

# El modelo TPACK como encuadre para enseñar electrostática con simulaciones



**García, Daiana; Domínguez, Alejandra; Stipcich, Silvia**

*ECienTec, Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, calle Arroyo Seco S/N, Buenos Aires, Argentina.*

**E-mail:** [dgarcia@alumnos.exa.unicen.edu.ar](mailto:dgarcia@alumnos.exa.unicen.edu.ar)

(Recibido el 27 de Septiembre de 2013, aceptado el 11 de Febrero de 2014)

## Resumen

Esta comunicación es parte de un trabajo de investigación más amplio que aspira a contribuir en el análisis y reflexión de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la ciencia cuando se incorporan estas tecnologías. Las nuevas tecnologías entre las que se destacan los software educativos constituyen una herramienta valiosa, si son acompañadas por una propuesta didáctica especialmente diseñada. Se presenta una revisión de artículos de investigación que abordan la enseñanza y el aprendizaje de la electrostática. Asimismo, se analizan recursos tics disponibles en la web con miras a integrarlos en la enseñanza del mencionado contenido, tomando como referencia el marco interpretativo de la TPACK (Conocimiento del Contenido Pedagógico Tecnológico). Este desarrollo permite reconocer qué es lo que los profesores deben saber y saber hacer cuando incorporan tecnologías a sus propuestas de clases. Se considera el conocimiento disciplinar, tecnológico y pedagógico por separado y las nuevas formas de conocimiento resultantes de las interacciones entre ellos.

**Palabras clave:** Electrostática, Enseñanza, Nuevas Tecnologías, TPACK.

## Abstract

New technologies, particularly educational software, are a valuable tool, if they are accompanied by a didactic proposal specially designed. This communication is part of a broader research project that aims to contribute to the analysis and reflection on the teaching and learning of science when these technologies are incorporated. It conducts a review of research articles that address the teaching and learning of electrostatics. We also analyze tics resources available on the web in order to integrate them in teaching that content, by reference to the interpretative framework of TPACK (Technological pedagogical content knowledge). This development allows us to recognize that what teachers should know and be able to do when their proposals incorporate technologies class. It is considered disciplinary knowledge, technological and pedagogical separately and new forms of knowledge resulting from interactions between them.

**Key words:** Electrostatic, Education, New Technology, TPACK.

**PACS:** 01.40.gb, 01.40.Fk

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCCIÓN

La comprensión de los principios básicos de la Física es, en lo relacionado con el aprendizaje de las ciencias, uno de los objetivos que busca el profesor en el interior del aula. Sin embargo, a menudo los estudiantes presentan una incompleta apropiación de los conceptos elementales ya que, en la mayoría de los casos, los mismos quedan en una explicación teórica tan abstracta y alejada de la realidad que carece de interés para ellos.

Actualmente, algunos autores [1, 2, 3, 4, 5] se proponen atender este obstáculo con la incorporación de las nuevas tecnologías en el proceso de enseñanza. Mediante software de simulación, es posible crear un espacio de representación de estos conceptos y a su vez permitir al alumno sumergirse en esta nueva realidad e interactuar con ella, logrando una comprensión a partir de los efectos de su propia manipulación.

Tal y como ocurre en otros campos conceptuales, el aprendizaje de la electrostática presenta grandes dificultades a los alumnos debido a la abstracción que implican, por ejemplo, las nociones de carga, de campo y potencial eléctrico; entre otros. Trabajos que versan sobre el aprendizaje de dichos conceptos [6, 7, 8, 9, 10] dan a conocer que los estudiantes tienen serias dificultades en la utilización del concepto de campo y en su aplicación en situaciones de electrostática, donde deben utilizar nociones básicas de la teoría, como: el principio de superposición, considerar qué papel juega el medio, el concepto de campo-interacción, etc. Se agrega que la imposibilidad de trabajar éstos conceptos mediante experiencias de laboratorio genera una brecha aun mayor con la realidad.

Tomando como base diferentes trabajos de investigación [9, 12, 13, 14], en los cuales se evalúan las dificultades con las que se encuentra el profesor a la hora de

enseñar Electrostática, se pueden reconocer dos aspectos diferentes:

*Procedimentales:* dificultades relacionadas con la metodología de trabajo de los alumnos, estrategias de resolución de problemas, obstáculos matemáticos, entre otros. Algunos ejemplos:

- Intentan aplicar un algoritmo en la solución de un problema, sin tener en cuenta un análisis previo del mismo, lo cual les genera dificultades en procesos matemáticos sencillos, y provoca gran inseguridad.
- Muestran escasa comprensión del problema, probablemente a causa de una lectura superficial del mismo.
- Desean resolver el problema sin plantear un esquema del mismo e intentan soluciones mentales que los aleja de un proceso lógico.
- Poseen grandes dificultades para realizar despejes en expresiones matemáticas.
- Ponen gran énfasis en cálculos matemáticos.

*Conceptuales:* dificultades relacionadas con la comprensión del contenido. Por ejemplo:

- Reconocen que los cuerpos se pueden cargar por fricción pero no reconocen cómo.
- Explican de la misma forma las diferentes interacciones. Para ellos no existe diferencia entre atracción eléctrica y atracción magnética.
- Saben que “cargas iguales se repelen y contrarias se atraen” aunque no explican bien su procedencia.
- Entienden que dos cargas de diferente magnitud pueden “sentir” fuerza y la de mayor carga experimentará mayor fuerza que la de menor valor.
- Explican varios fenómenos electrostáticos, de polarización o de carga por inducción con “energía”. Para una gran mayoría de alumnos la carga eléctrica es equivalente a la energía.
- Saben de la existencia de partículas “elementales” en el átomo: electrones, protones y neutrones. Sin embargo, para ellos, los protones se pueden desplazar al igual que los electrones. No asimilan la idea de un núcleo.
- No reconocen la naturaleza neutra de la materia.
- Cuando representan un esquema donde se muestra un objeto cargado con el símbolo más (+) y/o el símbolo menos (-) implica que los protones están en el positivo y los electrones en el negativo.
- Presentan dificultades en la comprensión del concepto de campo eléctrico.
- Conocen la Ley de conservación de la carga pero no la ponen en práctica, creyendo, por ejemplo, que cuando un objeto se carga es porque ésta se ha creado.
- Fundamentan sus nociones previas en la vida cotidiana y muchas veces no son coherentes con el cuerpo de conocimiento de la disciplina.
- Se encuentra un reconocimiento generalizado de la existencia de cargas, pero no de su organización o comportamiento.

