

Incomprensiones sobre el modelo de punto material en estudiantes universitarios que regularizaron Física I ¹

Cristina Wainmaier¹- Julia Salinas²

¹ Departamento de Ciencias y Tecnología. Universidad Nacional de Quilmes
cwainmaier@unq.edu.ar

² Departamento de Física. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. UNT
jsalinas@herrera.unt.edu.ar

En este trabajo se retoma y se profundiza el tratamiento de una problemática de aprendizaje de la Física vinculada a la dificultad que tienen los estudiantes de ciclos básicos universitarios para comprender la naturaleza, el papel y el significado físico del modelo de punto material. Se presentan y analizan indicadores de ideas construidas por estudiantes que han regularizado Física I (es decir, que han aprobado las pruebas parciales). Se avanza también hacia un análisis crítico del modo en que se aborda el tema en algunos libros de texto, de amplio uso entre docentes y estudiantes en cursos básicos de carreras de Ingenierías y Ciencias. Se esbozan consideraciones que pueden ser de utilidad para mejorar la eficacia del proceso educativo.

Palabras clave: Incomprensiones, modelo punto material, estudiantes universitarios

University Physics students' learning difficulties about nature, role and meaning of material point model are taken up again and got into depth. Indicators of ideas built by students that have approved end-of-term exams at Physics I are presented and analyzed. A critical study of the treatment of the subject in some text books (widely used by students and teachers in Engineering and Science basic courses) is also done. Some considerations that may be useful to improve educative process efficacy are outlined.

Keywords: Lack of understanding, material point model, university students

Introducción

Las abstracciones y simplificaciones para explicar los hechos son características distintivas de la Física, donde se trabaja sobre modelos ideales que se supone representan, con alguna aproximación, ciertos aspectos de los sistemas reales, y jamás todos sus aspectos (Bunge, 1985).

El modelado no sólo es una estrategia empleada por las ciencias “puras”, tal como la Física, sino también una herramienta fundamental en la actividad tecnológica. Se ha afirmado de él que “es el lenguaje esencial de trabajo ingenieril”. En la formación de futuros ingenieros es por tanto altamente conveniente enfocar la atención de los estudiantes hacia el papel fundamental de los modelos, analizar cuidadosamente los límites de validez de los mismos.

La experiencia docente y el intercambio de opiniones sobre cuestiones curriculares con estudiantes y profesionales de carreras científico-tecnológicas nos ha mostrado que éstos aspiran (legítimamente, a nuestro entender) a que en el aula y en los laboratorios docentes la Física aparezca explícita y claramente vinculada a problemas y sistemas reales, a que la enseñanza favorezca una clara comprensión del modo en que es posible comprender (y actuar sobre) la realidad a partir de abordajes modelados. Nuestra experiencia docente y varias investigaciones (Cudmani y Salinas, 1991; Wainmaier, 2003; Salinas, 2002, 2006 y 2007) muestran serias limitaciones e incomprensiones de los estudiantes, de ciclos básicos universitarios de carreras científico-tecnológicas, para relacionar adecuadamente teorización y comportamiento fáctico.

El concepto de punto material ocupa un

1. Una versión preliminar de este trabajo ha sido aceptado para su presentación en el V Congreso Internacional de Didáctica de las Ciencias (La Habana, Cuba, 17 al 21 de marzo de 2008).

lugar central en la estructura conceptual de la Física, y habitualmente en los cursos universitarios de Física General se destinan muchas horas al tratamiento de las leyes vinculadas a la dinámica y a la cinemática de una masa puntual. Sin embargo hemos detectado reiteradamente en los estudiantes, una idea vaga y confusa de la noción física de punto material, que es asociada con frecuencia de manera ambigua a la idea de “cuerpo pequeño” empleada en el conocimiento común. Se ha señalado que las interpretaciones del mundo y los sentidos atribuidos a las palabras, por parte de los estudiantes, ejercen un impacto significativo en su aprendizaje y pueden influir de manera inesperada en el mismo (Osborne y Fryberg, 1991). El empleo en el aula y en los libros de texto de definiciones del punto material cuyo significado físico escapa a los estudiantes, puede dificultar una adecuada conceptualización de este modelo, al crear un vacío interpretativo que puede ser ocupado por las reinterpretaciones que el estudiante hace del concepto.

Las incomprendiones de los estudiantes se ponen también de manifiesto a través del empleo de leyes que no se corresponden con el modelo compatible con la situación problemática planteada, y en la utilización del modelo de punto material para modelar situaciones en las que se requerirían modelos más complejos, por ejemplo, el modelo de cuerpo rígido (Baade et al., 1999; Kofman y Cámara, 1999; Wainmaier y Salinas 2000; Islas y Pesa, 2001; Kofman et al., 2007; Concari et al., 2007). A nuestro criterio, estos comportamientos podrían estar asociados a la incompreensión de que los modelos son los referentes directos de leyes y teorías (Salinas, 2003; Wainmaier, 2003).

En este trabajo se retoman y profundizan avances expuestos en otro (Wainmaier y Salinas, 2000). Se presentan y analizan algunas respuestas dadas por estudiantes universitarios – que han regularizado el curso de Física I – con relación a la comprensión de la naturaleza, el rol y el significado físico del modelo de punto material. El trabajo avanza también hacia un análisis crítico del modo en que se aborda el tema en algunos libros de texto, de amplio uso entre docentes y estudiantes en

cursos básicos de Ingeniería y Ciencias. Se esbozan consideraciones que pueden ser de utilidad para mejorar la eficacia del proceso educativo.

