

Aplicación de estrategias de aprendizaje activo de la física en un curso introductorio de electromagnetismo

Implementation of physics active learning strategies in an introductory course on electromagnetism.

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Leandro Manuel Sarmiento¹, Nicolás Budini^{2,3}, Silvia Giorgi²
y Gustavo Yoaquino¹

¹Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Av. de la Universidad 501, X2400SQF San Francisco, Córdoba, Argentina.

²Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Santiago del Estero 2829, S3000AOM Santa Fe, Argentina.

³Instituto de Física del Litoral (UNL-CONICET), Güemes 3450, S3000GLN Santa Fe, Argentina.

E-mail: lsarmiento@sanfrancisco.utn.edu

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos al implementar estrategias de aprendizaje activo de la física en un curso de electromagnetismo para carreras de ingeniería. Se describe la experiencia realizada en un curso de Física II de la Facultad Regional San Francisco de la Universidad Tecnológica Nacional, donde se aplicaron tutoriales para física introductoria y clases demostrativas interactivas en la primera parte del curso. La efectividad de estas estrategias se evaluó suministrando el cuestionario de evaluación conceptual de electricidad y magnetismo (conceptual survey of electricity and magnetism, CSEM) en modo pre- y postest con grupo control. Se presentan los índices de ganancia normalizada obtenidos del CSEM para cada grupo.

Palabras clave: Aprendizaje activo; Tutoriales; Clases demostrativas interactivas; Enseñanza del electromagnetismo.

Abstract

In this work we present results obtained from the implementation of physics active learning strategies in an introductory course of electromagnetism for engineers. We describe the experiences carried out in the Physics II course of the San Francisco Regional Faculty, Technological National University, which consisted in the implementation of tutorials for introductory physics and interactive lecture demonstrations during the initial stages of the course. The effectiveness of these strategies was assessed by pre- and post-test of the conceptual survey of electricity and magnetism (CSEM) with control group. We present the normalized gains obtained from CSEM for each group.

Keywords: Active learning; Tutorials; Interactive lecture demonstrations; Teaching of electromagnetism.

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace años se registran estadísticas preocupantes en la educación superior argentina. Los últimos datos disponibles nos muestran que, en las universidades públicas, un 74% de los estudiantes no logra egresar en un plazo de 6 años de sus respectivas carreras. En particular, para el año 2016 sólo el 50,8% aprobó más de una materia luego de un año de permanencia en la universidad. La dificultad en los primeros años de la universidad explica parte de la baja tasa de graduación (relación entre egresados sobre ingresantes), que incluso viene en descenso en los últimos años. Para las universidades estatales se pasó de una relación de 30% en el período 2008-2014 a una de 26,3% en 2010-2016 (CEA, Informe junio 2018). Estos datos nos muestran por sí mismos los desafíos que tenemos por delante en la educación superior y, en particular, en el trabajo con los estudiantes durante los primeros años de su formación básica universitaria.

Frente a este panorama claramente identificable en nuestra realidad académica local es que se viene llevando a cabo desde hace dos años un plan de mejora de la enseñanza de la física básica en la Facultad Regional San Francisco (FRSF) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), principalmente en la asignatura Física II. Esta asignatura, de cursado anual, se dicta como materia común en el segundo año de las carreras de Ingeniería Electromecánica, Electrónica, en Sistemas de Información y Química de la UTN-FRSF. El objetivo principal que persigue tal plan de mejora es implementar cambios significativos en el clásico desarrollo de la materia, con la intención de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes. De esta manera se busca optimizar la permanencia de los estudiantes y reducir así el tiempo de egreso en la facultad. Inicialmente se comenzó a trabajar en propuestas didácticas llevadas a cabo en los espacios destinados a los trabajos prácticos de laboratorio (Sarmiento y Otros, 2016) y, luego, implementando estrategias activas de enseñanza de la física en forma acotada (Sarmiento y Otros, 2017). En este trabajo relatamos la experiencia desarrollada a lo largo del primer semestre de clases de la asignatura Física II durante 2018, donde se introdujeron estrategias de enseñanza basadas en el aprendizaje activo de la física. Para esto se aplicaron *Tutoriales para Física Introdutoria* (TFI o tutoriales), desarrollados por el Grupo de Educación de la Física que dirige Lillian McDermott para los cursos introductorios de física que se dictan en la Universidad de Washington en Seattle (USA) (McDermott y Shaffer, 2001), y *Clases Demostrativas Interactivas* (CDI), desarrolladas en la Universidad de Oregon y en la Universidad Tufts (USA) por Sokoloff y Thornton (Sokoloff y Thornton, 2004). Del universo de estudiantes regulares de Física II, cohorte 2018, se seleccionaron dos grupos: uno definido como el grupo experimental y el otro como grupo control. Con el grupo experimental se trabajaron las metodologías de aprendizaje activo y con el grupo control se desarrollaron las clases tradicionales de Física II. Con esta propuesta queremos lograr los siguientes objetivos: (a) mejorar la comprensión conceptual de los tópicos fundamentales del curso introductorio de electromagnetismo; (b) poder evaluar este avance (o no) en el conocimiento conceptual los temas centrales de electricidad; (c) que los estudiantes se involucren activamente en la construcción de sus conocimientos; (d) proponer y fundamentar cambios permanentes hacia el uso de metodologías de aprendizaje activo para la enseñanza de la física en la estructura de cátedra de Física II.

