

Enseñanza de electrostática en la virtualidad mediante el aula invertida

Electrostatics teaching in the virtuality through flipped classroom

Luis A. Marino^{1*} y Marcelo De Greef¹

¹Departamento de Ciencias Naturales, Facultad de Humanidades y Ciencias, Universidad Nacional del Litoral, Barrio el pozo S/N. Ciudad Universitaria, CP 3000, Santa Fe, Argentina.

*E-mail: luismarino65@gmail.com

Resumen

En este trabajo se brindan los fundamentos, lineamientos y la evaluación de los aprendizajes alcanzados, con relación a la implementación virtual de una propuesta de enseñanza basada en el aula invertida. La misma emplea la metodología *justo a tiempo*, acoplada a la instrucción entre pares, en un modo totalmente virtual. Se aplicó para la enseñanza de electrostática en alumnos de último año de la carrera de profesorado en Matemática (FHUC–UNL) y los resultados de los aprendizajes se evaluaron con base en la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud. El buen nivel de conceptualización obtenido por los alumnos indica que se alcanzaron los objetivos propuestos y a su vez invita a implementar esta metodología, en el dictado de otros temas de física, ya sea en modo virtual o semipresencial.

Palabras clave: Electrostática; Enseñanza virtual; Aula invertida; Enseñanza activa; Instrucción entre pares.

Abstract

This work provides the foundations, guidelines and the evaluation of the learning achieved in relation to the virtual implementation of a teaching proposal based on flipped classroom. It uses the just in time teaching methodology, coupled with peer instruction, in a totally virtual way. It was applied for the teaching of Electrostatics to students of the last year of the teaching career in Mathematics (FHUC-UNL) and the learning results were evaluated based on Vergnaud's theory of conceptual fields. The good level of conceptualization obtained by the students indicates that the proposed objectives were achieved and in turn invites to implement this methodology, in the dictation of other Physics topics, either in virtual or blended mode.

Keywords: Electrostatics; Virtual teaching; Flipped classroom; Active teaching; Peer instruction.

I. INTRODUCCIÓN Y FUNDAMENTACIÓN DIDÁCTICA DE LA PROPUESTA

Durante el segundo semestre del año 2020 y en el marco del dictado de clases virtuales por la pandemia de covid-19, los integrantes del grupo de docentes del área Física del departamento de Ciencias Naturales (FHUC – UNL), hemos tenido a nuestro cargo el dictado de la asignatura Física General, para los alumnos que cursaban el quinto y último año de la carrera de Profesorado en Matemática de la Facultad de Humanidades y Ciencias (Universidad Nacional del Litoral). Dicha asignatura involucra a la electrostática dentro de su currículo.

Al respecto, nuestra experiencia docente, respaldada por numerosos trabajos de investigación en didáctica de la física (Furió y Guisazola, 1999; Bohigas y Periago, 2010; Espinoza y Herrera, 2011; Pereda y López, 2016) indican que los alumnos presentan serias dificultades teóricas y epistemológicas para adquirir los conceptos relativos a dicho

tema. Esto sucede debido al grado de abstracción requerido, el conjunto de significados previos demandados para la construcción del aprendizaje nuevo y las cuestiones que podrían derivarse de una presentación dirigida, acumulativa, acrítica y no problemática de los mismos.

Los resultados derivados de la investigación sobre la enseñanza de la Física muestran la conveniencia de que los estudiantes se involucren activamente en su proceso de aprendizaje, en el contexto de la reconstrucción de su conocimiento (Vigotsky, 1989; Ausubel, Novak y Hanesian, 1991; Kattmann, 2008; Duit, Gropengießer, Kattmann, Komorek y Parchmann, 2012). El conocimiento no se produce por una transmisión directa del docente al alumno, sino que es construido en la mente del estudiante como resultado de la interacción entre lo que el alumno cree y conoce, y los fenómenos, ideas y conceptos que le presenta la instrucción. El aprendizaje solo ocurre si el estudiante está activamente involucrado en su propio proceso de aprendizaje, en un proceso personal y social destinado a integrar el nuevo conocimiento con los modelos mentales preexistentes en cada uno de ellos.

Por lo tanto, consideramos oportuno implementar una metodología de enseñanza constructivista que favoreciera la participación activa de los alumnos en el proceso de reconstrucción de su conocimiento, dentro de espacios de aprendizajes colaborativos, maximizando el tiempo disponible para actividades de un nivel cognitivo superior (Bloom, 1968), orientadas a la aplicación, análisis, síntesis y evaluación de los conceptos trabajados.

Al respecto, encontramos que el modelo de aula invertida (Bergmann y Sams, 2014), que promueve el aprendizaje Invertido (Bergmann y Sams, 2014), es el que mejor se ajustaba al encuadre metodológico requerido.