Los modelos en física

Halloun (2004) señala que no hay una definición única del término “modelo” y que no hay consenso en su uso. Manifiesta que, sin embargo, muchos coinciden en que un modelo es “*de algo*” y “*para un propósito especificado*”: Destaca que un modelo está delimitado por el conjunto de realidades físicas que modela, así como por las preguntas que permite formular sobre dichas realidades y por el tipo de respuestas que se espera que proporcione.

Agrega que un *modelo científico* es un sistema conceptual delineado (en el contexto de una teoría específica) sobre un patrón en la estructura y/o el comportamiento de un conjunto de sistemas físicos, de modo de representar fidedignamente dicho patrón.

Explica que el delineado se realiza de modo que el modelo capture la esencia del patrón y que esto se consigue tomando en consideración detalles *primarios* y *específicos* en las realidades físicas que exhiben el patrón modelado.

Matthews (1994) enfatiza que el surgimiento de las ciencias tal como las conocemos ahora significó, entre otras cosas, abandonar la intención de aprehender globalmente la naturaleza extremadamente compleja de los fenómenos tal como se presentan, y reemplazarla por el intento de comprender los comportamientos en situaciones modeladas, obtenidas por abstracción e idealización (o modelado) del mundo.

Bunge (1985) aclara que en el proceso de modelado científico se construye un *modelo-objeto* (un objeto modelado) con propiedades que permiten integrarlo a una teoría y que representa “*con alguna aproximación, ciertos aspectos de los sistemas reales*”. Integrado a una teoría, el comportamiento del modelo-objeto pasa a estar completamente definido por las leyes de la teoría y representa un tipo

de *realidad física* (por ejemplo, la realidad física mecánica clásica) (Pietrocola, 2001).

Un modelo científico es una abstracción de la realidad, una representación idealizada en la que se incorporan parte de los detalles y de la complejidad de los sistemas reales. Siguiendo a Bunge (1985), cabe tener en cuenta que:

- *Las teorías y leyes científicas se refieren a modelos* que se construyen sobre los hechos (y no a los hechos mismos) pues ninguna teoría o ley científica analiza la totalidad de las variables que intervienen, ni aún en el más simple fenómeno. Los referentes directos de las teorías y leyes científicas no son los hechos (inabordables en su complejidad global) sino modelos simplificados de los mismos.

- *La experimentación tiende el puente entre las teorizaciones y los comportamientos del mundo real* (Cudmani et al., 2000). Como se dijo, leyes y teorías tienen a los modelos como referentes directos. La adecuación de estas leyes y teorías a sistemas reales se controla con la experimentación: se consideran adecuadas si los resultados deducidos para el modelo se aproximan a los resultados empíricos dentro de un margen de error considerado aceptable. Todos los modelos implican abstracciones y simplificaciones que se traducen en *supuestos*, cada uno de los cuales es una posible fuente de falla en el ajuste entre teoría y realidad.

- *Los modelos son fundamentales para el establecimiento de explicaciones sistemáticas*. El mundo real es complejo, no es sencillo discernir regularidades que puedan constituir generalizaciones científicas que les sean aplicables. La estrategia científica consiste en identificar generalidades de tipo legal en situaciones simples (y si es necesario, artificialmente ideadas) y proponer que esas generalidades, aunque enmascaradas por la intervención de otras tendencias, sigan aplicándose a casos reales (Chalmers, 1992).

- *Un sistema en estudio puede modelarse de diferentes maneras*. La elección del modelo a utilizar depende del objetivo que se persigue, de la pregunta que se formule, de la precisión cuantitativa requerida en la respuesta para el ajuste teoría-realidad (Salinas, 2002). Dado un sistema bajo estudio y modelos alternativos, no es posible considerar uno de dichos

modelos como mejor que otro en sentido absoluto, sino sólo en relación a la situación que se enfrenta (Lombardi, 1998). La pertinencia de un modelo es contextual.

- *El modelado implica que las leyes y teorías se caractericen por ser aproximadas, provisionarias y con límites de validez*. En búsqueda de mayor precisión y adecuación al mundo, los modelos y las teorías científicas van adquiriendo mayor complejidad para posibilitar el abordaje de situaciones con más variables significativas (sin que necesariamente se desechen los modelos más simples, que se siguen usando en contextos para los que sus supuestos son adecuados). Pero las simplificaciones se realizan siempre y determinan que las leyes (y las teorías que las estructuran) no se cumplan de una manera estricta y sin excepciones, sino de una manera aproximada y dentro de ciertas limitaciones. Las conclusiones que se proponen a partir de la aplicación de un modelo a una situación real, tienen un cierto rango de validez (Yurén Camarena, 1986; Salinas, 2003).

Lineamientos metodológicos

A fin de conocer de manera más sistemática las ideas de los estudiantes en torno al modelo de punto material, se elaboraron las siguientes seis actividades, que los alumnos debían resolver individualmente, por escrito.

1) ¿Existe en la naturaleza el “punto material” o “partícula” estudiado en Mecánica Newtoniana?

Sí No No sé Otra respuesta

Si tu respuesta es “sí”, brinda un ejemplo aclaratorio. Si tu respuesta es “no”, explica por qué consideras que se utiliza esta idea en Física. Si tienes “otra respuesta”, explícala por favor con la mayor claridad posible.

2) En Física I se ha analizado el movimiento del “punto material” o “partícula”. ¿Cuáles son las condiciones que se deben dar para que un cuerpo pueda tratarse como una partícula en Mecánica Newtoniana?

3) ¿Consideras que podrías tratar como un punto material a una semilla de mandarina que cae?

