cada alumno recogía las ideas que creía convenientes para recordar posteriormente. No obstante, el maestro hacía énfasis en conceptos centrales e indispensables para la comprensión de las cuestiones tratadas, que debían aparecer también en el cuaderno. Cabe destacar que el cuaderno de campo, además de un elemento importante para el registro de datos, que permite, en alguna medida, pasar del “juego con materiales” a la experimentación, es un recurso didáctico muy útil. Con él, el alumno va construyendo su propio material de aprendizaje y además, puede consultar a modo de guía los diferentes contenidos que se han visto en el aula y que representan las ideas más relevantes de la unidad. Sin embargo, su realización conlleva algunas dificultades dado que los alumnos no suelen estar acostumbrados a utilizarlos (Jerez y Greca, 2016).

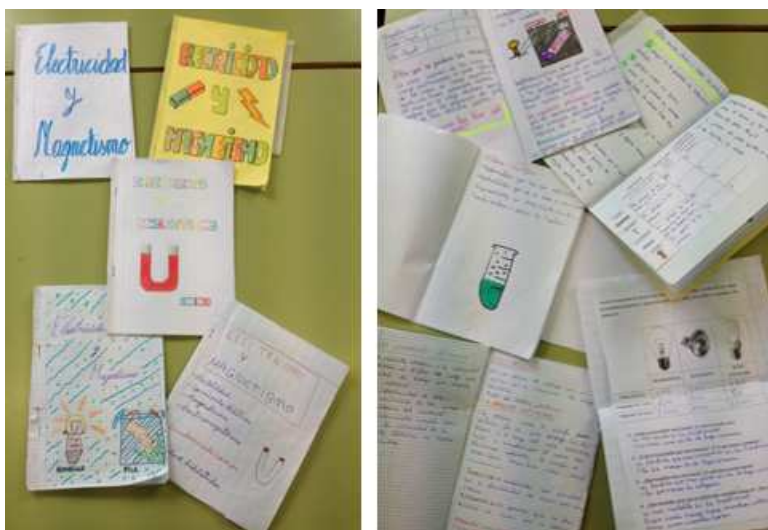


FIGURA 1. Apariencia de algunos de los cuadernos de campo desarrollados por los escolares durante la unidad didáctica.

A lo largo de las siete semanas en las que se extendió la presente unidad didáctica se trabajó a partir de problemas que derivaban de las cuatro partes en las que se agruparon los contenidos (relacionados con la electricidad estática, la corriente eléctrica, el magnetismo y el electromagnetismo). Estas agrupaciones de contenidos se realizaron con el fin de crear una estructuración lógica en el proceso de enseñanza-aprendizaje que permitiese a los alumnos ir comprendiendo la naturaleza los distintos fenómenos estudiados.

Para abordar cada una de esas partes se propusieron una serie de problemas. A la hora de elegirlos, el maestro se basó en cuestiones que estuvieran relacionadas con la vida real de los alumnos y que fueran bien conocidas por ellos. Además, estos problemas resultan ser aspectos de especial interés científico para comprender el mundo que les rodea, aspecto en el que, a menudo, se hace hincapié en diferentes partes del currículo oficial. Estos problemas daban lugar a reflexiones e invitaban a experimentar en busca de soluciones; dos ejercicios indispensables y centrales cuando hablamos de la metodología de la enseñanza de las ciencias basada en la indagación.

Con relación a la experimentación, el material utilizado fue siempre muy sencillo: pilas, cables, bombillas, latas, imanes, globos, etc. En ningún momento se utilizó material ya preparado como, por ejemplo, circuitos ya montados. El propósito era que los niños pudieran experimentar libremente, con la posibilidad de equivocarse y volver a empezar.

La secuenciación de las sesiones y la distribución de los contenidos en el tiempo se pueden observar de manera estructurada en la siguiente tabla. Además, la tabla recoge las propuestas de problemas de indagación y la mayor parte de la batería de actividades llevada a cabo en el aula.