Se planificó implementar el aula invertida con base en la metodología *enseñanza justo a tiempo*, con el objeto de maximizar los tiempos disponibles para las actividades de nivel cognitivo superior (Bloom 1968), acoplada a la instrucción entre pares (Araujo y Mazur, 2013) como actividad dentro del aula, con el propósito de crear espacios de aprendizajes colaborativos.

Según la modalidad de aula invertida, las actividades fuera del aula están pensadas para desarrollarse en formato virtual, mientras que las actividades áulicas, deberían desarrollarse en ambientes de aprendizajes colaborativos presenciales que facilitasen la interacción docente–alumno, y alumno–alumno. Sin embargo, en el marco de la pandemia del covid-19, tuvimos que reformular las actividades áulicas presenciales, para trabajarlas en forma virtual sincrónica. En este sentido, la pandemia nos obligó a acelerar la transición de la enseñanza desde un ambiente presencial de aprendizaje, a uno completamente virtual (Singh y Arya, 2020; Yen, 2020).

II. MARCO TEÓRICO DE LA PROPUESTA

El aula invertida se genera cuando se invierte el modelo de clase tradicional. Por un lado, el proceso de transmisión de contenidos se traslada a la casa y por otro, el uso de las clases presenciales se destina a desarrollar actividades prácticas (Bergman y Sanz, 2014). Es una metodología didáctica cuyo objetivo es trasladar la instrucción directa a un espacio de aprendizaje individual y convertir el espacio grupal en un espacio de aprendizaje colaborativo, dinámico e interactivo (Bergman y Sanz, 2014), promoviendo el *aprendizaje invertido*.

El aprendizaje invertido tiene sus bases en diferentes teorías del aprendizaje. En primer lugar, la teoría del aprendizaje para el dominio (Bloom, 1968). Esta plantea que cualquier estudiante puede alcanzar el dominio en un campo, dependiendo del tiempo y el apoyo recibido. Además, Bloom (1968) ordena las habilidades del conocimiento en dos órdenes: superior e inferior. El aprendizaje invertido requiere más tiempo para actividades de nivel cognitivo superior (aplicación, análisis, síntesis y evaluación del conocimiento), en las cuales el alumno necesita más ayuda (Andía y Santiago, 2017). Se dejan para fuera del aula las relacionadas con los niveles cognitivos inferiores (recordar y entender). Esto implica invertir la pirámide de las habilidades del conocimiento al diseñar las actividades áulicas, reservando más tiempo para aquellas de nivel cognitivo superior.

También existe una relación íntima entre el aprendizaje invertido y la teoría del constructivismo, ya que el nuevo conocimiento se genera cuando la información, brindada en las actividades fuera de las aulas, se conecta con las estructuras previas del conocimiento, al ser comprendida y aplicada en diferentes contextos (Ausubel, 1980).

El aula invertida es una metodología semipresencial; sin embargo, la pandemia de covid 19 ha obligado durante el ciclo lectivo 2020, a la enseñanza no presencial, principalmente en ambientes virtuales dentro de la web.

Con el objeto de maximizar el tiempo disponible para las actividades colaborativas en ambientes áulicos virtuales, hemos considerado adecuado invertir nuestra clase mediante la metodología *justo a tiempo*, propuesta por Novak, Patterson, Gavrin y Wolfgang (1999). Esta requiere que el trabajo individual de los alumnos esté coordinado con las actividades de clase. Para esto, una vez que los alumnos tienen acceso a los contenidos en el formato seleccionado por el docente (apuntes, capítulos de un libro, videos del docente, videos subidos a la web, etc.) deben contestar una serie de preguntas y enviar sus respuestas al docente. El docente, con base en esas respuestas, recaba información sobre aquellos conceptos donde los alumnos presentan mayores dificultades de comprensión. Con base en esa

información, desarrolla las actividades en clase; las que pueden constar de una breve exposición oral, seguidas de actividades de los alumnos según metodologías activas que propicien el aprendizaje colaborativo.

El aprendizaje colaborativo se fundamenta en la teoría psicológica del desarrollo cognitivo de Piaget (1980) y la teoría sociocultural del desarrollo cognitivo de Vigotsky (1989). Según Piaget (1980) surge un desequilibrio a nivel de la estructura mental cuando el sujeto confronta lo que sabe con lo expuesto por sus iguales, que origina un desajuste y, posteriormente, un nuevo acomodo y equilibrio de la información nueva y la asimilada.

Vigotsky (1989), concibe a la educación como un proceso de socio-construcción. La construcción del conocimiento solo puede gestarse a través de las habilidades del pensamiento, tales como la comprensión, el análisis, el razonamiento y la valoración crítica, en forma paralela con la interacción social o bien a posteriori. Esta actividad cognitiva y social permite la construcción de nuevas estructuras mentales, las cuales favorecen la consecución permanente de otros aprendizajes.

