

Sofisticación epistémica en electrostática: un estudio de caso en alumnos universitarios.

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

María Andrea Perea¹, Laura María Buteler¹

¹ Instituto de Física Enrique Gaviola, Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba y CONICET Medina Allende y Haya de la Torre. Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina.

E-mail: andreaperea77@gmail.com

Resumen

Se presenta un estudio de caso en el cual se analizan las habilidades epistémicas de tres estudiantes universitarios resolviendo un problema de electrostática por segunda vez. Empleamos el marco teórico de los Recursos Cognitivos. Éste asume que las tareas cognitivas que realizan los estudiantes se enmarcan epistémicamente mediante la activación de determinados recursos epistémicos. Los resultados evidencian que estos estudiantes universitarios ya poseen sofisticación epistémica, lo cual es una clara componente de experticia. Esto no va necesariamente de la mano con la obtención de un resultado correcto, sino con la disponibilidad y la activación de diversos recursos epistémicos que les resultan productivos para la actividad que se encuentran realizando.

Palabras clave: Recursos epistémicos, Recursos cognitivos, Sofisticación epistémica, Resolución de problemas en Física.

Abstract

A case study is presented in which we analyze three college students' epistemic skills when they are solving an electrostatic problem for the second time. We use the theoretical framework of Cognitive Resources. This assumes that cognitive tasks performed by students are epistemically framed by activating certain epistemic resources. The results show that these college students already possess epistemic sophistication, which is a clear trait of expertise. This does not necessarily go hand in hand with getting a correct result, but with the availability and activation of various epistemic resources that are productive for the activity they are doing.

Keywords: Epistemic resources, Cognitive resources, Epistemic sophistication, Problem solving in Physics.

I. INTRODUCCIÓN

Según varios investigadores en el área de la educación en Ciencias, las concepciones epistemológicas de los estudiantes, son primordiales para interpretar sus dificultades en el aprendizaje de los contenidos científicos (Salinas; Gil y Cudmani, 1995; Campanario y Otero, 2000; McComas, 2000; Staphoupoulou y Vosniadou, 2007; Wainmaier, Speltini y Salinas, 2011).

Si bien existe un acuerdo sobre la relevancia que tienen las concepciones epistemológicas en el aprendizaje, los trabajos que las toman como objeto de estudio se enfocan en diferentes aspectos de las mismas. Algunos de ellos indagan sobre las concepciones epistemológicas de los estudiantes y su relación con la comprensión conceptual que los mismos alcanzan (por ejemplo, Guridi, 1999; Wainmaier, 2003; Wainmaier et al., 2011). Tales investigaciones se enfocan en las características públicas de la epistemología, es decir, en la forma en la que se construyen y validan los conocimientos en la comunidad científica. Desde esta visión, el término concepciones epistemológicas es empleado para hacer referencia a las ideas sobre las Ciencias y sobre el conocimiento científico.

Por otro lado, Sandoval (2005) realiza una revisión exhaustiva en su trabajo sobre las diversas investigaciones realizadas en relación a las creencias de los estudiantes sobre la naturaleza de las Ciencias. Dicho autor denota que la capacidad de indagación de los estudiantes se encuentra guiada por las *epistemologías prácticas* de los mismos. Marca la diferencia entre *epistemología formal* y *epistemología práctica*. La primera concierne al conjunto de ideas sobre el conocimiento científico y su

producción que los estudiantes parecen tener sobre la ciencia profesional (formal). Mientras que la segunda se refiere al conjunto de ideas que los estudiantes poseen sobre su propia producción de conocimiento en la ciencia escolar (las creencias epistemológicas que guían la práctica). Sandoval (2005) considera que para la generalidad de las personas, estas epistemologías prácticas no son coherentes y son probablemente tácitas.

Elby y Hammer (2001) remarcan la importancia de tener en cuenta que las concepciones epistemológicas productivas -las que ayudan al estudiante a aprender- a veces difieren de las concepciones epistemológicas “correctas” expuestas por filósofos y científicos sociales. Estos sugieren que muchos de los conocimientos epistemológicos ingenuos consisten en *recursos epistemológicos* -frecuentemente implícitos, a menudo inarticulados- que pueden ser activados en diferentes combinaciones por diferentes contextos.