Ambos grupos fueron evaluados utilizando la *Evaluación Conceptual de Electricidad y Magnetismo* (CSEM, por sus siglas en inglés) (Maloney y Otros, 2001), administrada en forma de pre-test (antes de la instrucción) y post-test (luego del desarrollo de las actividades programadas), con el objetivo de cuantificar la mejora (o *ganancia*) en el nivel conceptual de los estudiantes luego de las dos modalidades de instrucción llevadas a cabo con cada grupo. Para esto se determinó el factor de Hake, h , que proporciona un indicador estadístico de qué tanto han aprendido los estudiantes de una clase de física dentro del contexto de una metodología didáctica en particular (Hake, 1998). Este índice nos muestra el impacto que puede tener en la enseñanza una propuesta didáctica basada en el aprendizaje activo de la física.

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS

Los TFI y las CDI se basan en los principios del constructivismo. El constructivismo es una perspectiva psicológica y filosófica que sostiene que las personas forman o construyen gran parte de lo que aprenden y comprenden. Una influencia decisiva para el surgimiento del constructivismo es la teoría y la investigación sobre el desarrollo humano, especialmente desde las perspectivas de Piaget y Vygotski.

Podemos puntualizar algunos supuestos de la teoría constructivista que ayudan a comprender esta perspectiva en el marco de las estrategias aplicadas en este trabajo. El constructivismo resalta la interacción de las personas y las situaciones en la adquisición y perfeccionamiento de las habilidades y conocimientos. El supuesto fundamental del constructivismo es que las personas son aprendices activos y desarrollan el conocimiento por sí mismas. Otro de los supuestos del constructivismo es que los profesores no deben enseñar en el sentido tradicional de dar instrucción a un grupo de estudiantes, sino que más bien deben estructurar situaciones en las que los estudiantes participen de manera activa con el contenido a través de la manipulación de los materiales y la interacción social. Algunas actividades incluyen la observación de fenómenos, la recolección de datos, la generación y pruebas de hipótesis y el trabajo colaborativo con otros individuos (Schunk, 2012).

Los TFI son un conjunto de herramientas didácticas diseñadas para servir de complemento a las clases teóricas y a los libros de texto de un curso normal introductorio de física general (McDermott y Shaffer, 2001).

Los principales objetivos de esta estrategia son el desarrollo del aprendizaje conceptual y el desarrollo de las habilidades de razonamiento científico. Los tutoriales están estructurados de forma que promueven el trabajo intelectual activo de los estudiantes en el proceso de aprendizaje de la física.

Las consignas y situaciones desarrolladas en los tutoriales guían a los estudiantes hacia el tipo de razonamiento indispensable para la construcción de los conceptos abordados en clase. Los mismos están

pensados, en principio, para que se utilicen luego de haber introducido los conceptos en las clases teóricas y en los laboratorios. En nuestro trabajo los utilizamos como actividades complementarias, luego de que los conceptos ya fueran presentados en las clases teóricas. Durante una sesión de tutorial los estudiantes trabajan en grupo usando las guías de trabajo (o el tutorial, propiamente dicho), que constituyen la estructura básica de dichas sesiones. Las guías de trabajo contienen una secuencia cuidadosamente elegida de tareas y preguntas a partir de las cuales se espera que el estudiante construya respuestas por sí mismo, discutiendo con sus compañeros y con el docente.