TABLA I. Secuenciación de las sesiones y distribución de los contenidos de la unidad didáctica.

SEMANA	SESIÓN	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
1ª	1ª (45min)	Explicación del funcionamiento de trabajo	Construcción del cuaderno de campo Explicación del método científico Creación de grupos
	2ª (45min)	Abordaje de los contenidos relacionados con la electricidad estática	Presentación del problema <i>¿por qué se producen los rayos?</i> Recogida de las ideas previas Experimento: producir chispas Explicación por grupos de lo sucedido Experimentos similares (en el sentido de frotamiento): erizar el pelo, atraer virutas de papel, transportar latas y mover pajitas Generación de la explicación científica. Desde la constitución de la materia con cargas positivas y negativas, objetos neutros, hasta el frotamiento, la inducción y el robo de cargas
2ª	3ª (1h)	Continuación	Experimentos con materiales lejanos y cercanos en la serie tribo-eléctrica Explicación por grupos de lo sucedido Generación de la explicación científica para dar solución al problema inicial. Referencia a los conceptos de carga eléctrica y campo eléctrico, así como a las manifestaciones de la electricidad en hechos de la vida real
	4ª (1h)	Abordaje de los contenidos relacionados con la corriente eléctrica	Presentación del problema <i>¿cómo funcionan las luces del árbol de Navidad?</i> Recogida de las ideas previas Experimento: hacemos lucir una bombilla. Montaje de un circuito. Experimentos con el circuito montado: cambio de material de un tramo del circuito, uso de diferentes pilas, montaje en serie, paralelo y extracción de una bombilla Búsqueda de información en internet: <i>¿por qué se produce la corriente eléctrica?</i>
	5ª (45min)	Continuación	Construcción de la explicación con la información extraída. Desde el funcionamiento de la corriente eléctrica, el concepto de energía y su transformación, los materiales conductores y aislantes, hasta el concepto de voltaje Estudio de las conclusiones de los experimentos para solucionar el problema inicial, generando la explicación científica
3ª y 4ª	Semana Santa	Indagación sobre algunas peculiaridades de la corriente eléctrica	Obtención de datos sobre el consumo de electricidad, precio y horas de vida de diferentes bombillas Dibujo de la distribución de los elementos que tiene el circuito eléctrico de tu casa
4ª	6ª (45min)	Repaso	Corrección y explicación de los deberes realizados durante las vacaciones

(Continúa de la tabla anterior)

SEMANA	SESIÓN	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
5ª	7ª (1h)	Abordaje de los contenidos relacionados con el magnetismo	Presentación del problema <i>¿los imanes atraen a todos los metales?</i> Recogida de las ideas previas Indagación con diferentes tipos de imanes y metales Debate sobre las conclusiones de los experimentos vinculando la explicación de los contenidos. Desde los fundamentos del magnetismo, polos, tipos de materiales, hasta su relación con la electricidad estática Solución del problema inicial utilizando los conceptos aprendidos
	8ª (1h)	Abordaje de los contenidos relacionados con el electromagnetismo	Presentación del problema <i>¿por qué la brújula indica el norte?</i> Recogida de las ideas previas Experimento: construcción de un electroimán con un tornillo, un cable fino y una pila. Atracción de clips con más y menos vueltas de cable Explicación por grupos de lo sucedido y construcción de la explicación científica. Desde la relación de la electricidad y el magnetismo, las propiedades elementales del electromagnetismo, vuelta al concepto de campo, hasta dar solución al problema inicial, vinculando los conocimientos aprendidos casos de la vida real y haciendo referencia a aplicaciones en las que se utiliza el electromagnetismo en el presente
	9ª (45min)	Iniciación de las presentaciones digitales	Asignación de un tema por grupo Búsqueda de información y comienzo de las presentaciones digitales de manera individual
6ª	10ª (1h)	Continuación	Búsqueda de información y finalización de las presentaciones
	11ª (45min)	Corrección de las presentaciones	Corrección de las presentaciones de manera individualizada Voto de los miembros del grupo para elegir la presentación que quieren exponer Preparación de las presentaciones entre los miembros del grupo
	12ª (1h)	Puesta en común de las presentaciones	Exposición oral de las presentaciones
7ª	13ª (1h)	Cierre de la unidad	Realización de la prueba escrita