- Sus explicaciones se fundamentan principalmente en la utilización de premisas universales que adoptan memorísticamente y sin tener una base conceptual coherente con la teoría formal.
- Los estudiantes no explicitan causalidad y se observa la ausencia de un análisis formal y consistente.

*¿Por qué utilizar simulaciones en las clases de electrostática?*

La electrostática es un área en la que resulta difícil realizar algunas experiencias en el aula. Particularmente aquellas en las que aparecen distribuciones uniformes de carga, o sistemas de cargas aisladas. El problema no reside sólo en la imposibilidad práctica de conformar esos sistemas, sino en la medición del campo eléctrico y el potencial, dado que cualquier instrumento que se introduzca provoca grandes variaciones de las magnitudes, además de tener en cuenta el contexto de aula.

*Una posibilidad que se puede plantear es la de utilizar simulaciones computacionales. Esto permite una mayor flexibilidad para definir el sistema y una incomparable ventaja en cuanto a la obtención de resultados numéricos y gráficos. Como contrapartida podría argumentarse sobre la “artificialidad” del sistema, lo cual constituye siempre la limitación de estas herramientas didácticas. Sin embargo, existen ya muchas pruebas de la eficacia de las simulaciones para la enseñanza, y de la aceptación que esta herramienta tiene entre los alumnos [15].*

Las simulaciones no pretenden suplantar las experiencias reales, siempre más ricas en variedad y resultados, sólo constituyen una herramienta de aprendizaje como puede serlo un libro, un apunte o una guía de problemas, y además revisten características propias. Éstas posibilitan la visualización de gráficos que ayudan a formar una imagen más completa de la situación, producen un efecto de motivación en los alumnos y los acerca aún más a una herramienta de trabajo, que es la computadora, indispensable en nuestros días.

Las distintas herramientas utilizadas en el proceso de estudio y construcción del conocimiento condicionan formas de pensamiento diferentes. Así como la regla y el compás fueron los elementos utilizados por los griegos para desarrollar la geometría, hoy la computadora ofrece numerosas posibilidades como herramienta cognitiva, pero es necesario, para aprovecharla correctamente, un análisis adecuado.

Un problema que se observa en muchas situaciones de la Física es la necesidad de utilizar modelos que simplifican la realidad para poder resolver problemas concretos. En este caso, las dificultades matemáticas del cálculo llevan a resolver situaciones que por su simetría facilitan las mismas. Es así que los alumnos pierden muchas veces una visión más completa de la situación, problema que podría abordarse mediante una simulación.

La utilización de la simulación computacional, aprovechando la enorme capacidad de cálculo y las posibilidades gráficas de esta herramienta tecnológica, podría ser de gran utilidad para ampliar el radio de acción del estudio de fenómenos físicos: calcular donde resulte difícil y tedioso hacerlo mediante los métodos tradicionales, y simular los fenómenos donde la experimentación sea inaccesible.

Las simulaciones proveen una representación interactiva de la realidad que permite a los estudiantes probar y descubrir cómo funciona o cómo se comporta un fenómeno, qué lo afecta y qué impacto tiene sobre otros fenómenos. El uso de este tipo de herramienta educativa alienta al estudiante para que manipule un modelo de la realidad y logre la comprensión de los efectos de su manipulación mediante un proceso de ensayo-error.

Las simulaciones computacionales tienen una popularidad creciente y ello obedece a las siguientes cualidades [4]:

- Seguridad: Algunas actividades son tan peligrosas que no serían éticamente posibles sin simulaciones.
- Economía: Es mucho menos costoso producir un modelo digital que construirlo. Se puede evaluar el modelo en una serie de simulaciones antes de construir y probar un prototipo físico.
- Proyección: Una simulación por computadora puede servir como máquina del tiempo para explorar uno o más futuros posibles.
- Visualización: Los modelos por computadora hacen posible la visualización, y ésta permite ver y comprender relaciones que de otra manera podrían pasar inadvertidas.
- Replicación: En el mundo real sería difícil o imposible repetir un proyecto de investigación en condiciones ligeramente diferentes. Si la investigación se lleva a cabo en un modelo por computadora la replicación sólo implica cambiar los valores de entrada y ejecutar otra simulación.

A su vez, es importante destacar que en Internet se encuentran disponibles gran cantidad de simulaciones que se pueden utilizar con fines educativos, en la mayoría de los casos sin costo.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que el uso de simulaciones en la enseñanza de la Física, y de interfases conectadas a las computadoras como placas de adquisición de datos, requieren de un soporte pedagógico sustantivo para cumplir su finalidad educativa. Por sí solas no promueven aprendizajes, pero junto a propuestas didácticas basadas en los conceptos más nuevos de la pedagogía posibilitan el desarrollo de niveles de comprensión más profundos, y de las competencias necesarias tal como se expresa en [16].

Este aspecto es de vital importancia a la hora de tomar la decisión de utilizar nuevas tecnologías en el aula, ya que la simulación por sí sola no genera conocimiento. El rol del profesor en la planificación y el diseño de actividades es un aspecto fundamental. Se deben definir claramente cuáles son los objetivos que se proponen, cuáles serán las ventajas

que las simulaciones brindan por sobre otras herramientas y, fundamentalmente, cuáles son las dificultades que podrían surgir, para no transformar una herramienta valiosa en un obstáculo para el aprendizaje.