En las clases desarrolladas bajo esta modalidad el docente supervisa la tarea de los grupos, observando la discusión, razonamiento y conclusiones de cada tarea. Este control tiene por objetivo que los estudiantes no avancen sobre la siguiente consigna/concepto sin haber comprendido aquellos conceptos que le servirán de base para el trabajo sobre los aspectos siguientes, asegurando la continuidad del aprendizaje. La estrategia puede ser resumida en tres aspectos básicos: (1) indagar acerca de las ideas previas de los estudiantes sobre los conceptos del tutorial, (2) confrontar estas ideas con las observaciones de los propios estudiantes (por ejemplo, en el laboratorio) o sus razonamientos y (3) resolver las discrepancias entre lo que los estudiantes suponían y los resultados que se obtienen en el laboratorio o con el material de trabajo. El tutorial (el material central de esta metodología) es una guía de actividades que los alumnos tienen que trabajar en grupos de 3 o 4 estudiantes. En algunos casos el trabajo de lápiz y papel se complementa con dispositivos experimentales simples, que pueden ser aportados por el propio estudiante, o con detectores y sensores más avanzados, propios de un laboratorio.

Por otra parte, la metodología de las CDI consiste, por lo general, en una secuencia de sencillos experimentos físicos (Sokoloff y Thornton, 2004). Los estudiantes participan activamente debido a que se usa un ciclo de aprendizaje que incluye: (1) predicción escrita de los resultados de un experimento físico real, (2) discusión en grupos pequeños con sus compañeros cercanos, (3) observación del fenómeno físico en tiempo real con las herramientas de recolección de datos y (4) comparación entre predicción y observación. La secuencia seguida en las CDI tiene por objetivo que los estudiantes estén activos en sus procesos de aprendizaje y así convertir el ambiente generalmente pasivo de una clase teórica tradicional en uno donde los estudiantes participan activamente en un contexto experimental real. A continuación se enumeran los ocho pasos que deben seguirse cuando se aplica esta estrategia en el aula (Sokoloff, 2010).

1. El docente describe el experimento y, si fuera necesario, lo realiza sin proyectar el resultado del experimento.
2. Los estudiantes registran su predicción individual en la *hoja de predicciones*, la cual será recogida al final de la clase (debe quedar claro a los estudiantes que estas predicciones no serán evaluadas, aunque una parte de la nota final del curso puede ser asignada por la asistencia a las CDI)
3. Los estudiantes discuten sus predicciones en un pequeño grupo de 2 o 3 compañeros cercanos.
4. El docente obtiene y analiza las predicciones más comunes de los estudiantes.
5. Los estudiantes registran la predicción final en la *hoja de predicciones*, pudiendo modificar su predicción anterior.
6. El docente realiza la experiencia demostrativa, mostrando claramente los resultados.
7. Se pide a algunos estudiantes que describan/discutan los resultados de la demostración. Los estudiantes registran estos resultados en la *hoja de resultados*, la cual conservan para estudiar.
8. Los estudiantes (o el docente) discuten situaciones físicas análogas con diferentes características superficiales (o sea, diferentes situaciones físicas pero que responden al mismo concepto).

Los ocho pasos de las CDI están diseñados para involucrar al estudiante en su proceso de aprendizaje. Se les pide que, basados en sus creencias, hagan predicciones en la hoja que el docente recoge al final de la clase. Es decir, son conducidos a interpretar cada demostración en base a los modelos que sustentan, para luego defender estos modelos frente a sus compañeros. Después de estos dos primeros pasos la mayoría de los estudiantes están interesados en lo que sucederá en la demostración, habiendo sido motivados por los sucesivos pasos de la estrategia. Luego de la demostración pueden darse cuenta de que sus predicciones, a menudo, están basadas en modelos incorrectos, lo cual facilita que dichos modelos erróneos sean modificados por la discusión generada en la clase.

III. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA Y RESULTADOS

Las actividades con las metodologías activas se desarrollaron durante las primeras 10 semanas de cursado de Física II (con periodicidad semanal) y las unidades temáticas trabajadas en este período de tiempo fueron: electrostática, ley de Gauss, energía potencial eléctrica y potencial eléctrico. Del universo total de estudiantes de la cohorte 2018 de Física II se seleccionaron dos grupos de $N = 32$ estudiantes. El grupo

experimental, a su vez, fue dividido en grupos de 5 y 6 estudiantes para conformar los grupos de trabajo para los TFI. Los tutoriales utilizados se extrajeron de la sección de electrostática del libro de *Tutoriales para Física Introductoria* en su edición en español (McDermott y Shaffer, 2001), y fueron:

- *Tutorial 1: Un modelo de carga eléctrica* (págs. 68–70). Tópicos abordados: carga eléctrica, ley de Coulomb, conductores y aislantes, carga inducida, distribución de carga sobre un conductor, 3ra. ley de Newton y principio de superposición.
- *Tutorial 2: Diferencia de potencial eléctrico* (págs. 79–84). Tópicos abordados: trabajo de una fuerza, energía cinética, trabajo y campo eléctrico, energía potencial eléctrica, potencial eléctrico y diferencia de potencial eléctrico.

Los conceptos abordados en cada tutorial fueron trabajados previamente en las clases teóricas y de resolución de problemas. Cada grupo contaba con las hojas del tutorial y unos pocos elementos necesarios para realizar las experiencias sugeridas. El espacio utilizado para estas tareas fue el laboratorio de enseñanza de la física de la facultad. En la figura 1 se puede observar una sesión de trabajo con los tutoriales.

Luego de finalizar cada tutorial se entregaron las hojas con los ejercicios complementarios que acompañan a cada tutorial. En este caso se trataba de ejercicios complementarios sobre el concepto de carga (págs. 53–56) y de diferencia de potencial eléctrico (págs. 63–66) (McDermott y Shaffer, 2001). Los estudiantes realizaron estas actividades complementarias en forma grupal, presentaron un informe con todos los ejercicios resueltos al docente en un plazo máximo de una semana. En el momento de la devolución se discutieron las dudas y/o dificultades surgidas durante la realización de los ejercicios.



FIGURA 1. Estudiantes de Física II trabajando con tutoriales.

La CDI implementada fue la de campo electrostático, fuerza electrostática y potencial electrostático, extraída y traducida del libro *Interactive Lecture Demonstrations* (Sokoloff y Thornton, 2004), que se incluye en el Anexo 1. Esta clase se desarrolló luego de aplicar los tutoriales y se pensó como una actividad de consolidación y repaso de conceptos ya vistos en las clases teóricas tradicionales. La CDI se realizó durante una clase teórica tradicional de Física II, en la que participaban los estudiantes del grupo experimental. Cada uno contaba con las hojas de predicción y resultados. La metodología utilizada fue la de los 8 pasos (ver Tabla I) exceptuando el paso 1, ya que esta CDI no involucra una demostración en vivo, sino que comienza discutiendo las situaciones problemáticas planteadas en la hoja de predicciones.

Para evaluar la efectividad de las actividades desarrolladas suministramos en modo pre- y post-test a cada grupo el CSEM (Maloney y Otros, 2001). Esta encuesta consta de 32 preguntas de opción múltiple, pero para nuestra evaluación sólo tomamos las 20 primeras preguntas, que agrupan los conceptos trabajados con TFI y CDI. Las áreas conceptuales evaluadas con el CSEM modificado fueron:

- Distribución de carga en conductores y aislantes (preguntas 1, 2, 13).
- Ley de Coulomb (preguntas 3, 4, 5).
- Tercera ley de Newton (preguntas 4, 5, 7).
- Superposición de fuerzas y campo eléctrico (preguntas 6, 8, 9).
- Fuerza causada por un campo eléctrico (preguntas 10, 11, 12, 15, 19, 20).
- Trabajo, potencial eléctrico, campo y fuerza (preguntas 11, 16, 17, 18, 19, 20).

- Carga inducida y campo eléctrico (preguntas 13, 14).

Los resultados obtenidos por pregunta para ambos grupos se muestran en las figuras 2 y 3. Las últimas columnas de la derecha (P) corresponden a los valores medios obtenidos en pre- y post-test.