En algunos de sus trabajos, Elby y Hammer (2001 y 2002), se enfocan en estudiar las llamadas *epistemologías personales* de los estudiantes que se corresponden con las que Sandoval (2005) llama *epistemologías prácticas*. Estas *epistemologías personales* son justamente las que permiten a las personas establecer (ya sea implícita o explícitamente) cuál es el conocimiento adecuado para ser utilizado al abordar una situación particular. Dicho de otro modo, las *epistemologías personales* son las que habilitan al estudiante a dar respuesta a la pregunta tácita “¿de qué se trata esta actividad? ¿Qué se supone que tengo que hacer acá?” Esta perspectiva personal de las epistemologías, posibilita un mejor entendimiento de las tareas cognitivas que tienen lugar durante el aprendizaje, tales como la argumentación y la resolución de problemas (Coleoni y Buteler, 2012).

El presente trabajo se enfoca en las epistemologías personales de estudiantes universitarios. Se observan cuáles son los recursos epistemológicos que éstos utilizan durante la resolución de problemas de Física, cómo enmarcan epistemológicamente la tarea, y cuál es el grado de cambio en sus epistemologías personales. Este trabajo forma parte de uno más amplio que pretende develar cómo y cuándo los estudiantes de física desarrollan su dimensión epistémica durante la resolución de problemas.

II. MARCO TEÓRICO

El marco teórico que empleamos para analizar las epistemologías personales de los alumnos es el marco de los Recursos Cognitivos. Éste se basa en una combinación de resultados básicos seleccionados de la investigación educativa, de la neurociencia, y de la ciencia del comportamiento. Proporciona ontologías – clases de elementos estructurales y la manera en que estos se comportan- lo que permite un rango de estructuras posibles e interacciones construidas desde esos elementos. Este marco admite la creación de modelos descriptivos y fenomenológicos que conectan muchos resultados existentes tales como el de las concepciones alternativas y el enfoque de conocimiento en piezas, o el modelado cognitivo con el enfoque sociocultural. El marco de los recursos es un modelo tipo red, asociativo, con estructuras de control, y enlaces dinámicos (Bing y Redish, 2009).

Algunos de los componentes significativos de dicha estructura de control, los cuales sirven para modelar el uso de la matemática en la física por parte de los estudiantes, son los llamados *recursos epistemológicos* o *epistémicos*. Un *recurso epistémico* es un elemento que representa un paquete de información fuertemente agrupado que, cuando es activado, lleva al individuo a interpretar el conocimiento en cuestión bajo una cierta lente. Estos son dinámicos, es decir, que pueden ser activados y desactivados de un momento a otro. Varios autores (diSessa, 1993; Redish, 2004) han afirmado que las posturas epistémicas son múltiples y muy sensibles al contexto. Una prueba más de la naturaleza múltiple de las epistemologías de los estudiantes es la desconexión que suele haber entre cómo los estudiantes ven a la naturaleza de la ciencia formal, y cómo proceden para interpretar su propio trabajo en las clases de ciencias. Las posturas epistemológicas evolucionan de maneras complejas, en sentido de tiempo promedio, mientras los estudiantes avanzan en su educación.

Este modelo del pensamiento de los estudiantes incluye además un proceso por el cual el conjunto de todas las opciones posibles (conceptuales y epistemológicas) son reducidas a un tamaño manejable para ser consideradas por el individuo. Dicho proceso se llama *enmarque*. De acuerdo con Bing y Redish (2009), enmarcar se corresponde con la elección (usualmente inconsciente) que la mente hace respondiendo a la pregunta: ¿qué clase de actividad es la que tengo acá?

De acuerdo con Bing y Redish (2009), algunos de los grupos de enmarques que suelen realizar los estudiantes, y sus correspondientes recursos epistémicos dominantes, son los siguientes:

Cálculo. Seguir algorítmicamente un conjunto de cálculos establecidos debería llevar a un resultado confiable.

Mapeo Físico. Una representación matemática simbólica caracteriza fielmente alguna característica del sistema físico o geométrico que se está intentando representar.

Invocación de la autoridad. La información que proviene desde una fuente de autoridad es confiable.

Consistencia matemática. La matemática y las manipulaciones matemáticas son regulares, confiables y consistentes en diferentes situaciones.