## **II. EL TPACK COMO MODELO PARA PLANEAR LA ENSEÑANZA DE LA ELECTROSTATICA CON TECNOLOGIA**

Los procesos de enseñanza y el de aprendizaje se entienden como una construcción que resulta de la conjunción del alumno, el profesor y el contexto en el cual tiene lugar la interacción entre ambos. Se concibe al alumno como un sujeto cognoscente activo, con estructuras mentales preexistentes construidas como resultado de sus experiencias previas, tanto en el ámbito educativo, como en el ámbito general. Se entiende que el profesor es quien posee el conocimiento profesional, resultante de la integración de los diferentes saberes disciplinares, didácticos, psicológicos, epistemológicos, tecnológicos, como así también de su propia experiencia personal; necesarios para dar sentido a la práctica educativa. Dicha interacción tiene lugar en un contexto social, en el cual alumno y profesor desarrollan un continuo proceso de negociación en donde se comparten y construyen significados.

La incorporación de las nuevas tecnologías en el ámbito educativo propone una forma diferente de interacción entre los actores, y la necesidad de replantear el rol de cada uno de ellos en este proceso. Esto lleva a pensar en cuál será el papel que debería desempeñar el profesor en esta nueva incorporación.

Un marco teórico que busca identificar aspectos fundamentales del conocimiento que los profesores necesitan para la integración de la tecnología en el aula es el modelo TPACK, [17].

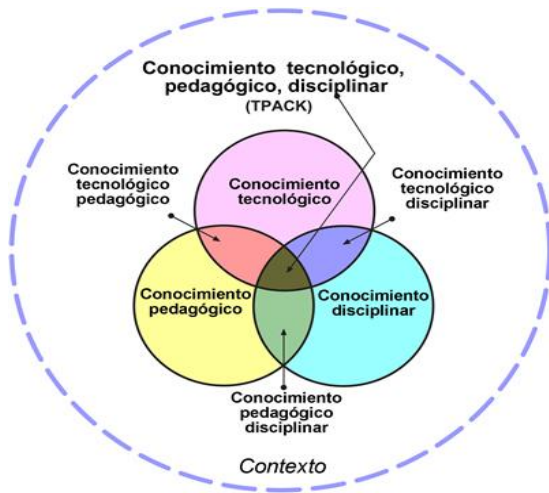
Sostienen que un uso adecuado de la tecnología en la enseñanza requiere del desarrollo de un conocimiento complejo y contextualizado que denominan *Conocimiento tecnológico pedagógico disciplinar* (TPACK acrónimo para Technological pedagogical content knowledge). Consideran, además de los conocimientos disciplinar, pedagógico y tecnológico por separado, los conocimientos resultantes que se generan de las intersecciones entre ellos. (Figura 1).

### **A. Conocimiento Disciplinar**

El conocimiento disciplinar atiende, en este caso, al saber de los contenidos de la Física que se van a enseñar y que los profesores deben conocer y comprender. Se compone de modelos, teorías, leyes, principios, conceptos y procedimientos propios de la disciplina. Por ejemplo: hay dos clases de cargas, cargas del mismo signo se repelen, modelo de acción a distancia para el cálculo de la fuerza electrostática empujando la ley de Coulomb, etc.

#### D. Conocimiento pedagógico-disciplinar

Al considerar la dimensión pedagógica y la disciplina en forma conjunta e integrada, se desarrolla un conocimiento particular denominado conocimiento *pedagógico-disciplinar*. Este conocimiento refiere a lo que el profesor pone en juego al enseñar un contenido disciplinar dado, reflexionando acerca de cómo sus alumnos construyen conocimiento, cuáles son sus concepciones alternativas, y cómo se planea la enseñanza (organización, secuenciación y evaluación en base a ello). Esta intersección abarca estrategias de enseñanza que incorporan representaciones conceptuales precisas que tengan en cuenta las dificultades de aprendizaje y promuevan una comprensión de los saberes. (Figura 2)



**FIGURA 1.** Conocimiento tecnológico, pedagógico disciplinar. Los tres círculos: conocimiento disciplinar, conocimiento pedagógico y conocimiento tecnológico, se superponen generando cuatro nuevas formas de contenido interrelacionado. Fuente: [18].

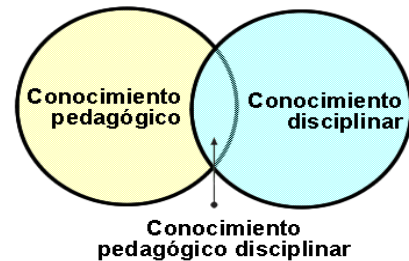
#### B. Conocimiento Pedagógico

El conocimiento pedagógico refiere al saber de los procesos, metodologías y prácticas de enseñanza y aprendizaje, así como los propósitos y metas de la enseñanza. Es el conocimiento que le permite al profesor comprender como sus alumnos construyen conocimiento, adquieren habilidades y desarrollan hábitos y disposición para el aprendizaje. Incluye también un manejo u organización de la dinámica del aula e implementación de propuestas pedagógicas y la evaluación de las mismas. Por ejemplo, cuando se habla de la carga de una partícula adquieren el hábito de decir que la misma es positiva o es negativa desestimando que la carga de una partícula atiende al signo y a una cantidad que la representa.

#### C. Conocimiento Tecnológico

El conocimiento tecnológico refiere a dos aspectos, por un lado, las tecnologías tradicionales y por otro, las tecnologías avanzadas. Dentro de las primeras se pueden identificar libros, pizarrones, tiza, etc. Las segundas, incluyen internet y sus aplicaciones, dispositivos digitales, etc. Este conocimiento incluye las habilidades que le permiten al profesor operar con esas tecnologías, entre otros, de qué manera utilizar herramientas informáticas, gestionar archivos, navegar en internet, utilizar el correo electrónico, etc. Estas habilidades deben estar acompañadas por una importante capacidad adaptativa del profesor, debido a los continuos cambios que caracterizan a las tecnologías.