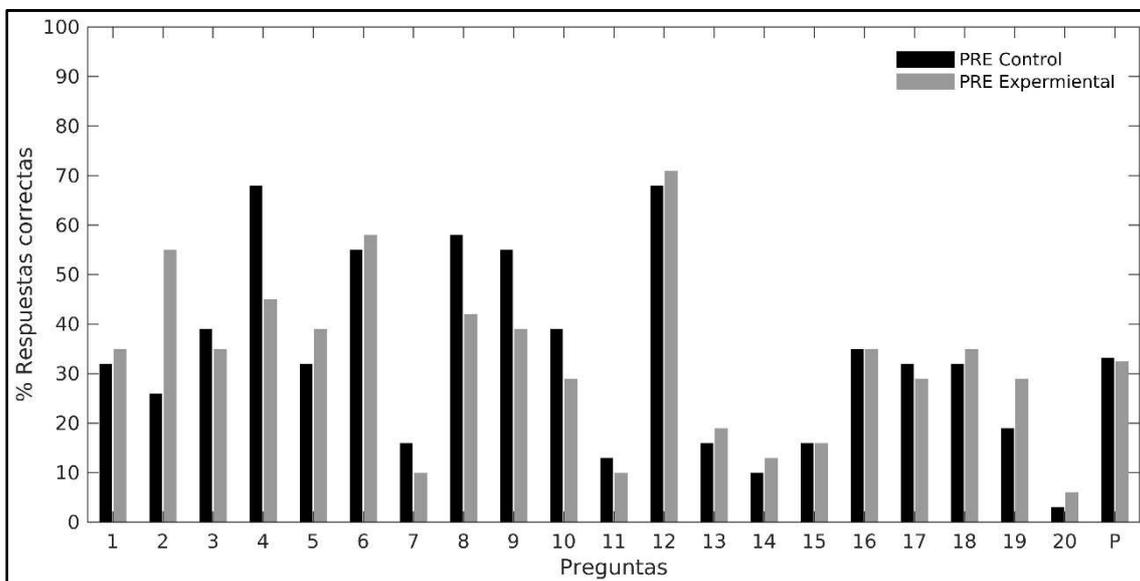


FIGURA 2. Resultados pre-instrucción obtenidos del CSEM modificado. Las barras negras corresponden al grupo control (enseñanza tradicional) y las grises al grupo experimental (aprendizaje activo). Las últimas barras a la derecha (P) corresponden a los valores promedio.

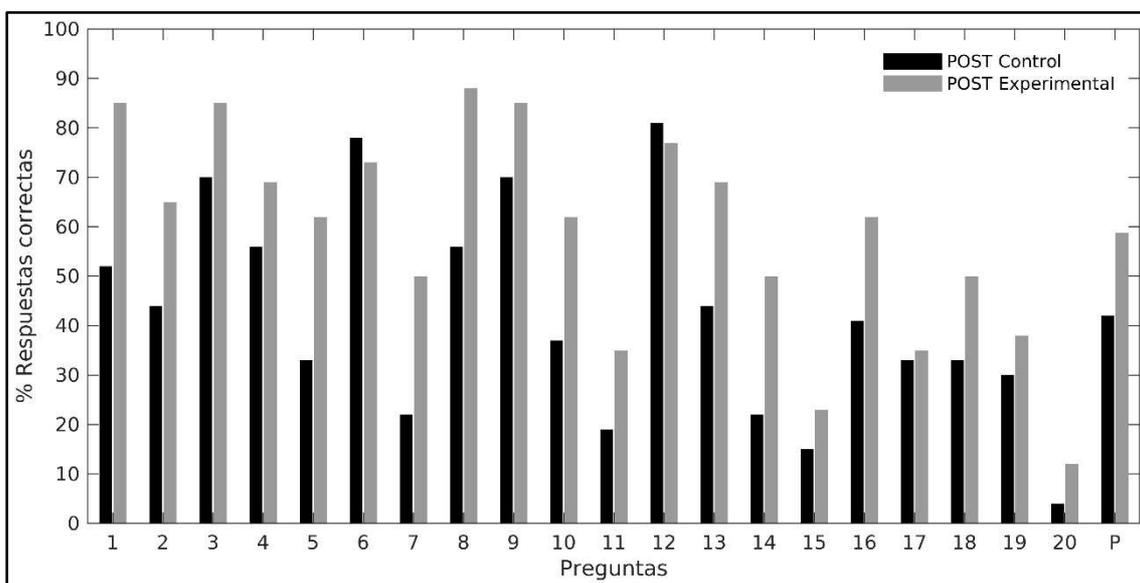


FIGURA 3. Resultados post-instrucción obtenidos del CSEM modificado. Las barras negras corresponden al grupo control (enseñanza tradicional) y las grises al grupo experimental (aprendizaje activo). Las últimas barras a la derecha (P) corresponden a los valores promedio.