Sí No No sé Otra respuesta

Justificación:

4) ¿Consideras que podrías tratar a la Tierra como un punto material?

Sí No No sé Otra respuesta

Justificación:

5) ¿Consideras que podrías tratar a un cuerpo que cae por un plano inclinado como un punto material?

Sí No No sé Otra respuesta

Justificación:

6) De un árbol cae una pequeña ramita con hojas. Si ésta se encuentra a una altura h respecto del suelo, ¿consideras que es lícito calcular la velocidad de la ramita al llegar al suelo mediante la expresión: $v = \sqrt{2gh}$?

Sí No No sé Otra respuesta

Justificación:

Con la actividad 1 se pretende indagar sobre *el vínculo con la realidad* y sobre *la utilidad* que los estudiantes atribuyen al modelo de punto material.

Con la actividad 2 se pretende indagar sobre *la noción* que los estudiantes han construido para el modelo de punto material en el marco de la Mecánica Newtoniana.

Con las actividades 3, 4, 5 y 6 se pretende indagar sobre *la aplicación* que los estudiantes hacen de la noción de punto material, en cuatro situaciones concretas:

- Tres de esas situaciones describen un sistema físico (una semilla de mandarina que cae, la Tierra, un cuerpo que cae por un plano inclinado). Para cada uno de esos tres sistemas

se pregunta si el modelo de punto material es aplicable, pero no se explicita la pregunta que se pretende responder. Interesa entonces ver si los estudiantes trabajan adecuadamente con los supuestos del modelo y si vinculan sus respuestas a un propósito del modelado.

- En la cuarta situación (una pequeña rama con hojas que se encuentra a una altura h) se pregunta si es lícito calcular, con una expresión dada, una cierta magnitud asociada al movimiento de caída de dicha rama. Interesa ver si los estudiantes trabajan adecuadamente con los supuestos del modelo y si vinculan los límites de validez con la precisión cuantitativa requerida en la respuesta.

El hecho de que las respuestas a las diversas actividades incluyan aspectos que se solapan, permite controlar la coherencia de las respuestas brindadas por cada estudiante y aumenta la confiabilidad del instrumento.

En todas las actividades se piden explicaciones, ejemplos o justificaciones de las opciones seleccionadas por los estudiantes. En el procesamiento de las respuestas se consideraron “no aprovechables” aquellas que, aunque contenían la elección de una de las opciones ofrecidas, no presentaban desarrollos que fundamentaran dicha elección o presentaban argumentos ambiguos.

Para la validación de los enunciados se los sometió al juicio crítico de otros docentes-investigadores, ajenos a la investigación y que conocían las finalidades de la misma. Las versiones resultantes se pusieron a prueba en experiencias piloto, con estudiantes de perfil similar a la muestra definitiva.

En este trabajo se presentan y analizan las respuestas dadas por dos grupos de estudiantes, atendidos por diferentes profesores, en la Diplomatura en Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Quilmes, a los que se designó como G1 (38 estudiantes) y G2 (30 estudiantes).

En ambos grupos, todos los alumnos habían regularizado Física I y habían aceptado voluntariamente resolver las actividades. El cuestionario se administró con anterioridad a la primera fecha de examen final posterior al cursado de la asignatura.

Cabe aclarar que los alumnos pueden pro-

mocionar la asignatura (vale decir, aprobarla sin necesidad de rendir un examen final), si tienen un desempeño destacado en las pruebas parciales. Este fue el caso de 28 estudiantes de G1 y de 25 estudiantes de G2.

El grupo G2 presentaba la particularidad de que en él, la enseñanza había prestado especial atención a los modelos y al modelado durante el desarrollo completo de la asignatura.

Presentación y análisis de los resultados

Se observó que en todos los casos las respuestas de cada estudiante presentaban coherencia interna. Vale decir, no había contradicción entre las opiniones volcadas por cada estudiante al resolver las seis actividades propuestas.

Actividad 1

Con esta actividad se pretende indagar sobre *el vínculo con la realidad* y sobre *la utilidad* que los estudiantes atribuyen al modelo de punto material.

Existencia de puntos materiales en la naturaleza (Tabla 1).

- 30/38 estudiantes del G1 y 30/30 estudiantes del G2 asignan un carácter formal (no fáctico) a la idea de punto material. Afirman, de manera concluyente, que en el mundo natural *“no hay puntos materiales”*.

- Los 8/38 estudiantes del G1 que sostienen la existencia del punto material en la naturaleza, dan como ejemplos al átomo y al electrón.

Utilidad del modelo de punto material (Tabla 2).

- 18/30 estudiantes del G2 reconocen a este modelo como concepto fundamental para sistematizar el conocimiento y mencionan correctamente, con diversas formulaciones, que es el referente directo de algunas de las leyes estudiadas en Mecánica, avanzando hacia algunos comentarios sobre el vínculo teoría-realidad.

- 30/38 estudiantes del G1 y 12/30 estudiantes del G2 ponen de manifiesto visiones

Tabla 1. Existencia de puntos materiales en la naturaleza

Categoría	G1	G2
Sin existencia real	30	30
Con existencia real	8	0

Tabla 2. Utilidad del punto material

Categoría	G1	G2
Visiones correctas	0	18
Visiones limitadas / incorrectas	30	12
Resp. sin justificación / No sabe	8	0

Tabla 3. Condiciones que deben cumplirse para que un cuerpo pueda tratarse como un punto material

Categoría	G1	G2
Condiciones correctas	8	27
Condiciones incompletas	22	0
Condiciones incorrectas	4	0
No sabe / Ambiguo	4	3

limitadas o incorrectas. Sostienen que esta noción se utiliza para *“simplificar el estudio del movimiento”* y/o *“los cálculos”*, sin hacer alusión al modo en que se establece el vínculo con situaciones reales.