Una verdadera integración de la tecnología a la enseñanza de un contenido disciplinar implica comprender las intersecciones de los tres saberes hasta aquí mencionados.

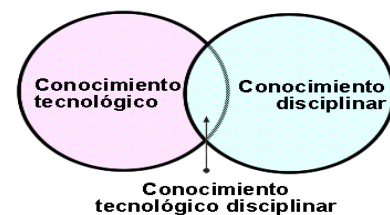


**FIGURA 2.** Conocimiento pedagógico disciplinar. Fuente: [18].

Por ejemplo, los estudiantes explican varios fenómenos electrostáticos empleando la noción de energía y no de carga. Esto tiene vinculación con el hecho de que construyen visiones sustancialistas de la materia que les resultan menos abstractas que conceptos como el de carga.

#### E. Conocimiento tecnológico-disciplinar

El conocimiento tecnológico-disciplinar, resulta de la integración de la tecnología con el saber disciplinar, que se influyen mutuamente, limitándose o potenciándose (Figura 3). Este saber incluye el conocimiento de qué tecnología es mejor para enseñar un determinado conocimiento disciplinar y cómo utilizarlas de manera efectiva para abordarlo. Los profesores deben saber de qué modo el contenido disciplinar es transformado por la aplicación de una tecnología y cómo el contenido a veces determina o cambia la tecnología a utilizar.



**FIGURA 3.** Conocimiento tecnológico disciplinar. Fuente: [18].

Por ejemplo, los profesores deben estar en condiciones de reconocer que cuando se trabaja con simulaciones en electrostática, la simulación de cargas que interactúan puede representarse más o menos análogo al modelo teórico

dependiendo de las restricciones que imponga el lenguaje de programación que se emplee. En ocasiones, dos cargas de igual signo se repelen alejándose pero quedan confinadas en la pantalla visible que ofrece la simulación. Sin embargo, en términos del modelo teórico deberían alejarse indefinidamente una de otra si es que son las dos únicas cargas en ese espacio.

### F. Conocimiento tecnológico-pedagógico

El conocimiento de la tecnología disponible, de sus componentes y su potencial para ser utilizada en contextos de enseñanza y de aprendizaje, y el conocimiento de cómo la enseñanza puede cambiar al utilizar una tecnología particular configuran el conocimiento tecnológico-pedagógico (Figura 4). Poseer este tipo de conocimiento implica tener herramientas para realizar determinadas tareas y la habilidad para elegir las en función de sus posibilidades de adaptación a contextos educativos, así como también contar con las estrategias pedagógicas que permitan aprovechar esas herramientas tecnológicas para la enseñanza y el aprendizaje.

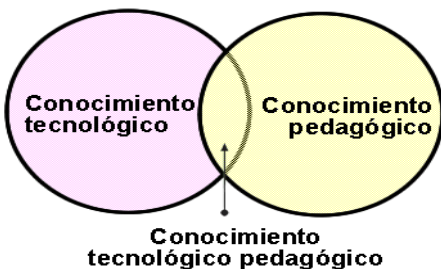


FIGURA 4. Conocimiento tecnológico pedagógico. Fuente: [18].

El núcleo de este modelo es la intersección de los tres tipos de conocimiento, que resulta en el conocimiento tecnológico-pedagógico-disciplinar y representa las complejas relaciones entre los tres tipos de conocimientos. Una verdadera integración de la tecnología requiere comprender y negociar la interrelación entre estos tres tipos de conocimiento. Un profesor capaz de negociar estas relaciones representa un saber experto diferente del de un experto disciplinar (un Físico), o de un experto en tecnología (un ingeniero en Sistemas) o un experto en pedagogía (un licenciado en Educación).

En particular, este trabajo buscará proyectar aspectos de este marco teórico a la enseñanza de la electrostática. Tomando como referencia el modelo, se presentarán algunas consideraciones que el profesor deberá atender para diseñar una propuesta didáctica que integre las nuevas tecnologías. Es decir, cuestiones pedagógicas, tecnológicas y disciplinares, así como la conjunción de tales consideraciones. Para ello se hará una revisión de la oferta de recursos de acceso libre disponibles en la web, y se caracterizarán, identificando posibles implicancias didácticas de los mismos.

### III. DISPONIBILIDAD DE RECURSOS EN LA WEB

A continuación se analiza un conjunto de recursos existentes en la web. Para la selección de los mismos se ha procedido incursionando en páginas de acceso libre. Fundamentalmente se ha procurado acceder a simulaciones de fenómenos electrostáticos poniendo énfasis en su posibilidad de incorporación didáctica a las clases de Física.

Este apartado no supone un análisis sistemático, sino más bien mostrativo. Se intentarán identificar cuáles de las potenciales ventajas de estas herramientas, mencionadas en la introducción, se identifican en los mismos. A su vez se analizará la importancia que podrían tener, por sobre otras herramientas educativas, en la búsqueda de una solución ante las dificultades de los estudiantes de nivel secundario.

Simulaciones:

- 1) <http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/usrn/lentiscal/2-CD-Fiisca-TIC/2-2Electrostatica/2-Electrostatica-Applets/EyVpq/EyVpq.htm>

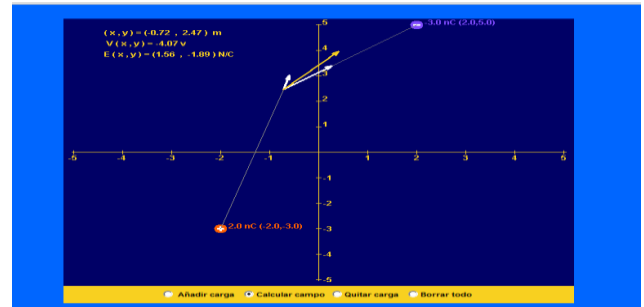


FIGURA 5. Simulación del campo eléctrico resultante cuando se colocan cargas eléctricas en diferentes coordenadas del eje cartesiano. Fuente: [19].