Un enfoque de aprendizaje activo, basado en las teorías que sustentan el aprendizaje colaborativo, es el que Mazur (1997) denomina *instrucción entre pares*. Es una técnica que promueve la participación activa del alumno en la construcción de su propio conocimiento. Los resultados de su implementación encontrados por Mazur (2015) mostraron que el método es efectivo para enseñar los fundamentos conceptuales de física.

Nuestro desafío, como equipo docente, ha consistido en generar los grupos de aprendizajes colaborativos dentro de un espacio de virtualidad y de este modo aprovechar las ventajas que ofrece el aprendizaje invertido, invirtiendo la clase mediante la metodología *justo a tiempo* y empleando la instrucción entre pares como actividad colaborativa (Oliveira, Veit y Araujo, 2015).

III. INTERVENCIÓN DIDÁCTICA

Aplicamos nuestra propuesta de aula invertida a 24 alumnos (18 mujeres y 6 varones) con una edad promedio de 22 años que cursaron la asignatura Física General en el segundo semestre de 2020. Dicha asignatura corresponde al último año de la carrera Profesorado en Matemáticas, de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Universidad Nacional del Litoral. Todos los alumnos tenían conectividad y disponían de *notebook* o teléfono inteligente.

En el presente trabajo de naturaleza descriptiva y no experimental, detallamos como implementamos la estrategia de aula invertida para trabajar los contenidos de electrostática y los resultados obtenidos en términos de la conceptualización alcanzada por los alumnos con relación a los conceptos requeridos para el estudio de los fenómenos físicos de electrostática.

IV. PROPUESTA DIDÁCTICA

La asignatura tiene una carga de 6 horas semanales y el dictado de la unidad Electroestática conlleva un total de 4 semanas. Dentro de la misma se tratan los siguientes contenidos: a. Carga eléctrica y fuerza eléctrica; b. Campo eléctrico; c. Flujo de campo eléctrico y ley de Gauss y d. potencial eléctrico y energía potencial electrostática.

Como ya se ha mencionado, la metodología de clase invertida permite que el alumno reciba el conocimiento en su domicilio y a distancia, reservando la mayor parte del tiempo para actividades pedagógicas activas que se desarrollen en un ambiente de aprendizaje colaborativo (clases áulicas). Esta metodología, pensada para un modo semipresencial se debió trabajar en forma virtual, debido a las restricciones pandémicas. Bajo estas premisas, y basados en los principios del aprendizaje invertido, implementamos la siguiente secuencia de actividades:

A. Actividades asincrónicas previas.

Se desarrollaron la semana previa a las actividades áulicas sincrónicas. Esta sección de la propuesta constó de las siguientes etapas:

a. Los alumnos pudieron ver y estudiar en su casa, a su propio ritmo, el contenido de los videos que seleccionamos y compartimos con ellos. Estos, de no más de 15 minutos de duración, fueron subidos a un canal de YouTube (<https://www.youtube.com/playlist?list=PLqgyRy7I5AoeXhI7Cv7d0zp1tkNFMq9OJ>) que vinculamos al aula virtual de la asignatura, ubicada dentro de la plataforma Moodle de la UNL (www.entornovirtual.unl.edu.ar). Además, pusimos a su disposición fuentes de información complementarias para su proceso de autoaprendizaje: libros (en formato digital en una carpeta compartida de la cátedra, con acceso a través de la plataforma virtual), páginas y diferentes recursos de internet (www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3; www.fisicalab.net; www.blogdefisica.com), simuladores (Electric Field; ELQ) y simuladores en línea (www.physicsclassroom.com/; www.phet.colorado.edu/en/simulations).

b. Teniendo en cuenta las posibles dificultades de aprendizajes (conceptuales y de procedimientos) descritas en numerosos trabajos de investigación (Furió y Guisasaola, 1999; Bohigas y Periago, 2010; Espinoza y Herrera, 2011; Pereda y López, 2016) elaboramos una guía de actividades, para que el alumno pudiese analizar una serie de cuestiones que requerían la aplicación de los conceptos y procedimientos antes mencionados.

Estas actividades, se basaban en responder preguntas de preparación de ensayo, para lo cual el alumno podía recurrir a los videos, bibliografía, páginas web y todo el material de soporte ofrecido por la cátedra.