- 8/38 estudiantes del G1 no justifican sus respuestas, o dicen que no saben para qué se utiliza esta idea en Física.

Actividad 2

Con esta actividad se pretende indagar sobre *la noción* que los estudiantes han construido para el modelo de punto material.

Condiciones que deben cumplirse para que un cuerpo pueda tratarse como un punto material (Tabla 3).

- 8/38 estudiantes del G1 y 27/30 estudiantes del G2 mencionan, correctamente, condiciones que hacen referencia a la posibilidad de

Tabla 4: Condiciones para que un cuerpo pueda ser tratado como punto material en casos concretos

Actividad	Categoría	G1	G2
3 (Semilla)	Condiciones correctas	9	25
	Condiciones incompletas	23	5
	Condiciones incorrectas	6	0
4 (Tierra)	Condiciones correctas	4	27
	Condiciones incompletas	21	0
	Condiciones incorrectas	10	0
	No sabe / No justifica	3	3
5 (Cuerpo que cae por plano inclinado)	Condiciones correctas	6	28
	Condiciones incompletas	14	2
	Condiciones incorrectas	4	0
	Resp. no aprovechables	14	0

esquematzar como puntos materiales a sistemas reales cuya deformación, vibración y rotación pueden ser dejados de lado (por irrelevantes) en el análisis que se está encarando. Hacen alusión a que, en esos casos, es posible tratar como punto material “*al centro de masa de los cuerpos que intervienen*” y a “*sistemas reales no necesariamente pequeños*”.

- 22/38 estudiantes del G1 mencionan condiciones incompletas asociadas a las dimensiones del cuerpo. Afirman, por ejemplo, que “*el cuerpo debe asimilarse a un punto*”, “*se debe poder emplear sólo un vector posición para ubicarlo*”, “*el tamaño del cuerpo debe ser pequeño con relación al entorno*”; “*el tamaño del cuerpo debe ser pequeño con respecto al sistema de referencia elegido*”, “*el módulo del vector diferencia de posición, entre dos puntos del cuerpo, debe ser mucho menor que el módulo de los vectores posición de los puntos considerados*”.

- 4/38 estudiantes del G1 brindan respuestas incorrectas señalando, por ejemplo, que “*cualquier sistema físico que tenga masa puede ser tratado como punto material*”; acompañando la condición “*tamaño pequeño*” con la idea de “*masa despreciable*”.

- 4/38 estudiantes del G1 eligen la opción “no sé” en sus respuestas y 3/30 estudiantes del G2 brindan respuestas ambiguas.

Actividades 3, 4 y 5

Con estas actividades se pretende indagar sobre *la aplicación* que los estudiantes hacen de la noción de punto material. Interesa ver si los estudiantes trabajan adecuadamente con los supuestos del modelo y, dado que los enunciados no explicitan la pregunta que se pretende responder, interesa también ver si vinculan sus respuestas a un propósito del modelado.

Condiciones que deben cumplirse en casos concretos para que un cuerpo pueda tratarse como punto material (Tabla 4).

Actividad 3: Semilla de mandarina que cae

- 6/38 estudiantes del G1 y 25/30 estudiantes del G2 hacen alusión a que es posible despreciar las deformaciones y/o la rotación para la situación planteada y de este modo justifican, correctamente, la validez del modelo de punto material. 3/38 estudiantes del G1 no acuerdan en modelar a la semilla como punto material y hacen alusión, correctamente, a que rota.

23/38 estudiantes del G1 y 5/30 estudiantes del G2 aceptan tratar a la semilla como punto material con argumentos similares a los dados al responder la actividad 2, aludiendo, de manera incompleta, sólo a las dimensiones de la semilla (“*tamaño del cuerpo pequeño con*

relación al entorno”, “*es posible asimilar la semilla a un punto*”, “*módulo del vector diferencia de posición pequeño*”).

6/38 estudiantes del G1 afirman, incorrectamente, que la semilla puede tratarse como punto material “*porque su masa es despreciable*”.

Actividad 4: *La Tierra (sistema real que se usa recurrentemente, en clase y/o en los libros de texto, como ejemplo en el tratamiento del tema).*

- 4/38 estudiantes del G1 y 27/30 estudiantes del G2 sostienen, correctamente, que es posible tratar la Tierra como punto material “*si se estudia su movimiento de traslación alrededor del Sol, no la rotación alrededor de su eje*”.

- 21/38 estudiantes del G1 dan respuestas incompletas, que hacen referencia sólo a las dimensiones. 15 de ellos aceptan el modelo de punto material para la Tierra “*porque su tamaño es pequeño con relación al entorno*”, “*porque puede ser asimilada a un punto*” y, mayoritariamente, “*por la lejanía del sistema de referencia*” o “*por las distancias muy grandes*”. Los otros 6 no acuerdan con que siempre la Tierra pueda modelarse como punto material aduciendo que “*depende de la distancia desde donde se la mire*”.

- 10/38 estudiantes del G1 brindan respuestas incorrectas. 4 aceptan el modelo de punto material para la Tierra “*porque todo cuerpo puede ser tratado como punto material*”. 6 señalan que el modelo no es aceptable “*porque la Tierra es muy grande*”.

- 3/38 estudiantes del G1 no resuelven la actividad y 3/30 estudiantes del G2 no justifican sus respuestas.