Enmarcar es un proceso cognitivo dinámico. La mente de la persona hace un juicio inicial de acuerdo con la naturaleza de la situación en cuestión, pero ese juicio es continuamente actualizado y reevaluado. Todo el tiempo llega nueva información al estudiante ya sea en forma de un comentario de un compañero de clase, de una intervención del entrevistador, al dar vuelta la página de un libro, o incluso de asociaciones espontáneas al azar realizadas en su propio cerebro. Esta nueva información puede llevar al estudiante a re enmarcar su actividad. Cuando enmarcan y re enmarcan su actividad, se activan y desactivan diferentes elementos de su conocimiento matemático. A veces los enmarques de los estudiantes pueden mostrar una considerable resistencia al cambio. A medida que los estudiantes se vuelven más sofisticados y expertos, los autores suponen que se vuelven más flexibles en sus enmarques y aumenta la creación de enmarques híbridos (combinaciones de varios). En la siguiente tabla se muestran los cuatro enmarques mencionados por Bing y Redish (2009), y los indicadores primarios y secundarios que nos ayudan a identificarlos.

TABLA I. Cuatro enmarques comunes y sus indicadores.

	<i>Cálculo</i>	<i>Mapeo Físico</i>	<i>Invocación de la autoridad</i>	<i>Consistencia matemática</i>
Clase de argumento usado	Seguir correctamente pasos algorítmicos lleva a un resultado confiable.	El buen ajuste que existe entre las observaciones matemáticas o físicas da fe del resultado.	La afirmación por parte de la autoridad de un resultado o de una regla le da credibilidad.	La similitud o la conexión lógica con otra idea matemática ofrecen validación.
Otros indicadores comunes	Enfocar en la exactitud técnica.	Explicación a partir de un diagrama.	Citar una regla	Analogía con otra idea matemática.
	Encadenamiento matemático: se necesita esto para obtener aquello.	Gestos demostrativos. Razonamiento encadenado.	Ausencia de razonamiento encadenado. Poco reconocimiento de la subestructura.	Categorización.

La *sofisticación epistémica* existe cuando el sujeto es capaz de cambiar de enmarque durante la resolución -a la cual llamaremos sofisticación epistémica de menor grado- y/o mantener varios enmarques al mismo tiempo sin la necesidad de desestimar ninguno -lo cual denominaremos sofisticación epistémica de mayor grado- (Bing y Redish, 2012).

A la luz de este marco teórico, las preguntas que nos planteamos inicialmente pueden reescribirse de la siguiente manera: ¿Demuestran estos alumnos una sofisticación epistémica? ¿Cuál es el grado de sofisticación epistémica que muestran durante una segunda instancia en la resolución de un problema? ¿Existe un cambio entre el grado de sofisticación epistémica observada en la primera entrevista con la observada en la segunda? Estas preguntas forman parte de una investigación más amplia que intenta describir cómo cambia, si es que lo hace, la sofisticación epistémica de los estudiantes durante periodos completos de instrucción formal. El hecho de que exista un cambio en la sofisticación epistémica sería una clara componente de experticia, la cual no va necesariamente de la mano con la obtención de un resultado correcto sino con la disponibilidad y la activación de diversos recursos epistémicos que resultan productivos para la actividad que se encuentran realizando (Elby y Hammer, 2001 y 2002).

III. METODOLOGÍA

Los participantes de esta investigación son tres estudiantes (A, S y M) de segundo año de la Licenciatura en Física de una universidad pública de Argentina. Se les realizaron tres entrevistas de resolución de problemas¹ a lo largo de un cuatrimestre (este sería el período de instrucción formal en estudio), mientras se encontraban cursando la materia Física General III. En dicho curso estudian la Electricidad y el Magnetismo clásicos. Los conceptos que incluye el mismo se enseñan al nivel de los presentados en libros como el de Serway (1997) y el de Resnick, Halliday y Krane (1993). Al momento de la segunda entrevista, que es sobre la que trata este trabajo, ya habían transcurrido casi dos meses del cursado de la

¹ En las tres entrevistas realizadas los estudiantes tuvieron que resolver el mismo problema de física y en voz alta.

materia y habían rendido el primer parcial. En dicho parcial, se los evaluó sobre los conceptos correspondientes a Electroestática con la resolución de problemas correspondiente. Los estudiantes que participaron en el estudio lo hicieron de manera voluntaria, luego de haberse realizado la convocatoria a todo el grupo clase de dicha asignatura. Son alumnos con un desempeño académico promedio bueno.

La tarea consistió en la realización de un problema de electrostática (ver Fig. 1) en el que, para su resolución, el concepto central es el de Campo Eléctrico. Se incentivó a los estudiantes a discutir y analizar las respuestas que iban dando mientras resolvían el problema en voz alta. La intervención del entrevistador (al cual nos referiremos en los diálogos como E) se limitó a mantener y a orientar las discusiones cuando consideraba que era necesario. La entrevista se registró en formato audio-visual.