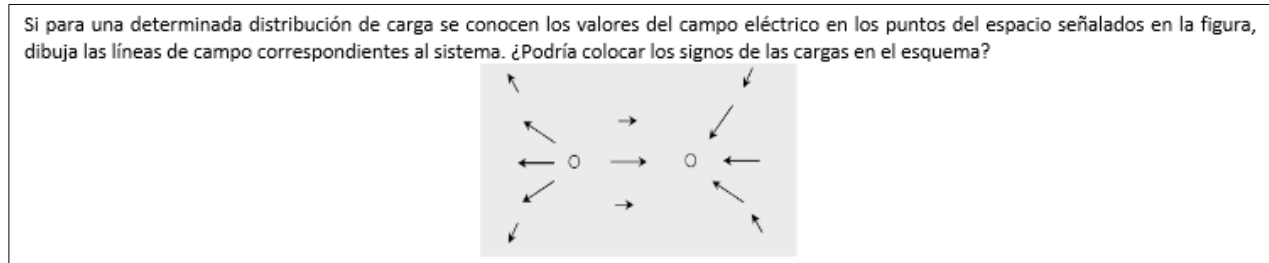


FIGURA 1. Ejemplo correspondiente a la actividad N.º 6 de la guía de actividades extraáulicas 2: campo eléctrico.

c. Realizamos consultas asincrónicas (a través del foro de la plataforma virtual), mediante las cuales los alumnos podían canalizar sus dudas surgidas en la primera etapa de este proceso.

d. Los alumnos nos entregaron la guía de actividades resuelta a través de la plataforma virtual. La corrección de las respuestas y su posterior devolución, se hizo a través de dicha plataforma. El informe de corrección generado a partir de la misma, nos permitió conocer aquellos conceptos científicamente erróneos o no asimilados por los alumnos, y sobre los cuales, planificamos las actividades sincrónicas siguientes.

B. Actividades sincrónicas

Consistió en el empleo de metodologías de enseñanza activas, dentro de un espacio áulico virtual y en forma sincrónica. Las mismas se desarrollaron en 3 bloques de 2 horas de duración cada uno. En los primeros dos bloques trabajamos sobre preguntas conceptuales, a través de la modalidad de instrucción entre pares y en el restante, en la resolución de problemas presentes en una guía subida con anterioridad al entorno virtual.

C. Instrucción entre pares

El objetivo de esta actividad fue continuar y consolidar el proceso de aprendizaje comenzado por el alumno en la actividad asincrónica previa. La instrucción entre pares es una metodología de aprendizaje colaborativa basada en gran medida en la calidad y relevancia de las preguntas conceptuales utilizadas en la misma (figura 2).

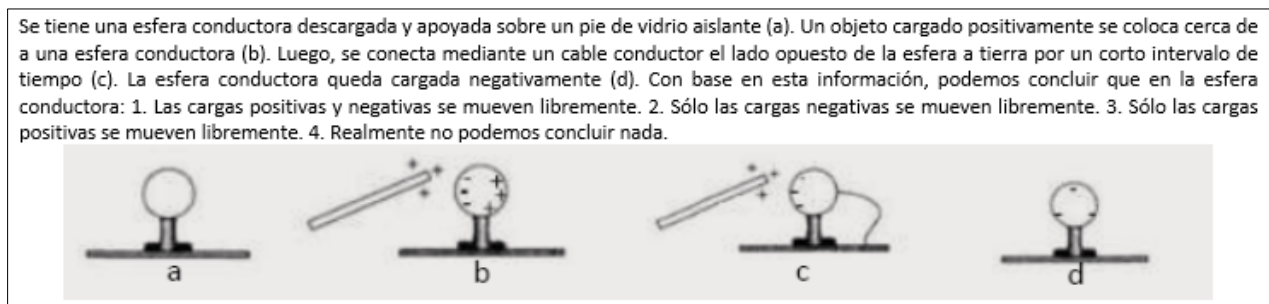


FIGURA 2. Ejemplo de pregunta conceptual correspondiente a la instrucción entre pares: cargas eléctricas y fuerza eléctrica.

Algunas las obtuvimos del libro de Mazur (1997), otras las adaptamos de ciertos problemas de los libros de texto y las restantes las diseñamos teniendo en cuenta los siguientes criterios básicos: Involucrar pocos conceptos y centrarse especialmente en uno; no ser un ejercicio que solamente involucre el reemplazo de valores numéricos en ecuaciones; contener en las opciones de respuestas múltiples las concepciones no científicas más comunes de los estudiantes, para que las mismas salgan a la luz; estar redactadas de manera clara y adecuada al contexto de trabajo.