Un aspecto central en la enseñanza es la evaluación. Como se sabe, muchas veces las innovaciones propuestas en la enseñanza de las ciencias fallan porque los formatos de evaluación no son consistentes con los objetivos de enseñanza, reflejando solamente la evaluación de tareas de baja demanda cognitiva, basada en ejercicios y tareas que solo favorecen la memorización (Osborne y Dillon, 2008).

Con relación a la indagación, el National Research Council (NRC, 2012) considera que los resultados de los estudiantes deben centrarse en desarrollar habilidades mentales para procesar la información, verificarla y resolver problemas, asegurándose de que los contenidos están siendo aprendidos con relación al mundo real. Así, se propone que el método de evaluación de esta metodología se debe centrar en los diferentes grados de desarrollo de las habilidades de aprendizaje, de los hábitos mentales y del conocimiento del contenido tratado. Para ello es necesaria una evaluación continua y numerosos proyectos internacionales basados en el uso de la metodología de la indagación proponen el uso de rúbricas que permitan evaluar el progreso de los alumnos en los diversos aspectos que promueve el uso de esta metodología didáctica.

Sin embargo, esto no es sencillo, ya que se debe prestar especial atención tanto al desarrollo de los ítems a evaluar como a su concreción en las diferentes escalas de valor. De la misma manera, se debe ajustar muy bien la calificación a cada alumno, lo que conlleva ser muy precisos e imparciales en la evaluación. Así, nosotros utilizamos una serie de criterios recogidos en una rúbrica (ver anexo 1) con cinco ítems, valorados de 1 a 5. Cada ítem aportó el mismo porcentaje a la calificación final, es decir, supuso un 20% de ella. La rúbrica, que intenta evaluar esos diferentes grados de desarrollo de las habilidades de aprendizaje, de los hábitos mentales y del conocimiento del contenido tratado, fue inspirada y conformada a partir de los diversos instrumentos de evaluación desarrollados por el proyecto europeo Strategies for Assessment of Inquiry Learning in Science (SAILS, 2015), financiado por el Séptimo Programa Marco (2012-2015).

El primero de los ítems de esta rúbrica trata sobre la apariencia, el contenido y la ortografía del cuaderno de campo de cada alumno; el segundo valora las aportaciones del alumno en las actividades grupales; el tercero evalúa la actitud y el esfuerzo del escolar en su día a día; el cuarto se centra en el conocimiento científico y la consecución de los estándares de aprendizaje evaluables; y el quinto valora mediante una prueba escrita la aplicación de los conocimientos a otros problemas de la vida real. De esta manera, se crearon 25 parámetros evaluables y objetivos para cubrir a la diversidad del alumnado. Esta rúbrica fue el principal elemento de recogida de datos para utilizar en la posterior reflexión acerca de los aciertos y errores de nuestra intervención en el aula.

IV. METODOLOGÍA

En línea con la preocupación por la mejora de la enseñanza, la metodología que se ha seguido para obtener conclusiones de la intervención es la investigación-acción, concebida como una crítica de la práctica en continua vinculación con el contexto en el que se desarrolla (Carr y Kemmis, 1988), así como una manera de poder reflexionar y cambiar nuestras formas de trabajo.

La pregunta central de investigación que guió nuestra reflexión fue si era posible que los alumnos alcanzaran los resultados esperados mediante el uso de la metodología de la indagación.