Problema 1

Una esfera sólida conductora descargada posee en su interior una cavidad concéntrica (también esférica).

- a) ¿Tiene alguna influencia el conductor sobre el campo eléctrico exterior a él generado por una carga puntual $+Q$ ubicada en el centro de su cavidad?
- b) Si la carga puntual ubicada en la cavidad no se encontrara justo en el centro de la misma ¿cuáles serían las respuestas del punto anterior?

FIGURA 1. El problema utilizado

Para poder contestar las preguntas que se hacen en el problema, los estudiantes deben entender primero cómo se distribuyen las cargas tanto en la superficie interior de la esfera como en la superficie exterior de la misma. Cuestión que les dificultó el camino en la búsqueda de una respuesta, puesto que no lograban convencerse de cómo era efectivamente esa distribución. Esto sucedió tanto en la primera como en la segunda entrevista. Dicho camino de búsqueda ha dado lugar a una valiosa fuente de información para poder entender sus razonamientos desde una perspectiva epistémica.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Primera entrevista

Esta primera entrevista fue realizada un mes después de que los alumnos habían comenzado con el cursado de Física General III. En ese momento, ya habían resuelto problemas de electrostática que involucran el concepto de Campo Eléctrico, pero todavía no habían sido evaluados. En este primer encuentro, observamos que los estudiantes (A, S y M) no presentaron dificultades para resolver la parte (a) del problema. No obstante, para poder responder la pregunta del apartado (b) querían determinar primero cómo resulta la distribución de cargas en la superficie interior y en la superficie exterior una vez que se ha corrido la carga. Los intentos por tratar de establecer cómo es efectivamente esa distribución provocaron varias discusiones. Les llevó bastante más tiempo que en el primer apartado, hasta que finalmente lograron arribar a una conclusión que consideraron “medianamente” satisfactoria.

En esta entrevista, los estudiantes mostraron ser capaces de recurrir a diferentes recursos epistémicos (aunque no al mismo tiempo), lo cual es una muestra de una sofisticación epistémica de grado bajo. En este caso los recursos empleados fueron el de mapeo físico y el de invocación a la autoridad².

B. Segunda entrevista

En esta nueva instancia, los estudiantes (A, S y M) fueron convocados aproximadamente un mes después de la primera entrevista, momento para el cual, ya habían rendido el primer parcial de la materia. En esta entrevista, la resolución del problema llevó unos 75 minutos (casi unos 20 min más que en el primer encuentro). Sin embargo, aquí presentaremos un extracto de algunas partes de la misma que consideramos fundamentales, y que evidencian la presencia de una sofisticación epistémica de mayor grado a la observada en la primera entrevista. Nuevamente, los estudiantes no mostraron ningún inconveniente en explicar lo que sucede en la parte (a) del problema. Pero al intentar resolver la parte (b) surgieron diversos

² El análisis detallado de tal entrevista puede encontrarse en Perea & Buteler (2013).

razonamientos interesantes que dieron lugar a discusiones entre ellos, y a partir de los mismos realizamos nuestro análisis.

Presentamos aquí dos episodios (segmentos de entrevista) consecutivos en donde se puede observar lo mencionado anteriormente.

Primer episodio: Comienzan la tarea enmarcándola como mapeo físico.

Los estudiantes están tratando de determinar cómo se distribuyen las cargas inducidas en la pared interior de la esfera por la presencia de la carga puntual Q corrida del centro de la misma. M, a partir de un dibujo realizado previamente (ver Fig. 2) menciona la expresión matemática del Campo Eléctrico que relaciona a la Fuerza ejercida y con la carga de prueba. Recurre al Principio de superposición de fuerzas para aplicar una superposición de campos. Pretende encontrar cómo debería ser la distribución de cargas en la superficie interior del conductor, de manera tal que el Campo Eléctrico siga siendo cero para un r mayor que a y menor que b . Puesto que algo que afirman con seguridad es que el Campo Eléctrico debe ser cero en el interior del conductor para cualquier situación electrostática, como la de este problema. M propone ver qué sucede con dos de las carguitas inducidas ubicadas en dos radios opuestos y “extremos”, la carga inducida que se encuentra más cerca de la carga Q y la que se encuentra más lejos de la misma. Pretende luego ir considerando más cargas inducidas y ver qué es lo que está pasando con el Campo Eléctrico. Allí es a donde a M se le ocurre realizar una integral que abarque todas las carguitas inducidas, es decir, para todas las distancias posibles entre la pared el interior del conductor y la carga Q .