Actividad 5: *Cuerpo que cae por un plano inclinado (el enunciado no habla de “traslación” sino de “caída”, lo que deja abierta la posibilidad de un movimiento rototraslatario).*

- 6/38 estudiantes del G1 y 28/30 estudiantes del G2 dicen, correctamente, que es válido esquematizar al cuerpo como punto material si, en la situación planteada, éste no rota y no se deforma.

4/38 estudiantes del G1 proporcionan respuestas incompletas en las que el análisis se asocia sólo a las propiedades elásticas del cuerpo. Sostienen que el cuerpo no puede ser tratado como punto material “*porque se podría estar deformando*”.

- 10/38 estudiantes del G1 proporcionan respuestas incompletas en las que el análisis se asocia sólo a las dimensiones del cuerpo. Aceptan modelar al cuerpo como punto material aduciendo que “*su tamaño es pequeño con relación al entorno*” y que “*es posible tomar sistemas de referencia alejados*”.

- 2/30 estudiantes del G2 proporcionan respuestas incompletas en las que el análisis se asocia sólo al tipo de movimiento del cuerpo. Consideran que el modelo de punto material es adecuado “*porque el cuerpo se traslada sin rotar*”.

- 4/38 estudiantes del G1 responden, incorrectamente, que el cuerpo no puede tratarse como punto material “*porque es grande*”.

- 14/38 estudiantes del G1 brindan respuestas no aprovechables. 8 de ellos no justifican la opción que eligen y otros 6 brindan respuestas ambiguas.

Cabe destacar que ningún estudiante, para ninguna de las situaciones planteadas, consideró necesario vincular explícitamente su respuesta a un problema o pregunta. Consultados algunos verbalmente a posteriori, en todos los casos señalaron que, dado el contexto, habían dado por supuesto que lo que interesaba era analizar los movimientos.

Actividad 6

Con esta actividad también se pretende indagar sobre *la aplicación* que los estudiantes hacen de la noción de punto material. En este caso interesa ver si los estudiantes trabajan adecuadamente con los supuestos del modelo y si vinculan los límites de validez con la precisión cuantitativa requerida en la respuesta.

Condiciones que deben cumplirse para que sea lícito calcular la velocidad de la ramita mediante la expresión: $v = \sqrt{2gh}$ (Tabla 5).

- 8/38 estudiantes del G1 y 22/30 estudiantes del G2 incorporan un análisis de los supuestos del modelo de caída libre para dar

Tabla 5. Condiciones para aplicar $v = \sqrt{2gh}$

Categoría	G1	G2
Análisis correctos	8	22
Respuestas acríticas	23	4
Respuestas sin justificación	7	4

una opinión (afirmativa o negativa) sobre la validez de la expresión. Correctamente, hacen referencia a aspectos tales como que se debería poder esquematizar a la ramita como punto material y despreciar el rozamiento con el aire.

- 23/38 estudiantes del G1 y 4/30 estudiantes del G2 afirman, acríticamente, que la expresión propuesta para el cálculo de la velocidad es válida “*porque la ramita cae bajo la acción de la gravedad*” o “*porque se conserva la energía mecánica*”.

- 7/38 estudiantes del G1 y 4/30 estudiantes del G2 no justifican las opciones elegidas en sus respuestas.

Cabe destacar que ningún estudiante consideró necesario vincular su respuesta a la precisión cuantitativa requerida para el ajuste entre modelo y realidad. Este comportamiento de los estudiantes no es sorprendente (aunque desnude una seria limitación en sus aprendizajes), dada la muy escasa presencia de trabajo experimental en los cursos de Física de las muestras.

Comentarios sobre los resultados obtenidos

Los resultados obtenidos muestran una diferencia significativa en los dos grupos analizados (recuérdese que en el grupo G2 se había prestado especial atención a los modelos y al modelado durante el desarrollo completo de la enseñanza de la asignatura).

Este comportamiento diferenciado de los estudiantes de G1 y G2 es alentador y converge con un importante resultado encontrado en una Tesis de Maestría (Wainmaier, 2003): la comprensión, por parte de los estudiantes, de cuestiones epistemológicas *directamente vinculadas con los contenidos de la disciplina*,

incide positivamente sobre los aprendizajes logrados.

A continuación se mencionan algunos aspectos importantes relacionados con los modelos y el modelado que, a partir de los resultados obtenidos, parecen presentar dificultades a los estudiantes. Su identificación puede ayudar en el diseño de estrategias de enseñanza superadoras y favorecedoras de mejores aprendizajes.

- *El vínculo modelo físico-problema.* Se dijo ya que un modelo físico está delimitado, entre otras cosas, por las preguntas que permite formular y por el tipo de respuestas que proporciona. En consecuencia, una misma realidad física puede ser modelada de diferentes maneras. Estos modelos alternativos para una misma realidad física pueden presentarse en una misma teoría (por ejemplo, un mismo cuerpo puede ser modelado como “punto material” o como “sólido rígido” en Mecánica Newtoniana) o en teorías diferentes (por ejemplo, la luz es modelada como “rayo luminoso” en Óptica Geométrica y como “onda electromagnética” en Óptica Física). Es preciso que los estudiantes comprendan que el modelo a usar no está predeterminado sólo por el sistema real en sí, y que la adopción o construcción de un modelo está profundamente relacionada con la índole del problema encarado. De este modo las características específicas de cada modelo y los supuestos que cada modelo implica, pueden adquirir mayor significado para los estudiantes.