Teniendo en cuenta el ámbito de trabajo virtual sincrónico, adaptamos la modalidad de trabajo propuesta por Mazur (1997), implementando la instrucción entre pares del siguiente modo:

a. Con anterioridad al inicio de la actividad, distribuimos los alumnos en grupos de WhatsApp (tres por grupo). Esta forma de trabajo se consensuó previamente con los alumnos y los grupos se armaron en forma aleatoria, al inicio de la implementación de la propuesta.

b. El día anterior a la actividad, analizamos las respuestas de los alumnos a la guía de actividades y preparamos una introducción teórica de unos 15 minutos, centrada en aquellos conceptos en los cuales los alumnos manifestaron las mayores dificultades de comprensión. La actividad, de tipo sincrónica, se desarrolló a través de zoom y comenzó con la actividad expositiva.

c. A través de Zoom y en versión pantalla compartida, mostramos la primera pregunta y las opciones posibles de respuestas a toda la clase y las leímos en forma clara, para que se comprenda el enunciado sin ambigüedades.

d. Otorgamos alrededor de cinco minutos para que cada estudiante, individualmente, registre en un formulario web a través de su teléfono inteligente o su *notebook* la opción de respuesta elegida y el grado de confianza con la que el mismo consideraba haberla hecho (muy seguro, todavía pensando y poco seguro). El empleo de formularios web nos brindó ventajas en dos sentidos: primero, nos permitió tener un panorama inmediato de la distribución de respuestas y niveles de confianza, lo que nos permitió darles a los estudiantes una rápida retroalimentación; segundo, nos quedaron registros de las opciones elegidas por los estudiantes antes y después de las discusiones entre ellos, lo cual nos ofreció la posibilidad de realizar posteriormente un análisis más profundo de la dinámica de la estrategia, conocer los aprendizajes alcanzados y llevar a cabo los ajustes necesarios para las clases subsiguientes.

e. Luego, durante alrededor de 10 minutos, los estudiantes discutieron con sus compañeros del grupo de WhatsApp acerca de la opción seleccionada y el por qué; en esta instancia ellos mismos elaboraron los argumentos utilizados para seleccionar tal o cual opción, tratando de convencer a sus compañeros.

f. Posteriormente, los estudiantes en forma individual registraron nuevamente sus respuestas y niveles de confianza en el formulario web; en esta instancia los mismos tuvieron la posibilidad de elegir otra opción de respuesta o un nuevo nivel de confianza.

g. Finalmente, les mostramos a toda la clase y en modo pantalla compartida, las proporciones de respuestas y niveles de confianza antes y después de la discusión. Luego, discutimos con todo el grupo cuál era la respuesta correcta argumentando su fundamento y analizando por qué las otras eran incorrectas. Posteriormente se comenzó nuevamente el ciclo, con una nueva pregunta conceptual.

D. Resolución de problemas

Esta actividad, tuvo dos instancias diferenciadas. En la primera, asincrónica, desarrollamos varios problemas, en los cuales abordamos aquellos conceptos y procedimientos en los cuales los alumnos habían manifestado mayores dificultades, a través de sus respuestas a la guía de actividades; adicionalmente detallamos claramente las diferentes etapas de resolución: interpretación del enunciado y representación simbólica; formulación de hipótesis de trabajo; planteo de resolución; análisis de los resultados; transferencia a otros casos. Esta resolución, fue grabada y el video subido al canal de YouTube después de la actividad de instrucción entre pares.

La segunda instancia, de 2 horas de duración, se desarrolló en forma sincrónica a través de Zoom; en la misma, resolvimos problemas seleccionados de la guía, realizando preguntas a los alumnos y resolviendo o repreguntando de acuerdo a sus respuestas; luego grabamos la clase y la subimos a la plataforma, para que los alumnos pudiesen verla las veces que fuese necesaria.

E. Evaluación de la propuesta


Para evaluar el nivel de conceptualización alcanzado por los alumnos, al implementar nuestra propuesta, procedimos a elaborar y aplicar un instrumento *ad hoc*, basado en un cuestionario con 5 situaciones que involucran los conceptos del “campo conceptual” electrificación e interacción electrostática y el campo conceptual Campo eléctrico y potencial eléctrico (figura 3). Dichas situaciones, dan sentido a los conceptos de los campos conceptuales y poseen diversos formatos que requieren análisis, cálculos y diferentes formas de representación.

Según la teoría de los campos conceptuales (Vergnaut, 1990), el campo conceptual se constituye por un triplete de tres conjuntos $\{S, I, R\}$; donde S es el conjunto de situaciones que incluyen fenómenos y problemas físicos que dan sentido a los conceptos del campo conceptual; I es el conjunto de invariantes operatorios de esquemas asociados a los conceptos físicos y a los objetos matemáticos que el estudiante usa al enfrentar las diferentes situaciones, tales como: escalar (e), vector (v), función (fn), campo (c), carga eléctrica (ce), fuerza eléctrica (fe), campo eléctrico (cpe), potencial eléctrico (p) y energía potencial eléctrica (epe); R es el conjunto de representaciones simbólicas-pictóricas usadas en las situaciones para representar los conceptos físicos y matemáticos, tales como: ecuaciones, gráficos, tablas, vectores y otros.