M: Eeehhh, ¿el campo era la fuerza sobre la carga?

S: Sí.

A: Sí, recuerdo... Claro, para una carga de prueba.

M: Porque podemos poner... digamos... como tenés el principio de superposición de la fuerza y que el campo es la fuerza sobre la carga podés sumar, viste, campos así... y podés fijarte digamos (para explicar esto utiliza la Fig. 2)... O sea... la suma del campo generado por eso (se refiere a la carga puntual) más la suma del campo generado por las cargas que están ahí (se refiere a las inducidas en la superficie interior de la esfera) tienen que dar cero (para cualquier punto entre los radios a y b). Podés agarrar dos vectores digamos, dos vectores (diametralmente opuestos)... ¡cualquiera!, dos r uno que vaya para acá (desde la carga puntual hasta el punto más cercano correspondiente a la pared interior de la esfera) y otro que vaya para allá (desde la carga puntual hasta el punto más lejano correspondiente a la pared interior de la esfera), como uno va a ser más grande que el otro digamos... viendo el dibujo, ehhh... te va a quedar que el campo ejercido acá es más débil que este de acá...

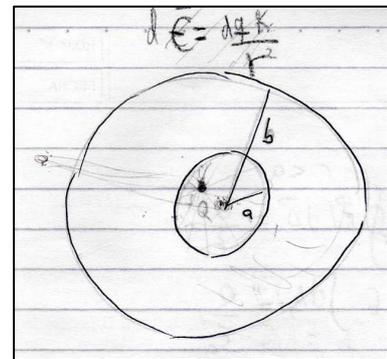


FIGURA 2

A: Si...

M: Y... digamos... si se supone que tiene que haber como una distribución superficial pero no puede ser...

A: ¿Equipotencial?

M: ¿Puede estar adentro? ¿Puede estar adentro... la distribución?

A: ¿Cómo?

M: La distribución de cargas...

A: Y, tiene que estar en la superficie...

M: Ah, ¿sí o sí en la superficie?...

S: Sí, sí, sino no van a ser cargas... suponemos que no...

E: Perdón... ¿lo que planteabas es lo de las líneas de ahí adentro? ¿O qué?

M: ¿Yo? No, no sé...

E: ¿Estás hablando de fuerzas?

M: Sí, no, pero decía como fijarse para ver el tema de cómo va a estar distribuida la carga en la superficie usar el campo, usar los campos, que la suma sea cero y ver con dos vectores, uno que esté más lejos y otro que esté más cerca, dos vectores posición r digamos...

A: Claro... entiendo. Pero...

E: ¿Líneas de campo? El campo generado por la carga...

A: Claro, o sea, yo no sé porque solo dos li... sólo dos vectores...

M: No, para compararlos para que una te de que el que tiene el vector más largo tiene la distribución menor que el otro...

A: Claro.

M: Por eso dos digo... pero en realidad a eso lo hacés con todos...

A: Y lo que podemos hacer es una integral de, podemos hacer una integral... no sé cómo pero podemos ver de intentar...

M: Puede ser, puede ser... como dije (se ríe)...

A: Sí, como dijiste...

Lo que observamos en este caso es un mapeo físico realizado por M, puesto que explica a través del esquema que dibujaron e intenta realizar un ajuste entre la matemática que conoce y la situación física en cuestión. Al final de este episodio, M plantea la posibilidad de hacer una integral que les permita obtener el resultado buscado, con lo cual está tratando de activar el recurso epistémico del cálculo. Pero como no sabe cómo plantear dicha integral, comienzan a buscar otra alternativa.

Segundo Episodio: La tarea es enmarcada al mismo tiempo desde dos marcos diferentes. Se vislumbra una sofisticación epistémica de alto grado en el desempeño de los estudiantes.

En este segmento, los estudiantes están tratando de encontrar otra situación, que para ellos sea en cierta forma “análoga” a la situación original, pero que tenga una representación matemática más simple la cual les permita hacer las cuentas que no pudieron hacer anteriormente. A plantea entonces una simplificación del problema. Propone pensar en un anillo cargado con una carga puntual en su interior, pero descentrada. Pretende hacer una integral de los campos, en el punto donde está la carga, para ver cómo es la distribución de cargas en el anillo. Es decir, llevaron el problema original a un caso en 2 dimensiones, y esperan poder extrapolar luego los resultados obtenidos al caso de la esfera. Planteaban además que el resultado de esa integral les debería dar cero, lo cual implicaría que la carga está en equilibrio en esa posición y por lo tanto, la distribución que ellos plantean sería la correcta.