- *El vínculo modelo físico-realidad.* Se dijo también que un modelo físico está delimitado, entre otras cosas, por el conjunto de realidades físicas que modela. Pero a partir del reconocimiento del carácter ideal (no real) de los modelos de la Física, muchos estudiantes no logran conciliarlos apropiadamente con el mundo real. El modelado de la disciplina trae consigo la especial y compleja relación entre las ideas y los hechos que caracteriza a las ciencias fácticas maduras. Es imprescindible que los estudiantes se involucren en actividades experimentales coherentes con la experimentación científica; esto puede favorecer que

adquieran una mayor comprensión del papel crucial que desempeña la cota de incertidumbre en el control del ajuste entre modelo y realidad.

- *El vínculo ley física-realidad.* Se dijo también que los referentes directos de las leyes (y teorías) de la Física son los modelos y no los sistemas físicos reales. Todas las leyes de la disciplina tienen la forma de condicionales lógicos, porque las relaciones entre magnitudes que ellas enuncian, se expresan para las condiciones establecidas en los modelos correspondientes. La universalidad de una ley física abarca el universo de los sistemas físicos que verifican los supuestos de su modelo de referencia. Un adecuado aprendizaje requiere que los estudiantes tengan, durante la enseñanza, oportunidades de comprender y aplicar reiteradamente esta importante característica epistemológica de la Física.

- *El modelo de punto material.* Muchos estudiantes sostienen una noción de punto material ligada a la idea de algo pequeño. La condición excluyente de “pequeñez” asociada a la partícula se corresponde con el significado con que se usa este término en la vida cotidiana. Cabe preguntarse si muchas veces el lenguaje utilizado por los docentes y los libros de texto, no estará reforzando la idea vaga de punto material como algo meramente pequeño. Además de ser físicamente ambigua, esta condición es pedagógicamente inadecuada al entorpecer el cambio de representaciones necesario para acceder al significado científico del término, y al existir incoherencia entre esa concepción y los cuerpos que son tratados como partículas en el aula. Se ha sugerido que la construcción de conceptos científicos resulta de un ínter juego entre lo concreto y lo abstracto mediante una evolución en forma de espiral (Vygotski, 1991). En el caso del modelo de punto material, ese proceso podría dificultarse si los aportes que el estudiante recibe desde los docentes y los textos estuvieran afectados de un vaciamiento de significados físicos y de una ausencia de referencias operacionales rigurosas. Se dejaría así un espacio propicio para interpretaciones vagas, ambiguas y para

construcciones conceptuales no científicas.

Algunas reflexiones respecto al tratamiento del modelo de punto material en libros de texto universitarios

Un análisis de diferentes libros de texto usados en el ámbito universitario de los cursos básicos de carreras de Ingeniería y Ciencias, muestra que no necesariamente se encuentran en ellos desarrollos que ayuden a comprender adecuadamente el modelo de punto material.

Casos en que el modelo de punto material no se introduce explícitamente

Algunos textos que desarrollan la cinemática y dinámica del punto material no introducen explícitamente el significado científico de esta noción.

Tal es el caso, por ejemplo, de la edición 1986 del libro de Alonso y Finn, que ha modificado la presentación en ediciones más recientes, pero al que se sigue consultando en versiones anteriores muy difundidas. En los diferentes capítulos en que se presentan desarrollos teóricos aplicables al modelo de punto material se menciona reiteradamente este concepto a pesar de no haber aclarado su significado, y se procede luego a presentar ejemplos de aplicación en los que se hace referencia al movimiento de pelotas, cuerpos que caen por planos inclinados, autos, etc., en los que está ausente toda consideración sobre criterios que permiten controlar la validez de tratar esos sistemas reales como puntos materiales.

Casos en que el modelo de punto material se presenta en forma ambigua y/o incompleta

Las definiciones de punto material y las referencias a las condiciones que se deben dar para que sea científicamente lícito tratar a un sistema real como punto material, se presentan muchas veces de forma ambigua y/o incompleta.

- Por ejemplo, del Río y Flores (1986, pág. 18) dicen: “Una partícula elemental clásica eléctricamente neutra está caracterizada por un solo parámetro, su masa”... “Para situar la partícula elemental, que por definición no

tiene partes, basta localizar un punto matemático en el espacio.”

La asociación directa o indirecta entre “cuerpo pequeño” y “punto material”, que se corresponde con el significado con que se usa el término “partícula” en la vida cotidiana, está reiteradamente presente en diferentes textos.

- En un texto clásico, que sigue siendo consultado, Sears (1965, pág. 71) dice: *“En la mayor parte de los movimientos reales, los distintos puntos de un cuerpo se mueven a lo largo de trayectorias diferentes. Se conoce el movimiento completo si sabemos cómo se mueve cada punto del cuerpo; por ello, para comenzar consideraremos solamente un punto móvil o un cuerpo ideal muy pequeño, denominado partícula. La posición de una partícula queda determinada por su proyección sobre los tres ejes de un sistema de coordenadas rectangulares.”*

- Entre textos de edición más reciente con presentaciones de este tipo (aunque con matices cuyo significado no se explicita y en consecuencia son pasados por alto por muchos estudiantes), cabe mencionar el de Alonso y Finn (1995, pág. 24) donde se lee: *“Iniciaremos el estudio del movimiento de los cuerpos sin considerar su forma, tamaño, dimensiones y estructura interna; es decir, tomaremos los cuerpos como masas puntuales o “partículas”. Esta es una simplificación razonable cuando la estructura interna y la composición de los cuerpos no cambia durante el movimiento, y cuando éstos se mueven en una región mucho mayor que su tamaño (por ejemplo, electrones en un tubo de televisión, la Tierra en su desplazamiento alrededor del Sol en su movimiento por la galaxia o un automóvil que se desliza.”*