- 2) [http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asi\\_gnaturas/fisica/animaciones\\_files/cargas.swf](http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asi_gnaturas/fisica/animaciones_files/cargas.swf)

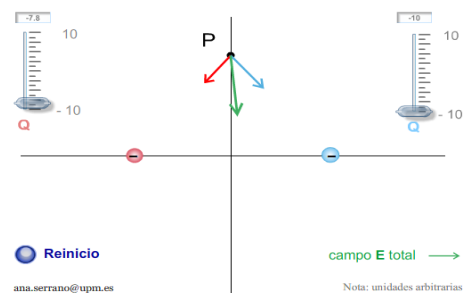


FIGURA 6. Simulación del campo eléctrico generado por dos cargas ubicadas en el eje x, en un punto P del espacio correspondiente al eje y. Fuente: [20].

Estos applets (Figuras 5 y 6) permiten que el alumno trabaje con cargas eléctricas sobre un eje cartesiano y observe el campo eléctrico resultante en diferentes puntos del mismo. El alumno podrá elegir el signo, el valor y la

ubicación de cada carga, y podrá crear los arreglos que desee. Al pulsar la opción “calcular campo”, el simulador realiza el cálculo del módulo y representa el vector resultante correspondiente y el vector de campo eléctrico propio para cada carga en ese punto. Estas consideraciones combinan el conocimiento disciplinar con el pedagógico en cuanto a lo que es esperable que se realice con la simulación. Por ejemplo, estar en condiciones de calcular el campo eléctrico en diferentes puntos del espacio.

La posibilidad de que el alumno establezca las características de las cargas y diferentes arreglos de las mismas, pudiendo generar variedad de situaciones por él mismo, lo convierte en una importante herramienta interactiva. A su vez permite sortear los obstáculos matemáticos que podría acarrear dicha actividad si se quisiera realizar en lápiz y papel, centrando el análisis ya no en los cálculos, sino en los conceptos físicos. El potencial de cálculo de la simulación colabora en la construcción de conocimiento escolar sobre la electrostática. Este aspecto se incluye en la intersección conocimiento tecnológico-disciplinar. El trabajo que podría desarrollarse con estos applets apunta fuertemente al carácter vectorial del campo eléctrico y a su condición de función de cada punto de un espacio. Aquí se evidencia aquello que quien va a hacer uso de la simulación reconoce como posible de aprovechar en sus clases (conocimiento pedagógico tecnológico).

- 3) <http://www.sc.edu/es/sbweb/fisica/electromagnet/electrico/cElectrico.html#Actividades>

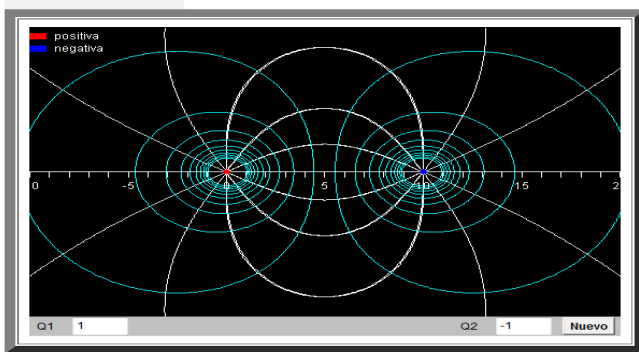


FIGURA 7. Simulación de las líneas de campo eléctrico generadas por dos cargas puntuales, ubicadas en un punto fijo del eje x. Fuente: [21].

A diferencia del applet anterior aquí la interactividad esperada de esta clase de herramientas es limitada. El alumno podrá modificar el signo y el valor de sólo dos cargas, limitándose a observar las consecuencias de esas modificaciones en las líneas de campo eléctrico y equipotenciales. El hecho de que la simulación sólo considere dos cargas (Figura 7), debería ser pensado por el docente para sortear el obstáculo de asociar campo siempre a dos cargas y no a tres o más. Estas consideraciones combinan lo que el applet permite, con las intencionalidades que el docente podría planear con una determinada actividad. De allí que, en términos de TPACK, se estaría en la intersección tecnológico-pedagógico.

Si bien la interactividad de esta herramienta no es amplia, podría ser de utilidad para que el alumno observe cualitativamente cuáles son las consecuencias de, por ejemplo, aumentar o disminuir el valor de la carga, cambiar el signo de una de ellas, trabajar con dos cargas iguales, analizar las zonas donde el campo es más o menos intenso, a partir de la densidad de líneas con diferentes arreglos, etc.

Es probable que, dependiendo de los conocimientos ya construidos sobre el tema, se haga necesario acompañar el trabajo de un conjunto de preguntas orientativas para conceptualizar lo que el gráfico presenta. Aquí estaría integrado el conocimiento pedagógico y el conocimiento disciplinar.

En el análisis anterior están presentes el conocimiento disciplinar, el conocimiento pedagógico y el conocimiento tecnológico de manera integrada, ya que, se consideran las limitaciones de la herramienta, las ventajas en lo que concierne al proceso de construcción del saber por parte del alumno al utilizarla y qué conocimiento se esperaría que construya como producto de esta interacción.