A: Lo que podemos hacer ahora así no tocamos tanto el dibujo es... // pasar a otro problema en donde no tengo la cosa esa de afuera y donde sea sólo una esfera en donde hay cargas afuera y la carga al medio, la carga del medio está en el centro y vamos a ver cómo se van a posicionar afuera las cosas para que se cancele todo el campo... ¿Se entiende lo que digo?

//³

A: y pasar a otro problema... o sea... no sería otro problema, pero pensar sólo en esa partecita...

//

M: Sí, claro... nada más que pasado a una situación en la que tenés muchas cargas así (dibuja un círculo con los dedos) y una carga no tan al centro.

//

A: ... ver de hacer una integral porque después de todo esto es una esfera que tiene la carga acá (se refiere a la superficie interior de la esfera), pero como es simétrica supongo que lo podemos pensar como que es un círculo con cada uno un delta q de carga y ver de hacer la integral y a los radios los podemos escribir... eso no sé cómo pero podemos ver cómo hacerlo...

S: A ver... (S empieza a dibujar la Fig. 3, en este caso sólo dibuja un anillo con la carga descentrada y ubica el origen del sistema de coordenadas en la misma) vos tenés una carga +Q...

A: Sí...

S: y vos decís que tenés en este anillo como querés pensar vos...

A: Claro, de una...

M: Que en total tiene una carga -Q

//

E: ¿A la parte de adentro de la esfera ahora la están pensando en dos dimensiones?

A: Claro, porque por simetría es lo mismo... que lo veas de cualquier lado va a ser como... la podés aplastar y te va a quedar como una cosa en dos dimensiones.

//

M: O sea... no es exactamente lo mismo pero...

A: Claro, no, pero creo que te da lo mismo.

M: Pero lo que queremos ver es el tema de la distribución de los delta Q... (se refiere a cómo se distribuyen las cargas en el anillo).

A: Claro... Si.

M: ¿Eso queremos no?

A: Sí, sí... Claro, puede ser que no sea lo mismo, pero...

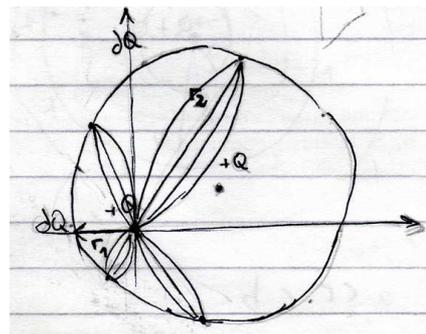


FIGURA 3

³ La doble raya significa que había alguna o algunas otras líneas de diálogo en esa parte, pero como no contribuyen significativamente a lo que queremos mostrar las hemos recortado.

M: Claro, no es muy parecido, pero...

A: Pero en principio ver cómo da para ver cómo hacer.

M: Sí.

S: Acá está en el centro del anillo (se refiere a una carga puntual que dibujó en la Fig. 3 pero en este caso la está pensando ubicada en el centro del anillo) y bueno... está en equilibrio porque las fuerzas de un lado son las mismas que del otro y no se mueve. Ahora... corrámosla (aleja a la carga puntual del centro del anillo) para acá.

//

A: Si tenés la cosa acá (la carga puntual en el centro). Si la suma de todas las fuerzas que va a ser lo mismo que la suma de los campos es igual a cero...

S: O sea... las cargas por ejemplo... dejás las cargas fijas acá afuera (distribuidas de manera homogénea)...

A: Claro y ahora ver si corriendo eso... si corriendo esta carguita (fuera del centro) ehh obtiene... o sea, esto sigue siendo una sumatoria de fuerzas igual a cero o sumatoria de campos igual a cero si tomo cada delta Q acá. Bueno y para eso ¿cómo podemos hacerlo? Bueno, en principio se me ocurre que... tenemos que poner un sistema de coordenadas.

S: Bueno, tenemos +Q acá (dibuja el origen del sistema de coordenadas en donde está la carga Q descentrada como se ve en la Fig. 3)...

E: ¿Para qué te va a servir saber que la suma de todas las fuerzas es cero?