- En esta línea, Tipler (2001, pág. 19), muy sintéticamente dice: *“Una partícula es un objeto cuya posición puede describirse por un solo punto. Cualquier cosa puede considerarse como una partícula – una molécula, una persona, una galaxia – siempre que razonablemente podamos ignorar su estructura interna.”*

- Por su arte, Serway y Jewet (2005, pág. 24) afirman: *“En nuestro estudio del movi-*

miento de traslación, usaremos lo que se llama modelo de partícula y describiremos el objeto en movimiento como una partícula cualquiera que sea su tamaño. En general, una partícula es un objeto semejante a un punto, es decir un objeto con masa, pero que tiene tamaño infinitesimal. Por ejemplo, si deseamos describir el movimiento de la Tierra alrededor del Sol, podemos tratar la Tierra como una partícula y obtener datos razonablemente precisos acerca de su órbita. Esta aproximación se justifica porque el radio de la órbita de la Tierra es grande en comparación con las dimensiones de la Tierra y el Sol.”

Otros textos, a pesar de mantener su vaguedad o ambigüedad en la clarificación del significado físico del concepto de punto material, incorporan menciones a un aspecto muy importante para un adecuado aprendizaje de la relación entre teoría y realidad en Física: el carácter no necesario, sino contextual, del modelo representacional que se adopta.

- Por ejemplo, Frish y Timoreva (1972, pág.21) dicen: *“Por punto material se entiende en mecánica al cuerpo cuyas dimensiones y forma se pueden despreciar en el problema dado. Un mismo cuerpo real, según el planteamiento del problema, se puede considerar como un punto material o como un cuerpo de dimensiones finitas.”*

- Por su parte, Landau et al. (1973, pág. 14) señalan: *“Uno de los conceptos fundamentales de la Mecánica es el de punto material. Se denomina así a un cuerpo cuyas dimensiones pueden despreciarse cuando se describe su movimiento. Por supuesto, esta posibilidad depende de las condiciones concretas del problema. Así, se pueden considerar los planetas como puntos materiales al estudiar su movimiento alrededor del Sol, pero no, evidentemente, cuando se considera su rotación alrededor de sus ejes.”*

- También en esta tónica, Gettys y Keller (1996, pág. 31) expresan: *“Una partícula es una entidad ideal sin tamaño ni estructura interna. Tratar un objeto real como una partícula es una aproximación válida si el tamaño del objeto es irrelevante en el problema que se considera. Por ejemplo, al describir el movimiento orbital de los planetas alrededor del*

Sol, podemos tratar a los planetas y al Sol como partículas. Esto es válido porque el radio del Sol y el de cualquiera de los planetas es mucho menor que la distancia al Sol desde cualquiera de los planetas y además el movimiento de giro sobre sí mismos del Sol y los planetas producen también un efecto despreciable sobre las órbitas de los planetas.”

- Cabe finalmente mencionar, entre los textos que presentan este enfoque, a Roederer (1965, pág. 43) que explica la cuestión en estos términos: “Supongamos un cuerpo “chiquito”. Los vectores posición de cada uno de los puntos del cuerpo serán prácticamente de la misma dirección, del mismo sentido y del mismo módulo. Asimismo, las componentes de esos vectores diferirán entre sí muy poco. Si el error con que podemos medir la posición de un punto en el espacio es del orden de las dimensiones del cuerpo, no tendrá sentido distinguir un punto del cuerpo de otro. Un cuerpo cuyas dimensiones son del orden del error en la medición de las distancias se denomina cuerpo puntual, o punto material. La posición de un cuerpo puntual está determinada por un solo vector posición. El concepto de cuerpo puntual es relativo. Por ejemplo, la Tierra puede ser considerada como punto material en su movimiento orbital como planeta, puesto que el error con el que conocemos la distancia Tierra-Sol es muchas veces mayor que el radio de la Tierra.”

La idea expresada por Roederer, que es similar a la que repiten y mal interpretan los estudiantes del G1, puede ser clara para un entendido en Física, pero creemos que lleva a serias incomprensiones si no se explicitan más sus implicancias y significado físico.

Casos con presentaciones claras del modelo de punto material

- El mismo Roederer (1965, pág. 199) parece coincidir con el criterio recién expresado, pues en el mismo libro, cuando trata la dinámica del cuerpo rígido, aclara: “Aquí conviene introducir una pequeña disquisición sobre el concepto de cuerpo puntual. Sea un cuerpo rígido muy pequeño, tal que no se puede distinguir físicamente un punto de otro (error en la determinación de la posición mayor que el

diámetro del cuerpo). En este caso, el movimiento de rotación dado por la ecuación: $\mathbf{M} = \sum \mathbf{M}_{ext} = d\mathbf{L}/dt$ no se podrá determinar, por no poder dar las condiciones iniciales para el movimiento de rotación y por no poder precisar los puntos de aplicación de las fuerzas (y con ellos sus momentos). En cambio la ecuación $\mathbf{R} = \sum \mathbf{F}_{ext} = d\mathbf{P}/dt$ tiene significado completo, pues si bien no podemos ubicar el centro de masa con mayor precisión que las dimensiones del cuerpo, podemos predecir su movimiento sobre la base de la resultante de las fuerzas (para lo cual no necesitamos conocer los respectivos puntos de aplicación). Pero la ecuación $\mathbf{R} = \sum \mathbf{F}_{ext} = d\mathbf{P}/dt$ es, para este caso, formalmente idéntica a la ecuación de Newton para una masa puntual $\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$. En otras palabras, ahora podemos precisar aún más la noción de cuerpo puntual: es un cuerpo rígido en el que podemos despreciar el movimiento de rotación (o sea despreciar el spin y la energía cinética de rotación).”