- 4) <http://www.xtec.cat/~ocasella/applets/elect/appletsol2.htm>

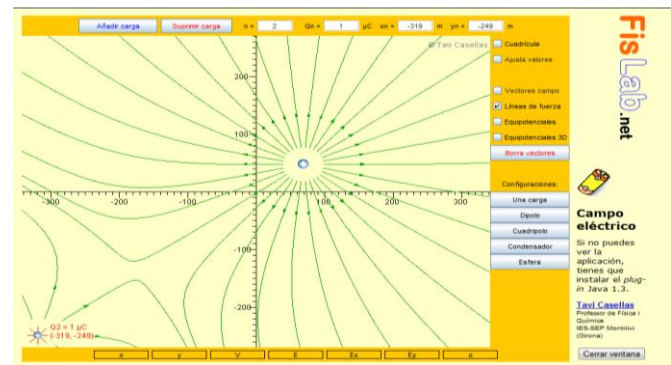


FIGURA 8. Simulación de las líneas de campo eléctrico generadas por cargas puntuales, ubicadas en cualquier coordenada del eje cartesiano. Fuente: [22].

- 5) <http://www.cco.caltech.edu/~phys1/java/phys1/EField/EField.html>

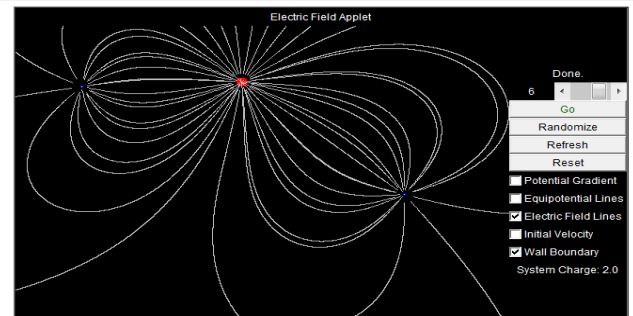
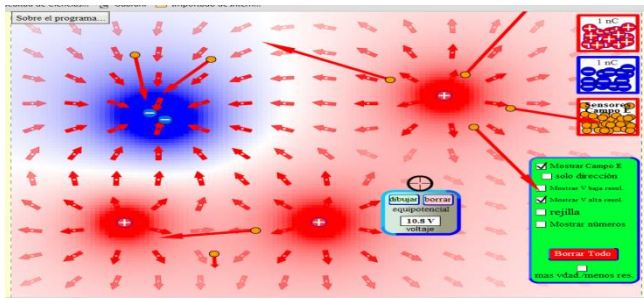


FIGURA 9. Simulación de las líneas de campo eléctrico generadas por tres cargas puntuales. Fuente: [23].

- 6) [http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields\\_es.html](http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_es.html)

El modelo TPACK como encuadre para enseñar electrostática con simulaciones estrategias didácticas serían potenciales ante un simulador con estas características.

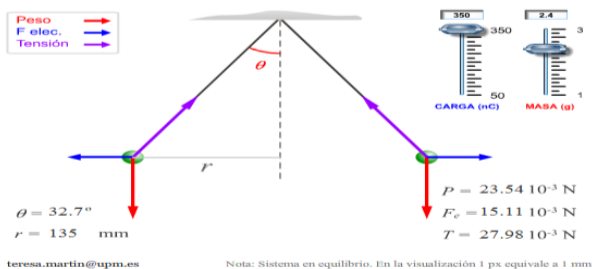


**FIGURA 10.** Simulación del campo eléctrico y regiones equipotenciales, para un arreglo determinado de cargas eléctricas. Fuente: [24].

Estos applets (Figura 8, 9 y 10) presentan varias de las características mencionadas en los dos ítems anteriores pero en un solo simulador. Permite que el alumno cree sus propios arreglos, al igual que en el primer applet, observe el campo eléctrico en diferentes puntos, y que observe las líneas de campo y las regiones equipotenciales, como ocurría en el segundo applet.

La cantidad de opciones manipulables traducidas en los comandos, requiere que se considere destinar un tiempo importante a que el alumno se familiarice con la herramienta, para que pueda reconocer y utilizar cada una de ellas de manera eficiente. Esta apreciación formaría parte del conocimiento tecnológico-pedagógico, ya que, se estaría considerando dedicar un tiempo a que el alumno se familiarice con la herramienta y de esta manera aprovechar al máximo la interactividad.

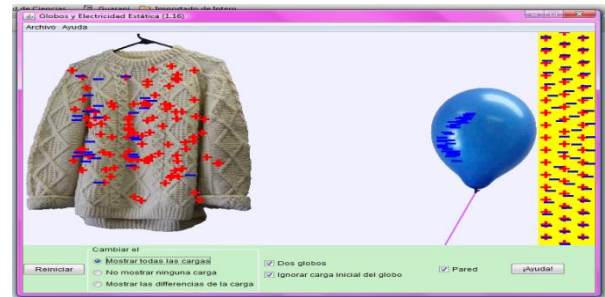
- 7) [http://acer.forestaes.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/animaciones\\_files/coulomb.swf](http://acer.forestaes.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/animaciones_files/coulomb.swf)



**FIGURA 11.** Simulación de dos cargas suspendidas de un hilo y representación vectorial de las fuerzas actuantes sobre cada una. Fuente: [25].

Esta simulación está orientada a un problema más específico. Modeliza un caso particular en el que dos cargas son suspendidas de un hilo, y vincula la fuerza de tensión, con la fuerza peso y la fuerza electrostática (Figura 11). Si bien no contribuye a la comprensión de los aspectos más importantes del campo en estudio, podría pensarse como una situación disparadora, que permita relacionar la fuerza gravitatoria con la fuerza electrostática y establecer diferencias y similitudes. De allí que, estaría presente el conocimiento pedagógico-tecnológico, al considerar qué

- 8) <http://phet.colorado.edu/en/simulations/translatad/es>



**FIGURA 12.** Simulación de la carga eléctrica de un globo, un sweater y una pared, en un proceso de electrización. Fuente: [26].

Esta simulación permite trabajar el fenómeno de electrización. La misma dispone de un sweater, un globo y una pared (Figura 12). El alumno podrá frotar el globo contra el sweater y observar la transferencia de carga, y posteriormente podrá analizar qué ocurre cuando se acerca el globo al sweater y a la pared. Otra opción permite incorporar un segundo globo, con las mismas aplicaciones que en la situación anterior, pero a su vez se puede incorporar al análisis lo que ocurre entre los globos.