Los instrumentos utilizados para dar respuesta a esta pregunta fueron, además del diario de observación del docente, los materiales escritos de los alumnos (cuaderno de campo, presentaciones y la prueba escrita, que se puede consultar en el anexo 3). Estos últimos fueron analizados utilizando la rúbrica descrita anteriormente. Como se ha comentado, se crearon una serie de parámetros evaluables, intentando conseguir la máxima objetividad posible. Sabemos que el proceso de evaluación, y en este caso de recogida de resultados por parte del maestro, puede conllevar un trabajo dificultoso que algunos califican imposible de objetivar. En este caso, el seguimiento de los alumnos a través de la evaluación continua y la especificación de cada uno de los parámetros de la rúbrica supusieron una mayor facilidad, tanto para llevar a cabo la evaluación de los alumnos, como para la extracción de datos de la investigación.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sobre la programación ideada fueron surgiendo algunas modificaciones, imprescindibles tanto para dar respuesta a todas las necesidades del alumnado como para mejorar algunos aspectos detectados durante el proceso de enseñanza-aprendizaje. En el proceso de elaboración de las explicaciones se tuvo que reducir, en algunas ocasiones, o aumentar, en otras, el nivel de los contenidos según los conocimientos de los alumnos, así como introducir mejoras, principalmente organizativas. Por lo demás, la unidad didáctica se desarrolló fiel a la programación ideada inicialmente.

Con relación a los resultados (los valores obtenidos en cada uno de los puntos de la rúbrica aparecen en el anexo 2) se puede apreciar que los alumnos adquirieron un conocimiento científico y una consecución de los estándares de aprendizaje evaluables satisfactorios, con una media de 8,3, al parecer superando algunas de sus ideas previas y sabiendo extrapolar sus conocimientos a otros casos de la vida real, propuestos en la prueba escrita, donde alcanzaron una media de 7,7. Así, por ejemplo, respuestas como «Aunque se funda la bombilla de una habitación, las bombillas del baño o de la cocina seguirán funcionando, porque están colocadas en paralelo» o «Las demás bombillas no funcionarían si estuviesen colocadas en serie, pero en este caso funcionarían, ya que están colocadas en paralelo» ante el problema de si funcionarían las demás bombillas de una casa cuando una se ha fundido, nos muestran que, al parecer, los alumnos han alcanzado los objetivos que pretendíamos.

Su alta motivación a lo largo de la secuencia didáctica se hace patente en los buenos resultados conseguidos en los ítems de aportaciones al grupo y actitud, con medias de 8,5 y 8,3 respectivamente. Fueron comunes frases del tipo «he buscado en internet y he visto que los cereales pueden ser atraídos por un imán porque tienen hierro» o «he visto en el supermercado un tipo de bombillas llamadas led, que duran muchas más horas y consumen muchos menos vatios», indicios evidentes de una buena motivación y compromiso con su tarea.

Un aspecto interesante de destacar fue el del trabajo realizado con un niño extranjero, de origen paquistaní, recién incorporado al sistema educativo español y que apenas hablaba ni entendía el nuevo idioma, una situación cada vez más común en las clases en España. A través de la realización de experimentos y el trabajo en grupos, se notó tanto una mejor integración con sus compañeros como una mayor inmersión en el proceso de enseñanza-aprendizaje, alcanzando resultados significativamente superiores a los obtenidos en otras áreas. Con ello, parece pertinente considerar que la metodología utilizada puede favorecer la inclusión de determinados grupos desfavorecidos; en este caso de alumnos extranjeros.

Aunque también buenas, fueron más bajas las puntuaciones obtenidas en el desarrollo del cuaderno de campo, con un 7,3 de media, debiendo cuidar más su organización, caligrafía y ortografía, aspecto a tener en cuenta para hacer hincapié con los alumnos en próximas secuencias. Cabe destacar que la media de la nota final fue de un 8, una puntuación bastante aceptable.