En la tabla I presentamos los resultados de los promedios pre- y post-instrucción para el grupo control y experimental junto con el factor de Hake, $h = (\%post - \%pre) / (100 - \%pre)$. Para métodos de enseñanza basados en aprendizaje activo se esperan factores h bastante superiores a los obtenidos con enseñanza tradicional. En promedio se espera obtener un valor de alrededor de 0,16 con enseñanza tradicional y de entre 0,35 y 0,41 con diferentes métodos de aprendizaje activo (Redish, 1999).

TABLA I. Promedios pre- y post-instrucción y factores de Hake, h, para cada grupo.

Grupo	Promedio pre-test (%)	Promedio post-test (%)	Factor de Hake(h)
Control	33,2	42,0	0,13
Experimental	32,5	58,8	0,39

IV. CONCLUSIONES

Los resultados presentados permiten validar las conclusiones ya existentes en la literatura, acerca de que la implementación de TFI y CDI como métodos de aprendizaje activo de la física permiten mejorar el aprendizaje conceptual de los estudiantes en comparación a la enseñanza tradicional. Cabe resaltar los siguientes aspectos de las experiencias presentadas en este trabajo: (a) se logró un avance comparativamente significativo en la comprensión conceptual de los estudiantes que trabajaron con las metodologías activas, las cuales se realizaron en un entorno de trabajo que complementó las clases expositivas tradicionales y cerradas por discusiones grupales abiertas y guiadas en torno a los conceptos bajo estudio; (b) las estrategias activas se mostraron como una herramienta flexible y versátil para complementar las clases tradicionales de Física II, promoviendo un cambio apreciable en la organización de la cátedra que involucra adoptar estas metodologías de forma permanente para los próximos cursos con todos los estudiantes que cursen la misma; (c) si bien hay ítems del post-test que no mostraron los resultados esperados (preguntas 15 y 20) los resultados globales obtenidos con las metodologías activas también se reflejaron en las clases de resolución de problemas, donde el nivel de las preguntas y discusiones generadas con los estudiantes del grupo experimental fueron altamente gratificantes para el grupo de docentes involucrados en este trabajo, mostrando un grado mayor de entendimiento de los temas trabajados en los problemas. Por último, queremos resaltar que el cambio de rol de los docentes que implica la utilización de estas metodologías obligó a romper con ciertos estereotipos de la estructura clásica de la cátedra, dando un ímpetu renovado a la tarea docente.

REFERENCIAS

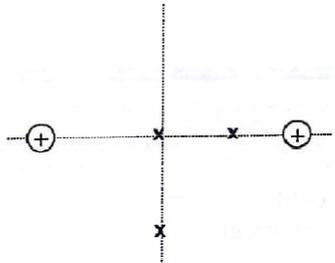
- CEA. (2018). Nuestra graduación universitaria es escasa. *Boletín Centro de Estudios de la Educación Argentina, Universidad de Belgrano*.7(70).
http://repositorio.ub.edu.ar/bitstream/handle/123456789/8676/cea_junio_2018.pdf
- Sarmiento, L., y Budini, N. (2016). Experiencia en el laboratorio: estimación de ϵ_0 utilizando un método visual para determinar la curva de mejor ajuste. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28 (Extra), 155-161.
- Sarmiento, L., y Budini, N. (2017). Utilización de tutoriales en trabajos prácticos de laboratorio: experiencia y evaluación de un tutorial de electrostática. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29 (Extra), 297-304.
- McDermott L. C., Shaffer P. S. (2001). *Tutoriales para Física Introductoria*. Buenos Aires: Prentice Hall.
- Sokoloff D. R., Thornton R. K. (2004). *Interactive Lecture Demonstrations – Active Learning in Introductory Physics*. Hoboken, New Jersey: Wiley and Sons.
- Maloney, D. P., O'kuma, T. L., Hieggelke, C. J., y Van Heuvelen, A. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 69(7), 12-23.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six - thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.
- Schunk Dale, H. (2012). *Teorías del aprendizaje. Una perspectiva educativa*, sexta edición. México: Pearson Educación.
- Sokoloff, D., Laws, P., Zavala, G., (2010). *Aprendizaje activo de la física III, electricidad y magnetismo: manual de entrenamiento*. San Luis: UNSL.
- Redish, E. F., Steinberg R. N., (1999). Teaching Physics: Figuring Out What Works. *Physics Today* 52(1), 24-30.

Anexo 1: Clase demostrativa interactiva utilizada en el aula con los alumnos de Física II.