Presenta tres alternativas interesantes. La primera permite observar las consecuencias de las acciones antes mencionadas pero, sin visualización del comportamiento de las cargas eléctricas, como ocurriría en una situación real. Otra opción permite visualizar solamente la diferencia de cargas, mostrando únicamente la carga neta de los objetos. La tercera permite visualizar todas las cargas, tanto la carga inicial de cada uno, como la carga que va adquiriendo.

Con esta herramienta se podrían atender algunas de las dificultades mencionadas en la introducción, como por ejemplo, que los alumnos no comprenden la electrización por fricción, suponen que los protones se desplazan al igual que los electrones, no reconocen la naturaleza neutra de la materia y no aplican la ley de conservación de la carga. A su vez, puede ser importante para trabajar tanto el principio de conservación de la carga, como el proceso de electrización y polarización. Si bien es una experiencia que podría realizarse en el aula para ver sus efectos, su importancia reside en que el alumno podrá apreciar una representación del comportamiento de las cargas, minimizando la abstracción que dicha actividad implica y cambiando una visualización estática, por otra dinámica del fenómeno. Permitirá construir una explicación microscópica de un fenómeno cotidiano a partir de principios electrostáticos. Al considerar estos aspectos se estaría nuevamente construyendo un conocimiento coherente con el TPACK, ya que se estaría pensando en orientaciones pedagógicas, teniendo en cuenta los contenidos involucrados y las características potenciales del applet para su construcción.

- 9) <http://phet.colorado.edu/en/simulations/translat-ed/es>

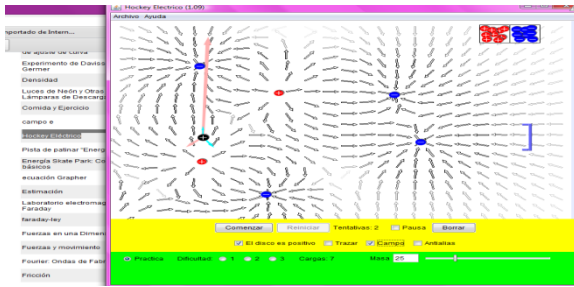


FIGURA 13. Simulación de un juego de hockey con cargas eléctricas. Fuente: [27].

Hockey eléctrico (Figura 13): este applet tiene el carácter de “juego”, en el cual se infiere que los alumnos podrán aplicar los conocimientos adquiridos sobre interacciones eléctricas y ley de Coulomb para poder llevarlo a cabo. Esta apreciación formaría parte del conocimiento pedagógico-disciplinar, ya que supone cuáles conocimientos previos debe poseer el alumno en su estructura cognitiva para poder resolver el problema propuesto en la simulación.

Permite observar el campo debido a cada carga y las fuerzas a la que está sometida. El alumno deberá crear los arreglos que crea convenientes para que el disco (carga positiva) ingrese en el arco. Aquí estaría presente el conocimiento tecnológico disciplinar, ya que, se espera que el alumno aplique sus conocimientos disciplinares, por ejemplo, que cargas de igual signo se repelen y cargas de signos opuestos se atraen, para luego crear con el simulador los arreglos que el permitan ganar el juego.

Esta simulación podría ser interesante para trabajar el principio de superposición y para enfatizar en la importancia de la distancia en la determinación de la fuerza. Su carácter de “juego”, puede ser importante para despertar el interés del alumno, sin embargo sería de esperar que una actividad diseñada para el trabajo con este applet haga explícitos los conceptos que los alumnos ponen en juego, y no simplemente se reduzca a su resolución.

Videos explicativos:

- 10) <http://senderospedagogicos.blogspot.com.ar/p/la-electrostatica.html>



FIGURA 14. Captura de pantalla de un video en donde se describen procesos de electrización. Fuente: [28].

- 11) <http://www.acienciasgalilei.com/videos/electrostatica.htm>



FIGURA 15. Captura de pantalla de una página web que ofrece variedad de videos referentes al campo de la electrostática. Fuente: [29].

Si bien estos sitios no contienen applets, presentan variedad de videos (Figura 14 y 15) con animaciones referentes al campo conceptual. Aunque no responden a la interactividad de la simulación, pueden considerarse como recursos auxiliares para una visualización dinámica de algunos aspectos de la electrostática. Aunque se aleja del propósito de este trabajo, pareció importante mencionar la disponibilidad de recursos audiovisuales ya que, pese a que aquí solo se proporcionan dos ejemplos, es numeroso el material disponible.

#### IV. CONCLUSIONES

Es importante que el profesor tenga conocimiento de las dificultades que los diferentes trabajos en investigación ponen de relieve sobre el aprendizaje de la electrostática, y que a su vez cuente con herramientas que permitan atenderlos. La incorporación de las nuevas tecnologías, con un trabajo previo de análisis y evaluación de la práctica, en las clases de ciencia, es una de ellas.

La revisión realizada, aunque acotada, ha demostrado que existe disponibilidad de recursos de acceso libre, de los cuales el profesor puede hacer uso y que, por sus características, podrían favorecer el proceso de construcción de conocimiento en este campo conceptual.

Su incorporación en el aula, particularmente en las clases de Física, no es en absoluto una actividad sencilla, sino que requiere un proceso de reestructuración del rol de los actores del proceso de enseñanza y aprendizaje, fundamentalmente en el rol del profesor que será encargado de llevar a cabo tal integración. Hemos hecho uso del modelo TPACK como un encuadre teórico que se ha mostrado de utilidad para el reconocimiento de los espacios que se generan al momento de combinar tecnología con disciplina y con pedagogía. La generación de cada espacio es también una forma de conocimiento que necesariamente debe ser considerada a la hora de planear la enseñanza de la



disciplina, la electrostática en este caso, con uso de tecnologías.