Aunque desde el punto de vista global se consiguieron los resultados esperados en cuanto al aprendizaje y motivación hacia las ciencias de los alumnos, nos interesó conocer en qué medida contribuyeron en los resultados finales y qué relaciones hubo entre cada uno de los aspectos del proceso de enseñanza-aprendizaje evaluado por la rúbrica. Para ello, realizamos la prueba no paramétrica Tau-b de Kendall, encontrando correlaciones significativas ($p < 0,01$) superiores a 0,60 entre los ítems de cuaderno de campo, trabajo en grupo y adquisición de conocimientos. Concretamente el 56,5% de los alumnos obtuvieron un 4 o un 5 en el ítem del cuaderno de campo, el 95,6% consiguió estas calificaciones en el ítem de trabajo en grupo y el 78,2% lo hizo en la adquisición de conocimientos. Esto parece indicar la potencialidad tanto del trabajo grupal como del uso del cuaderno de campo (que es un reflejo del trabajo experimental) para potenciar la adquisición de conocimientos de los alumnos. Sin embargo, no aparecieron correlaciones significativas entre los ítems mencionados y el de la prueba escrita. Nos planteamos, por lo tanto, que puedan existir carencias tanto en la elaboración de la prueba escrita como en el ajuste de la rúbrica de evaluación, aspectos a mejorar en próximas intervenciones. En este sentido, hemos propuesto dos nuevos ítems, que reemplazan a los ítems 4 y 6, que aparecen recogidos en el anexo 4.

En suma, consideramos que finalmente los alumnos alcanzaron los resultados esperados mediante el uso de la metodología de indagación, objetivo central de nuestra investigación y de nuestra forma de comprender la enseñanza de las ciencias.

VI. CONCLUSIONES

En esta experiencia, como en todas las que venimos llevando a cabo usando la metodología de enseñanza de las ciencias basada en la indagación, hemos percibido resultados positivos de los escolares, tanto en adquisición de conocimientos, habilidades y actitudes como en el plano motivacional.

La manera de resolver y explicar las situaciones problemáticas tratadas en las secuencias didácticas por parte del alumnado denota un acercamiento a la competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología que nos anima a seguir trabajando en esta línea, sin obviar nunca el resto de competencias. De la misma manera, comprobamos cada día que la motivación de los niños y su gusto hacia la ciencia crece con el uso de este abordaje didáctico. Un ejemplo es el caso de dos alumnas que a raíz de haber tratado el problema de los rayos, mostraron un especial interés en conocer más acerca de este fenómeno y terminaron como grupo premiado en el concurso de la II Feria de Ciencia y Tecnología de Castilla y León, con un proyecto de demostraba un alto dominio científico y comprensión del fenómeno para su nivel, aspectos sobre los que se hace hincapié en las consideraciones generales de asignaturas como Ciencias de la Naturaleza.

Sabemos que los objetivos últimos de la Educación Primaria son la educación integral del alumnado y su preparación para la próxima etapa educativa y que ambos han de conseguirse a través del desarrollo de las competencias clave. Desde nuestro ámbito nos centramos en potenciar las competencias básicas en ciencia y tecnología sin detrimento del resto y consideramos necesario otorgar un carácter científico así como cercano a la vida del alumnado. Se necesitan muchos más estudios para ir puliendo y mejorando la metodología de actuación, pero consideramos fundamental que, al menos en la primera etapa educativa obligatoria, el aprendizaje manipulativo acompañe a todo el aprendizaje intelectual.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración del alumnado de 6^oC en el curso 2015-2016 del CEIP Fernando de Rojas, de la ciudad de Burgos (España) así como a su tutora María Luisa Calvo Muro, por ofrecernos todas las facilidades de actuación.

REFERENCIAS

Alake-Tuenter, E., Biemans, H. J. A., Tobi, H., Wals, A. E. J., Oosterheert, I. y Mulder, M. (2012). Inquiry-Based Science Education Competencies of Primary School Teachers: A literature study and critical review of the American National Science Education Standards. *International Journal of Science Education*, 34(17), pp. 2609–2640.

Arillo, M. A., Ezquerro, A., Fernández, P., Galán, P., García, E., González, M., De Juanas, A., Martín del Pozo, R., Reyero, C. y San Martín, C. (2013). *Las ideas «científicas» de los alumnos y alumnas de Primaria: tareas, dibujos y textos*. Madrid: Universidad Complutense.