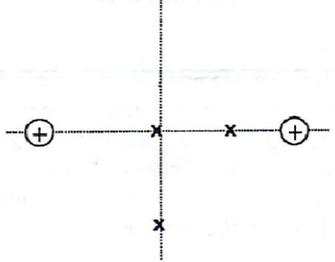
Clase Demostrativa Interactiva – Física II

Hoja de Predicciones – Campo Electrostático, Fuerza Electrostática y Potencial Electrostático

Demostración 1: Dos cargas puntuales positivas idénticas están ubicadas como se muestra en la figura de la derecha. Dibuje una flecha para indicar la dirección del campo eléctrico en cada uno de los puntos indicados con 'x'.

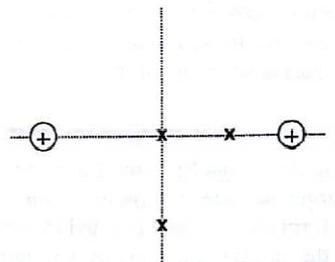


Demostración 2: Imagine que ubica una pequeña carga de prueba positiva en uno de los puntos indicados con 'x' en la figura de la derecha. Dibuje una flecha para indicar la dirección de la fuerza electrostática sobre la carga de prueba. Repita el mismo proceso para los restantes puntos indicados con 'x'.

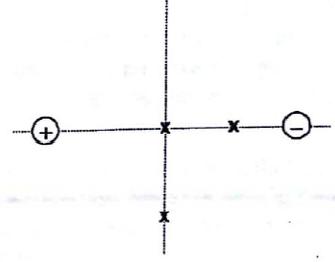


Demostración 3: Asuma que el valor del potencial electrostático es cero infinitamente lejos de cualquier carga puntual. En cada 'x' en la figura de la derecha indique con un símbolo (+, - o 0) si el potencial electrostático es positivo, negativo o cero.

¿En qué 'x' una carga de prueba tendría la mayor energía potencial electrostática? ¿Cómo sabe que es así?

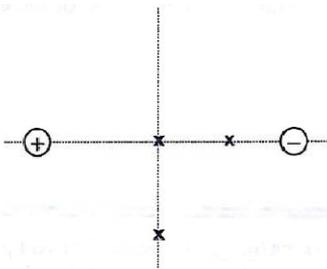


Demostración 4: Una carga positiva y una carga negativa de igual magnitud se ubican como se muestra en la figura de la derecha. Dibuje una flecha para indicar la dirección del campo eléctrico en cada uno de los puntos indicados con 'x'.



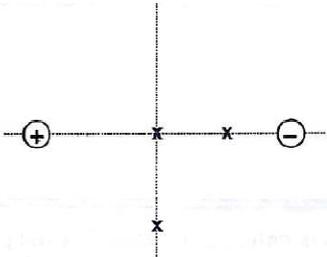
CDI Física II

Demostración 5: Imagine que ubica una pequeña carga de prueba positiva en una de las 'x' de la figura de la derecha. Dibuje una flecha para indicar la dirección de la fuerza electrostática sobre dicha carga de prueba. Repita el mismo proceso para los restantes puntos indicados con 'x'.



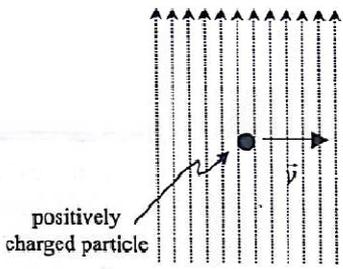
Demostración 6: Asuma que el valor del potencial electrostático es cero infinitamente lejos de cualquier carga puntual. En cada 'x' en la figura de la derecha indique con un símbolo (+, - o 0) si el potencial electrostático es positivo, negativo o cero.

¿En qué 'x' una carga de prueba tendría la mayor energía potencial electrostática?



Demostración 7: En la figura de la derecha, una partícula cargada *positivamente* está moviéndose inicialmente hacia la derecha a través de un campo eléctrico uniforme que apunta hacia la parte superior de la página.

En este instante, dibuje una flecha para indicar la dirección de la fuerza que actúa sobre la partícula.



Demostración 8: En la figura de la derecha, una partícula cargada *negativamente* está moviéndose inicialmente hacia la derecha a través de un campo eléctrico uniforme que apunta hacia la parte superior de la página.

En este instante, dibuje una flecha para indicar la dirección de la fuerza que actúa sobre la partícula.