El cuestionario se tomó en forma online a través del entorno virtual. Se empleó el recurso pregunta–ensayo. Por cada página digital aparecía una situación. Los alumnos resolvieron cada situación en papel, le sacaron una foto y anexaron el archivo en formato JPEG a la hoja correspondiente. El tiempo de evaluación fue de 3 horas y durante la misma los alumnos, conectados en simultáneo a través de zoom, mantuvieron la cámara y el sonido activo. Las correcciones y los resultados se les enviaron a través del entorno virtual.

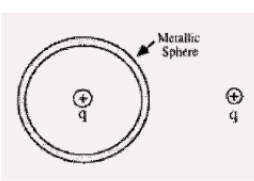
Instrumento de evaluación de nivel de conceptualización

1.- Dos esferas de vidrio se cargan al friccionarlas con un paño de seda.
 a) Las cargas son magnitudes ¿escalares o vectoriales? ¿Qué signos pueden tener?
 b) ¿Cuál es el valor de la carga en el paño en relación a las bolas de vidrio?
 Ambas bolas tienen la misma masa $m = 50\text{ g}$ y están suspendidas de un hilo de nylon, una al lado de la otra. La carga de una de las bolas es doble que la de la otra ($q = 3,2\text{ nC}$).
 c) Realice el diagrama de cuerpo libre de ambas esferas y represente la fuerza que genera la separación angular de las cargas. Dicha fuerza ¿cómo se relaciona con las cargas y la separación de las esferas?
 d) ¿Cuál de los diagramas de la figura adjunta representará la situación real que se verificará en una experiencia?

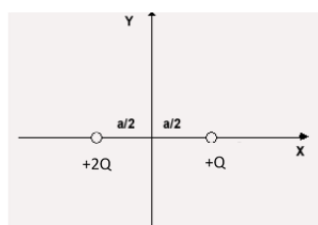


e) Calcule el ángulo de separación de las esferas.

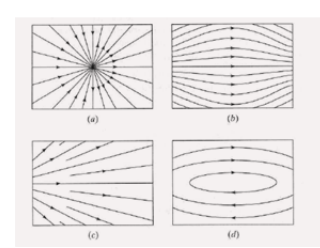
2.- Sea un sistema formado por dos cargas puntuales, una de las cargas se rodea de una esfera metálica no cargada y aislada, tal y como se ve en la figura. Si $q = 1,6\text{ nC}$
 a.- ¿Cómo se electriza el conductor?
 b.- Calcular la fuerza que actúa sobre cada carga.



3.-a Teniendo en cuenta la relación fuerza/carga establecida por la ley de Coulomb; ¿por qué tipo de magnitud se puede representar el campo eléctrico en un punto del espacio?
 b.- Calcule y represente gráficamente y analíticamente el campo eléctrico creado por el dipolo de la figura en el punto $(0, a)$ siendo $Q = 1,6\text{ nC}$.
 c.- Si las cargas fuesen iguales y de signo contrario; ¿Habría campo eléctrico a una distancia lejana a ellas?



4.- Teniendo en cuenta las propiedades de las líneas que representan un campo eléctrico; ¿Cuáles de las siguientes representaciones representan un campo eléctrico en una zona del espacio donde no hay cargas? Justifique su respuesta.



5.- Se tiene una esfera de cobre con carga $-q$ de radio r y se rodea con un cascarón esférico de madera con radio $R > r$.
 a.- Analice cualitativamente como variará el módulo del campo eléctrico desde $r = 0$ hasta $r > R$.
 b.- Represente el campo eléctrico mediante líneas de campo.
 c.- Dibuje las superficies equipotenciales correspondientes.
 d.- Analice cualitativamente como variará el potencial eléctrico desde $r = 0$ hasta $r > R$.

FIGURA 3. Instrumento para evaluar el nivel de conceptualización de los alumnos en los campos conceptuales de electrostática.

Las respuestas de los alumnos a las situaciones se codificaron según cuatro categorías de análisis propuestas por Llancaqueo y Díaz (2013), a saber:

Categoría 1: Clasificación. Uso de invariantes de características de clase. De identificación de magnitudes físicas, o predicados de expresiones que definen atributos o propiedades que aplican significados científicos de los conceptos físicos y matemáticos.

Categoría 2: Representación. Identificación del uso de invariantes, que se relacionan con el conjunto de representaciones simbólicas y pictóricas (gráficos, ecuaciones, expresiones algebraicas, flechas), que representen significados de los conceptos físicos y matemáticos.

Categoría 3: Operación. Uso de invariantes en procedimientos empleados por los estudiantes en las situaciones, esto es, el conocimiento y aplicación de operaciones, sus propiedades y representaciones simbólicas asociadas a los conceptos físicos y matemáticos.