Artigue, M., Dillon, J., Harlen, W., y Lèna, P. (2012). *Learning through inquiry*. Recuperado del sitio de Internet de The Fibonacci Project: <http://www.fibonacci-project.eu/>

Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: a cognitive view*. Nueva York: Holt, Rinehart & Winston.

Benetti, B., de França Ramos, E. M., y de Oliveira da Cruz, W. (2015). Física nos anos iniciais da educação básica -a experiência do pibid com o ensino de eletrostática. *Revista de enseñanza de la física*, 27(Extra), pp. 499-504. Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/12695/12934>

Carr, W. y Kemmis, S. (1988). *Teoría crítica de la enseñanza. La investigación-acción en la formación del profesorado*. Barcelona: Martínez Roca.

Guisasola, J., Zubimendi, J. L., Almodí, J. M. y Ceberio, M. (2008). Dificultades persistentes en el aprendizaje de la electricidad: estrategias de razonamiento de los estudiantes al explicar fenómenos de carga eléctrica. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), pp. 177-191.

Herrenkohl, L. R., Tasker, T., y White, B. (2011). Pedagogical practices to support classroom cultures of scientific inquiry. *Cognition and Instruction*, 29(1), pp. 1-44. doi:10.1080/07370008.2011.534309

Jasmin, D. y van den Berg, E. (2010). Pollen Spreads Inquiry-Based Science Education throughout Europe. *eLearning Papers*, 20, pp. 1-9. https://www.openeducationeuropa.eu/sites/default/files/legacy_files/old/media23255.pdf

Jerez, E. y Greca, I. M. (2016). La enseñanza de las ciencias en un aula inclusiva: estudio de un caso aplicado a la Educación Primaria. Presentado en *VII Congreso Mundial de Estilos de Aprendizagem*, 4-6 de Julio, Bragança, Portugal.

Ješková, Z., Lukáč, S., Hančová, M., Šnajder, Ľ., Guniš, J., Balogová, B., y Kireš, M. (2016). Efficacy of inquiry-based learning in mathematics, physics and informatics in relation to the development of students inquiry skills. *Journal of Baltic Science Education*, 15(5), pp. 559-574. Recuperado de <http://journals.indexcopernicus.com/abstract.php?icid=1224388>

Kapon, S. (2016). Doing research in school: Physics inquiry in the zone of proximal development. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(8), pp. 1172-1197. doi:10.1002/tea.21325

López-Gay Lucio-Villegas, R., Jiménez Liso, M. R., & Martínez Chico, M. (2015). Enseñanza de un modelo de energía mediante indagación y uso de sensores. *Alambique. Didáctica De Las Ciencias Experimentales*, (80), pp. 38-48. Recuperado de <http://www.alambique.grao.com/revistas/alambique/80-la-energia-en-la-vida-cotidiana/ensenanza-de-un-modelo-de-energia-mediante-indagacion-y-uso-de-sensores>

Martínez Chico, M. (2013). *Formación inicial de maestros para la enseñanza de las ciencias. Diseño, implementación y evaluación de una propuesta de enseñanza*. Tesis doctoral. Universidad de Almería.

MECD (2014). Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria. Publicado en el *Boletín Oficial del Estado* No. 52, 1 de marzo de 2014. España.

MECD (2015). Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato. Publicado en el *Boletín Oficial del Estado* No. 25, 29 de enero de 2015. España.

NRC (2012). *A framework for k-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, D.C.: The National Academies Press.

Osborne, J. y Dillon, J. (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflections*. London: Nuffield

Foundation.

Postigo Fernández, D. y Greca, I. M. (2014). Uso de la metodología de la indagación para la enseñanza de nociones sobre fuerzas en primer ciclo de la escuela primaria. *Revista de enseñanza de la física*, 26(1), pp. 265-273. Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/9762/10498>

Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H. y Hemmo, V. (2007). *Science education NOW: A renewed pedagogy for the future of Europe*. Recuperado del sitio http://ec.europa.eu/research/swafs/pdf/pub_science_education/report-rocard-on-science-education_en.pdf

SAILS (2015). *Strategies for Assessment of Inquiry Learning in Science*. Dublín: SAILS. Recuperado de: <http://www.results.sails-project.eu/>

Verdú Carbonell, R. (2004). *La estructura problematizada de los temas y cursos de física y química como instrumento de mejora de su enseñanza y aprendizaje* (tesis doctoral). Universitat de València, Valencia, España.