A: Y porque si es cero entonces las cargas en la superficie interior van a quedar distribuidas homogéneamente y si quedan distribuidas homogéneamente afuera también va a ser igual y ya está...

//

S: ...vamos a ver qué pasa. Suponiendo esto, que están distribuidas uniformemente y vos corrés la carga (fuera del centro), suponemos que siguen uniformemente, vamos a ver... vamos a llegar a un absurdo...

A: A un absurdo o no.

S: Si

A: Ojalá que no lleguemos a un absurdo porque sino... Bueno si llegamos a un absurdo o si llegamos a que la sumatoria de fuerzas es distinta de cero, que... o sea que la sumatoria de campos es distinta de cero, entonces estaríamos llegando a que no va a quedar homogénea...

En este caso, los estudiantes están modificando el mapeo físico anterior (la primera representación del problema original), hacia otro (la “simplificación” del problema en dos dimensiones) que les permita poder hacer uso del recurso epistémico de cálculo. En este caso los alumnos están enmarcando la tarea desde dos enmarques diferentes, los cuales se mantienen activados al mismo tiempo. Están aplicando el recurso epistémico de cálculo al mapeo físico que acaban de plantear. Esto es una muestra de sofisticación epistémica de grado alto. Puesto que tienen la capacidad de mantener dos enmarques epistémicos al mismo tiempo y no desestiman a ninguno de ellos.

En el siguiente cuadro se muestran dos ejemplos que reflejan cómo se interpretaron los datos en función del marco teórico empleado.

TABLA II. Ejemplos de la forma de interpretación de los datos.

Enmarque o recurso epistémico	Clase de argumento usado	Cita
Mapeo físico (M)	Explicación a partir de un diagrama. Gestos demostrativos. Razonamiento encadenado.	<i>O sea... la suma del campo generado por eso (se refiere a la carga puntual) más la suma del campo generado por las cargas que están ahí (se refiere a las inducidas en la superficie interior de la esfera) tienen que dar cero... Podés agarrar dos vectores digamos, dos vectores (diametralmente opuestos)... ¡cualquiera!, dos r uno que vaya para acá (desde la carga puntual hasta el punto más cercano correspondiente a la pared interior de la esfera) y otro que vaya para allá (desde la carga puntual hasta el punto más lejano correspondiente a la pared interior de la esfera), como uno va a ser más grande que el otro digamos... viendo el dibujo, ehhh... te va a quedar que el campo ejercido acá es más débil que este de acá...</i>
Cálculo (A)	Seguir correctamente pasos algorítmicos lleva a un resultado confiable. Encadenamiento matemático: se necesita	<i>A: ... ver de hacer una integral porque después de todo esto es una esfera que tiene la carga acá (se refiere a la superficie interior de la esfera), pero como es simétrica supongo que lo podemos pensar como que es un círculo con cada uno un delta q de carga y ver de hacer la integral y a los radios los podemos</i>

	esto para obtener aquello.	<i>escribir... eso no sé cómo pero podemos ver cómo hacerlo...// A: Y porque si es cero entonces las cargas en la superficie interior van a quedar distribuidas homogéneamente y si quedan distribuidas homogéneamente afuera también va a ser igual y ya está...</i>
--	----------------------------	---

V. CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados presentados evidencian la existencia de una sofisticación epistémica de grado alto, en particular, en dos de los estudiantes (M y A). En la entrevista anterior (ver Perea & Buteler, 2013), los mismos estudiantes habían mostrado poseer una sofisticación epistémica de menor grado, es decir, fueron capaces de recurrir a distintos recursos epistémicos, aunque no al mismo tiempo. Podemos afirmar entonces que existió un cambio en la sofisticación epistémica de los estudiantes en un período de tan solo dos meses de instrucción formal sobre Electroestática en particular. Como mencionamos antes, esto es una clara componente de experticia, la cual no va necesariamente de la mano con la obtención de un resultado correcto sino con la disponibilidad y la activación de diversos recursos epistémicos que resultan productivos para la actividad que se encuentran realizando (Elby y Hammer, 2001 y 2002). Consideramos, coincidiendo con Coffey, Hammer, Levin, y Grant (2011), que sería importante que el profesor de Ciencias tuviera más en cuenta la “sustancia” del pensamiento del estudiante más allá de la obtención del resultado correcto. La sustancia de ese pensamiento abarca, tal como lo mencionan Hutchinson y Hammer (2009), una evidencia de cómo los estudiantes usan el conocimiento, cómo elaboran explicaciones, cómo desarrollan conexiones entre los conceptos y el fenómeno natural, qué lenguaje eligen usar y cómo lo usan, etc. En general, no se tienen en cuenta todos estos aspectos (los cuales creemos que son fundamentales en el proceso de aprendizaje) sino el sólo hecho de que si las respuestas que dan son correctas o no lo son.