Categoría 4: Resolución. Disponibilidad conceptual presente en los esquemas estudiantes, en términos de propiedades, relaciones y transformaciones científicamente correctas de los conceptos físicos y matemáticos

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, presentamos los resultados obtenidos con relación al nivel de conceptualización del campo conceptual electrificación e interacción electrostática y campo y potencial eléctrico; dicho análisis se basa en los porcentajes de respuestas “científicamente correctas” de los alumnos, discriminadas en las 4 categorías de análisis antes definidas.

A. Campo conceptual electrificación e interacción electrostática

Categoría clasificación: a través de las respuestas se evidencia que los alumnos reconocen a las cargas como magnitudes escalares positivas o negativas (100 %) y a la fuerza eléctrica como una interacción a distancia (75 %), aunque en un porcentaje menor se reconoce que el principio de acción – reacción es aplicable a ellas (54,2 %).

Categoría representación: los alumnos, en su mayoría, representan adecuadamente las cargas por números fraccionarios positivos o negativos (91,6 %), a la Fuerza eléctrica por flecha (75 %) y en menor medida por sus componentes (62,5 %).

Categoría operación: de los resultados se desprende que los alumnos operan adecuadamente con las cargas en forma escalar (83,3 %), al calcular la fuerza eléctrica el 66,7 % de las veces emplean adecuadamente el álgebra vectorial y el error más común es trabajar con suma o resta de módulos sin considerar la dirección o sentido (25 %).

Categoría resolución: un bajo porcentaje (16,7 %) de respuestas indican una equivocada aplicación del principio de conservación de carga y en otro porcentaje (8,3 %) se omite. Cuando aplican la ley de Coulomb, el error más común es olvidarse calcular el módulo (del vector o de alguna de sus componentes) y no asignarle adecuadamente su dirección y sentido (25 %). En cuanto al planteo de las ecuaciones de la estática en algunas respuestas (29,2 %) no se consideran alguna de las fuerzas vistas en mecánica (peso o tensión).

B. Campo conceptual campo eléctrico y potencial eléctrico

Categoría clasificación: los alumnos identifican bastante bien el vector campo eléctrico en un punto del espacio (75 % de respuestas adecuadas), aunque tienen más dificultad para identificar la función campo eléctrico (solo 62,5 % de respuestas adecuadas) y potencial eléctrico (62,5 %). Esto último se correlaciona con la mayor dificultad de los alumnos en comprender la concepción de campo según Maxwell (alteración de una propiedad del espacio por cargas) que la concepción Newtoniana (relacionada a la fuerza de interacción de una carga sobre otra de prueba en un punto específico del espacio). Generalmente los alumnos tienden siempre a relacionar la diferencia de potencial con su definición operativa.

Categoría representación: los alumnos representan bastante bien el campo eléctrico por líneas de campo. La representación de las superficies/líneas (en corte) equipotenciales les presentan más dificultad

Los alumnos manifiestan una gran dificultad para identificar el campo eléctrico generado por la polarización de un dieléctrico (37,5 %); solo en este bajo porcentaje de respuestas adecuadas, los alumnos relacionan explícitamente el vector polarización con la estructura molecular de la materia. Los alumnos reconocen al campo eléctrico nulo como atributo del interior de un conductor en equilibrio electrostático (66,7 % de respuestas adecuadas), mientras que, con relación al otro atributo, es decir potencial constante, el porcentaje se reduce a un 58,3 %, debido a que algunos alumnos consideran que dicho potencial debe ser nulo.

Categoría operación: el empleo de integrales de superficies y integrales de línea para evaluar respectivamente el flujo de campo y el trabajo eléctrico resulta bastante alto (62,5 %); esto quizás se debe a la buena formación matemática de estos alumnos.

Categoría resolución: se observa que en el 62,5 % de sus respuestas, los alumnos eligen una trayectoria no especificada en el problema, para obtener el trabajo en contra del campo eléctrico; esto parece evidenciar que los alumnos asumen la propiedad conservativa del campo en sus resoluciones. En un 75 % de las respuestas, los alumnos aplican adecuadamente el principio de superposición para obtener el campo debido a la acción de varias cargas.

VI. CONCLUSIONES

En función de los resultados obtenidos, podemos realizar ciertas inferencias.

La aplicación de nuestra propuesta se correlaciona con un buen nivel de conceptualización alcanzado por los alumnos en los temas relativos a electrostática. Esto se manifiesta al analizar como aplican sus esquemas-en-acción en la resolución de las situaciones relativas a los campos conceptuales cargas eléctricas e interacción electrostática y campo y potencial eléctrico.

Las preguntas conceptuales de la instrucción entre pares se seleccionaron de modo que, los alumnos, trabajasen con aquellos conceptos (campo eléctrico, inducción eléctrica, potencial eléctrico, etc.), sobre los cuales se requería un mayor nivel de abstracción. Dentro de este espacio de aprendizaje colaborativo, se generaron interesantes debates entre pares y entre grupos de pares, lo cual posiblemente influyó sobre las concepciones previas de los alumnos, asociadas al mundo cotidiano y las aproximó a aquellas del mundo científico. Esto se correlaciona con los buenos rendimientos que obtuvieron los alumnos, al momento de analizar, representar y aplicar dichos conceptos a situaciones concretas.