Worth, K., Duque, M., y Saltiel, E. (2009). *Designing and implementing inquiry-based science units for primary education*. Recuperado de [http://www.fondation-lamap.org/sites/default/files/upload/media/Guide_Designing and implementing IBSE_final_light.pdf](http://www.fondation-lamap.org/sites/default/files/upload/media/Guide_Designing_and_Implementing_IBSE_final_light.pdf)

ANEXO 1

Rúbrica de evaluación.

Escala Ítems	1	2	3	4	5
Cuaderno de campo (apariciencia, contenido y ortografía)	Muy descuidado y sin ninguna organización. No hay casi ninguna información de los contenidos ni de las experiencias trabajadas. Está lleno de borrones, tachones, errores de ortografía, puntuación y gramática.	Descuidado y desorganizado, siendo difícil de leer. Apenas proporciona información de los contenidos y las experiencias trabajadas. Hay muchos borrones, tachones, errores de ortografía, puntuación y gramática.	Cuidado y organizado, pero puede ser difícil de leer. Proporciona algunos detalles de los contenidos y de las experiencias trabajadas. Hay algunos borrones, tachones, errores de ortografía, puntuación y gramática.	Cuidado y organizado, siendo fácil de leer. Proporciona un registro completo de los contenidos y de las experiencias trabajadas. Hay pocos borrones, tachones, errores de ortografía, puntuación y gramática.	Muy cuidado y organizado, siendo muy fácil de leer. Posee un registro completo de los contenidos y de las experiencias trabajadas, así como aclaraciones. No hay borrones, tachones, errores de ortografía, puntuación y gramática.
Aportaciones al grupo	No quiso trabajar con sus compañeros en ningún momento.	Apenas trabajó con el resto de sus compañeros.	Trabajó con sus compañeros aunque en algún momento desconectó.	Fue un participante activo, tuvo muy pocas dificultades para trabajar con sus compañeros.	Fue un participante muy activo, trabajando siempre con sus compañeros.
Actitud y esfuerzo	No atendió en ningún momento y fue irrespetuoso. Sus expresiones, el lenguaje, etc. no muestran interés.	Se distrajo y fue irrespetuoso. Sus expresiones, el lenguaje, etc. muestran poco interés.	Apenas se distrajo y fue respetuoso. Sus expresiones, el lenguaje, etc. muestran algo de interés.	No se distrajo y fue respetuoso. Sus expresiones, el lenguaje, etc. muestran interés.	No se distrajo y fue respetuoso. Sus expresiones, el lenguaje, etc. muestran gran interés.
Conocimiento científico y consecución de los EAE	Las explicaciones no muestran entendimiento de los principios y conceptos trabajados.	Las explicaciones no muestran apenas entendimiento de los principios y conceptos trabajados.	Las explicaciones indican un conocimiento relativamente preciso de los principios y conceptos trabajados.	Las explicaciones indican un buen conocimiento y dominio de los principios y conceptos trabajados.	Las explicaciones indican un claro y preciso entendimiento de los principios y conceptos trabajados.
Prueba escrita	Obtiene un punto.	Obtiene dos puntos.	Obtiene tres puntos.	Obtiene cuatro puntos.	Obtiene cinco puntos.

ANEXO 2

Resultados numéricos del alumnado en cada ítem de la rúbrica y nota final.