Es necesaria una práctica reflexiva por parte del profesor, ya que las simulaciones no dejan de ser una herramienta como el libro de texto, el laboratorio o el lápiz y papel. Estas adquieren realmente su importancia cuando son acompañadas de preguntas o problemas, diseñados estratégicamente teniendo en cuenta las consideraciones didácticas correspondientes.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que el laboratorio de informática se presenta como un escenario diferente al aula de clase y por lo tanto requiere de un proceso de adaptación. Las simulaciones se convierten en una nueva realidad para el alumno, que requerirá seguramente de un tiempo de familiarización, en el cual se dedique a “investigar” de qué trata, reconozca las variables y el modelo por detrás de la simulación, para luego centrarse en el objetivo de la actividad.

## V. REFERENCIAS

- [1] Massons, J., Camps, J., Cabre, R., Ruiz, X. y Diaz, F., *Electrostática y EAO: una experiencia de simulación*, Enseñanza de las Ciencias **11**, 179-183 (1993).
- [2] Culzoni, C., *Las nuevas tecnologías en la educación presencial, experiencias con simulación en física*, Congreso Interinstitucional de Tecnología Educativa (2003).
- [3] Barneto, A., Gil Martin, M., *Entornos constructivistas de aprendizaje basados en simulaciones informáticas*, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias **5**, 1-19 (2006).
- [4] Barco, H., *Simulación de cargas eléctricas en campos electrostáticos y magnéticos*, Trabajo de tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales (2007).
- [5] Pineda, L., Arrieta, X. y Delgado, M., *Tecnologías para la enseñanza de la física en educación superior*, Revista Electrónica de Estudios Telemáticos, Volumen 8, No 1 (2009).
- [6] Nardi, L. y Carvalho, A., *A genese, a psicogenese e a aprendizagem do conceito de campo: subsídios para a construação do ensino desse conceito*, Caderno Catarinense do Ensino de Física **7**, 46-69 (1990).
- [7] Solves, J. y Martin, J., *Análisis de la introducción del concepto de campo*, Revista Española de Física **5**, 34-39 (1991).
- [8] Viennot, L y Rainson, S., *Students' reasoning about the superposition of electric fields*, International Journal of Science Education **14**, 475-487 (1992).
- [9] Furió, C. y Guisasola, J., *Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de Campo y Potencial eléctrico*, Revista Española de Física **7**, 46-50 (1993).
- [10] Galili, L., *Mechanics background influences students' conceptions in electromagnetism*, International Journal of Science Education **17**, 371-387 (1995).
- [11] Furió, C. y Guisasola, J., *Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad*, Enseñanza de las Ciencias **16**, 131-146 (1998).
- [12] Criado, A., Cañal, P., *Obstáculos para aprender conceptos elementales de electrostática y propuestas educativas*, Investigación en la Escuela **47**, 53-62 (2002).
- [13] Homer, A. y Clavijo, N., *Ideas previas del estudiante sobre electrostática*, Revista Colombiana de Física **38**, No. 2 (2006).
- [14] Pereda Garcia, S. y López Mota, A., *Diseño de una estrategia didáctica para propiciar el cambio conceptual sobre electrostática en alumnos de secundaria*, Enseñanza de las Ciencias, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, 3421-3427 (2008).
- [15] Kofman, H. Mamprín, J., *Simulando campos y potenciales en dos y tres dimensiones para el aprendizaje en colaboración a nivel universitario*, Memorias del V Congreso Iberoamericano de Informática Educativa (RIBIE 2000 - Viña del Mar. Chile) (2000).
- [16] Perkins, D., *La escuela inteligente*, (Gedisa, España, 1997).
- [17] Koehler, M., Mishra P., *What happens when teachers design educational technology? The development of technological pedagogical content knowledge*, J. Educational Computing Research **32**, 131-152 (2005).
- [18] Página web < <http://www.tpack.org> >, consultada el 15junio 2012.
- [19] Página Web <[http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/usrn/lentiscal/2-CD-Fiisca-TIC/2\\_2Electrostatica/2-Electrostatica-Applets/EyVpq/EyVpq.htm](http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/usrn/lentiscal/2-CD-Fiisca-TIC/2_2Electrostatica/2-Electrostatica-Applets/EyVpq/EyVpq.htm)> consultada el 8 de enero 2013.
- [20] Página Web <[http://acer.forestaes.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/animaciones\\_files/cargas.swf](http://acer.forestaes.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/animaciones_files/cargas.swf)>, consultada 10 de enero 1013.
- [21] Página Web <<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/electrico/cElectrico.html#Actividades>>, consultada el 27 de diciembre 2012.
- [22] Página Web <<http://www.xtec.cat/~ocasella/applets/elect/appletsol2.htm>>, consultada el 27 de Diciembre de 2012.
- [23] Página Web <<http://www.cco.caltech.edu/~phys1/java/phys1/EField/EField.html>>, consultada el 13 de Diciembre 2012.
- [24] Página Web <[http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields\\_es.html](http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_es.html)>, consultada el 10 de Enero de 2013.
- [25] Página Web <[http://acer.forestaes.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/animaciones\\_files/coulomb.swf](http://acer.forestaes.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/animaciones_files/coulomb.swf)>, consultada el 8 de Enero 2013.
- [26] Página Web <<http://phet.colorado.edu/en/simulations/translated/es>>, consultada el 10 de Enero de 2013.

[27] Página Web

⟨<http://phet.colorado.edu/en/simulations/translated/es>⟩,  
consultada el 10 de Enero de 2013.

[28] Página Web

⟨<http://senderospedagogicos.blogspot.com.ar/p/la-electrostatica.html>⟩, consultada el 13 de Enero de 2013.

[29] Página Web

⟨<http://www.acienciasgalilei.com/videos/electroestatica.htm>⟩,  
consultada el 13 de Enero de 2013.