Los alumnos se involucraron mayoritariamente en las tareas planteadas y de acuerdo a un relevamiento verbal se sintieron “protagonistas” de su propio aprendizaje. Solo 2 de los 24 alumnos no participaron de todas las actividades sincrónicas, y son los que no pudieron responder las consignas que les planteaba el instrumento de evaluación conceptual.

Es factible extender esta metodología a otros temas de la física, y es una excelente alternativa a tener en cuenta en el caso en que la presencialidad se vea nuevamente interrumpida. Adicionalmente, la metodología puede adaptarse a condiciones de presencialidad, con la salvedad que la modalidad de instrucción entre pares deberá implementarse con el debido distanciamiento físico, lo cual obligaría a seguir empleando los grupos de discusión por WhatsApp.

REFERENCIAS

Andia, L. A. y Santiago, R. (2017). *Flipped classroom: 33 experiencias que ponen patas arriba el aprendizaje*. España, Barcelona: UOC OuterEdu.

Araújo, I. y Mazur, E. (2013). Instrucción entre pares y enseñanza justo a tiempo: una propuesta para la participación de los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 30(2), 362-384.

Ausubel, D., Novak, J. y Hanesian, H. (1991). *Psicología educacional: un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.

Bergmann, J. y Sams, A. (2014). *Dale la vuelta a tu clase*. Madrid, España: Ediciones SM.

Bloom, B. S. (1968). Learning for Mastery. *Evaluation Comment*, 1(2), 1-12.

Bohigas, X. y Periago, M. C. (2010). Modelos mentales alternativos de los alumnos de segundo curso de Ingeniería sobre la Ley de Coulomb y el Campo Eléctrico. *Revista electrónica de investigación educativa*, 12(1), 1-15. Recuperado de <https://redie.uabc.mx/redie/article/view/241>

Duit R.; Gropengießer H.; Kattmann, U.; Komorek, M. y Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction – a framework for Improving teaching and learning science. En Jorde, D. y Dillon, J. (Eds.), *Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective*, (13–37). European Union: Sense Publishers.

Espinoza, M. y Herrera, J.F. (2011). Identificación de concepciones alternativas del Campo Eléctrico en estudiantes de nivel Secundario. Researchgate. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/234839611>

Furió, C. y Guisasaola, J. (1999). Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*. 17(3),441-52.

Kattmann, U. (2008). Learning biology by means of anthropomorphic conceptions? En Hamman, M. y otros (Eds.), *Biology in context: Learning and teaching for the 21 century*. London, U.K.: Institute of Education, University of London.

Llancaqueo, A., Jiménez, C. y Díaz, W. L. (2013). Aprendizaje de los conceptos de fuerza y energía en estudiantes de ingeniería: un estudio exploratorio. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*. 8(1), 14-23. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273327598002>

Mazur, E. (1997). *Peer Instruction. A User's Manual*. Nueva Jersey, Estados Unidos: Prentice Hall.

Mazur, E. (2015). *Peer Instruction: A revolução da aprendizagem ativa*. Porto Alegre, Brasil: Penso.

Novak, G. M., Patterson, E.T., Gavrin, A. D. y Wolfgang, C. (1999). *Teaching: Blending active learning with web technology*. Upper Saddle River, USA: Prentice Hall.

Oliveira, V., Veit, E. A. y Araujo, I. S. (2013). Uma proposta de ensino de tópicos de eletromagnetismo via Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida para o ensino médio: Tarefas de Leitura. Teses de Maestria. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10183/61863>

Pereda, S. y López, A. (2016). Modelos Iniciales de Estudiantes de secundaria sobre Fenómenos Electrostáticos. *Revista TED*. (extra), 486-495. Recuperado de: <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/4565>

Piaget, J. (1980). *Psicología y pedagogía*. Barcelona, España: Ariel.

Singh, S., y Arya, A. (2020). A hybrid flipped-classroom approach for online teaching of biochemistry in developing countries during COVID-19 crisis. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 48(5), 502-503. Doi : 10.1002/bmb.21418

Vergnaud, G., (1990). La théorie des champs conceptuels, Recherches. *Didactique des Mathématiques*, 10(2,3), 133-170.

Vigotsky, L. (1989). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona, España: Crítica.

Yen, T. (2020). The performance of online teaching for flipped classroom based on COVID-19 aspect. *Asian Journal of Education and Social Studies*, 8(3), 57-64. <https://doi.org/10.9734/AJESS/2020/v8i330229>