	Cuaderno de campo	Aportaciones al grupo	Actitud	Conocimiento científico	Prueba escrita	NOTA FINAL
Alumno 1	3	4	3	5	5	8
Alumno 2	4	5	5	5	4,75	9,5
Alumno 3	4	5	5	5	3,5	9
Alumno 4	4	4	4	4	3,75	7,9
Alumno 5	3	4	3	5	2,75	7,1
Alumno 6	4	4	4	3	2	6,8
Alumno 7	4	4	4	5	4,75	8,7
Alumno 8	5	5	5	4	5	9,6
Alumno 9	5	5	5	5	4	9,6
Alumno 10	2	3	3	2	1	4,4
Alumno 11	3	4	4	3	3,75	7,1
Alumno 12	5	5	5	5	4,75	9,9
Alumno 13	3	4	4	4	4,75	7,9
Alumno 14	4	4	4	4	3,75	7,9
Alumno 15	4	4	4	4	5	8,4
Alumno 16	3	5	5	3	3,75	7,9
Alumno 17	4	5	5	5	4	9,2
Alumno 18	3	4	3	4	4,75	7,5
Alumno 19	4	4	4	5	2,5	7,8
Alumno 20	5	4	4	4	4	8,4
Alumno 21	2	4	5	4	4,25	7,7
Alumno 22	3	4	3	4	3	6,8
Alumno 23	3	4	4	3	4	7,2

ANEXO 3

Prueba escrita.

Anota los pasos del método científico que hemos ido siguiendo en las cuatro experiencias trabajadas. A continuación, explica la experiencia que más te haya gustado, indicando qué hiciste, qué aprendiste y por qué te gustó más.

Juan es un niño que vive en una isla del Pacífico y que nunca ha visto un rayo. ¿Podrías explicarle, con todo el detalle posible, por qué se producen los rayos? Haz dibujos esquemáticos para acompañar tu explicación.

María y Daniel están discutiendo sobre lo que pasaría si la bombilla de su cuarto se quemase. Daniel dice que dejarían de funcionar todas las bombillas de la casa, pero María piensa que no. ¿Cuál de los dos tiene razón? Razona tu respuesta, usando dibujos si te hace falta.

Une con flechas los conceptos que estén relacionados.

Dos polos iguales	Energía que da una pila para mover los electrones
Polo Norte y Polo Sur	Se repelen
Voltaje	Puede ser positiva o negativa
Carga eléctrica	Se atraen

Un grupo de montañeros se perdió haciendo una ruta. Solo sabían que tenían que ir hacia el Norte para llegar al pueblo más cercano. Por suerte, tenían una brújula y lo consiguieron. Pero, ¿podrías explicar por qué la brújula señala hacia el Norte? Ayúdate de dibujos si es preciso.

Rellena los espacios con la palabra adecuada.

La materia está constituida por, que a su vez poseen, cargados positivamente y, cargados negativamente.

Los materiales son aquellos que permiten que la..... circule por su interior. Con los materialessucede lo contrario.

A la relación entre la electricidad y el magnetismo se le llama..... Cuanto más concentremos la, la fuerza que ejercerá un electroimán será.....

Imagina que tus padres deciden cambiar todas las bombillas de casa y te encargan a ti la tarea de decidir qué tipo utilizar. ¿Qué tipo de bombilla elegirías y por qué? (Problema con punto extra).

ANEXO 4

Posibles mejoras en los ítems 4 y 6

Une con flechas los conceptos y la explicación que esté relacionada.

Dos polos iguales	Pueden atraerse o repelerse
Polo Norte y Polo Sur	Energía que da una pila para mover los electrones
Voltaje	Siempre es positiva
Carga eléctrica	Puede ser positiva o negativa
	Se atraen
	Se mide en vatios
	Se repelen

Algunas de estas frases no son correctas. Indica por qué y escribelas de nuevo.

La materia está constituida por átomos, que a su vez poseen protones, cargados positivamente y neutrones, cargados negativamente.

Los materiales aislantes son aquellos que permiten que la luz circule por su interior. Con los materiales conductores sucede lo contrario.

A la relación entre la tensión y el magnetismo se le llama electromagnetismo. Cuanto más concentremos la tensión, la fuerza que ejercerá un electroimán será menor.