Cabe recordar que son tres las entrevistas realizadas a los mismos estudiantes y con el mismo problema. La tercera entrevista fue realizada un mes después de la segunda. Sin embargo, entre la primera y la segunda entrevista ya pudimos detectar la presencia de sofisticación epistémica en estos estudiantes y cambios en la misma de una entrevista a la otra. Esto constituye una muestra de que los estudiantes estarían desarrollando epistemologías más productivas para resolver problemas y aprender conceptos. En publicaciones posteriores se mostrarán los resultados obtenidos del conjunto de las tres entrevistas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bing, T. y Redish, E. (2009). Analyzing problem solving using math in physics: Epistemological framing via warrants. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 5 (2), 020108.
- Bing, T. y Redish, E. (2012). Epistemic complexity and the journeyman-expert transition. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 8 (1), 010105.
- Campanario, J. y Otero, J. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades en el aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), pp. 154-169.
- Coffey, J., Hammer, D., Levin, D. y Grant, T. (2011). The Missing Disciplinary Substance of Formative Assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 48 (10), pp. 1109-1136.
- Coleoni, E. y Buteler, L. (2012). La flexibilidad epistémica en alumnos secundarios: su potencialidad para el aprendizaje de la física. *Memorias del SIEF XI*. Esquel, Argentina. Octubre. ISBN 978-987-1937-12-7. pp. 233-244.
- diSessa, A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10 (2 y 3), pp. 105-225.
- Elby, A y Hammer, D. (2001). On the substance of a sophisticated epistemology. *Science Education*, 85 (5), pp. 554-567.
- Elby, A. y Hammer, D. (2002). On the form of a personal epistemology. En Hofer, B. K. & Printrich, P. R. (Eds.) *Personal Epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing*. pp. 169-190. Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

- Guridi V. (1999). ¿Puede vincularse la comprensión conceptual en Física con el perfil epistemológico de un estudiante? *Tesis de Maestría en Epistemología y Metodología de la Ciencia*. Mar del Plata, Argentina.
- Hutchinson, P. y Hammer, D. (2009). Attending to student epistemological framing in a science classroom. *Science Education*, 94 (3), pp. 506-524.
- McComas, W. (2000). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Perea, M. A. y Buteler, L. M. (2013). *Sofisticación epistémica incipiente en electrostática: Un estudio de caso en alumnos universitarios*. Publicado en memorias (en CD) y presentado oralmente en REF XVIII. pp. 362-382. Catamarca.
- Redish, E. (2004). A theoretical framework for physics education research: Modeling student thinking. In Redish, E. & Vicentini, M. (Eds.), *Proceedings of the Enrico Fermi Summer School, Course CLVI*. Bologna: Italian Physical Society.
- Resnick, R.; Halliday, D. y Krane, K. (1993). *Física*. Vol. 2. Cuarta edición. México: Compañía Editorial Continental S. A.
- Salinas, J., Gil, D. y Cudmani, L. (1995). La elaboración de estrategias educativas acordes con un modo científico de tratar las cuestiones. *Memorias de la Novena Reunión Nacional de Educación en Física*, Salta, Argentina, pp. 336-348.
- Sandoval, W.A. (2005). Understanding Students' Practical Epistemologies and their Influence on Learning Through Inquiry. *Science Education*, 89(4), pp. 634-656.
- Serway, R. (1997). *Física*. Tomo II. Cuarta edición. México: McGraw-Hill.
- Staphoupolou, Ch. y Vosniadou, S. (2007). Exploring the Relationship between Physics Related Epistemological Beliefs and Physics Understanding. *Contemporary Educational Psychology*, 32, pp. 255-281.
- Wainmaier, C. (2003). Incomprensiones en el aprendizaje de la mecánica Clásica Básica. *Tesis de Maestría en Enseñanza de las Ciencias*. Fac. Cs. Exactas y Tecnología. Tucumán.
- Wainmaier, C., Speltini, C. y Salinas, J. (2011). Conceptos y relaciones entre conceptos de la mecánica newtoniana en estudiantes que ingresan a la universidad. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10(1) pp. 133-152.