- Entre otros textos que plantean con bastante claridad la idea de punto material, puede citarse el de Resnick y Halliday (1965, pág. 54), en el que en sucesivas ediciones se encuentran explicaciones como la siguiente: “Matemáticamente una partícula se trata como un punto, un objeto sin extensión, de tal manera que no hay que hacer consideraciones de rotaciones ni de vibraciones. Un cuerpo no tiene que ser necesariamente “pequeño” en el sentido usual de la palabra para que pueda ser tratado como partícula. Por ejemplo, si consideramos la distancia de la Tierra al Sol, con respecto a esta distancia la Tierra y el Sol pueden considerarse ordinariamente como partículas. Se puede considerar que los cuerpos reales que tienen sólo movimiento de traslación se comportan como partículas.”

- En una versión más actual, en el capítulo de cinemática del texto de Resnick, Halliday y Krane (2002, pág. 14) se afirma: “Por partícula, entenderemos un punto material de masa, como un electrón, pero también designaremos un objeto cuyas partes se mueven exactamente de la misma manera. Incluso los objetos complejos pueden ser considerados como partículas, si no existen movimientos internos como la rotación o la vibración de

sus partes. Por ejemplo, una rueda que gira no podrá ser considerado como partícula, porque un punto de su borde se desplaza en forma diferente de un punto sobre su eje. (Pero una rueda que se desliza sí puede tratarse como partícula.). Por tanto, podemos considerar que un objeto es una partícula en algunos cálculos y en otros no. Por ahora prescindiremos de los movimientos internos y consideraremos el electrón y un tren carguero desde el mismo punto de vista: como ejemplos del movimiento de partícula. Según esta aproximación, las partículas pueden realizar varios movimientos: acelerar, disminuir la rapidez, incluso detenerse e invertir la dirección o desplazarse en trayectorias curvas como círculos o parábolas. Mientras podamos clasificar estos objetos como partículas, estaremos en condiciones de utilizar el mismo grupo de ecuaciones cinemáticas para describirlos.”

Lo expuesto sobre el tratamiento del modelo de punto material en libros de texto universitarios, muestra con claridad la complejidad que puede presentar a los estudiantes la comprensión del concepto de punto material y la consecuente necesidad de desarrollar más amplia y precisamente su significado ante ellos.

Parece importante resaltar y reiterar en clase que la idea de punto material hace referencia a una entidad abstracta, sin referentes fácticos directos, que define las condiciones supuestas en los desarrollos de la Física del cuerpo de masa puntual (se consideran irrelevantes la forma, las dimensiones y la estructura interna del cuerpo, de modo que las fuerzas que actúan sobre él sólo podrían modificar su movimiento de traslación). Así, en mecánica podemos tratar como partícula o punto material a todo cuerpo extenso cuya deformación, vibración y rotación pueden ser dejadas de lado (por irrelevantes) en el análisis que se está encarando. Cabe destacar que el movimiento de cuerpos extensos supuestos indeformables puede siempre describirse como la combinación del movimiento del cuerpo “como un todo” (vale decir, del movimiento de su centro de masa) acompañado de vibraciones y rotaciones del propio cuerpo. En ese caso el movimiento “como un todo” puede ser analizado

mediante el modelo de partícula, no así las vibraciones y la rotación.

Todas las referencias que directa o indirectamente se hacen a tamaños pequeños, distancias grandes, etc., que tanto se repiten, están haciendo mención a casos en que puede ser legítimo tratar a los cuerpos como puntos materiales; pero en la medida en que no se precisen, estas referencias no están definiendo una condición necesaria, ni suficiente, para que sea legítimo asimilar un cuerpo a un punto material.

Comentarios finales

Los resultados obtenidos para los grupos G1 y G2 y el análisis de textos realizado, muestran con claridad las dificultades enfrentadas por los estudiantes para construir, tanto significados adecuados del concepto de punto material, cuanto consideraciones pertinentes acerca de la índole de los modelos físicos, del modelado en Física y del modo en que se vincula científicamente teoría y realidad. En consonancia, los aprendizajes logrados por los estudiantes en torno a la idea de punto material revelan limitaciones e incomprendiones como las reportadas.

A lo largo del trabajo se han esbozado reflexiones sobre el proceso educativo y se han reproducido y analizado diversas definiciones de punto material. Unas y otras pueden ser de utilidad a otros docentes para mejorar la enseñanza. La experiencia muestra reiteradamente que pueden crearse condiciones más propicias a aprendizajes más comprensivos si en el trabajo con los estudiantes se incorporan funcionalmente algunas reflexiones pertinentes respecto al papel de los modelos y el modelado en el conocimiento científico sobre el mundo natural.

De hecho, como ya se dijo pero puede ser conveniente reiterar, en una Tesis de Maestría (Wainmaier, 2003) se ha constatado, en consonancia con otros investigadores (Halloun y Hestenes 1998), que en el aprendizaje de los estudiantes existe una correlación significativa entre la comprensión epistemológica y la comprensión conceptual de la Física Clásica.

Referencias

- Alonso, M. y Finn, E. (1986). *Física. Volumen I: Mecánica*. USA: Addison Wesley Iberoamericana.
- Alonso, M. y Finn, E. (1995). *Física*. USA: Addison - Wesley Iberoamericana.
- Baade, N.; Bordogna, C. y Prodanoff, F. (1999). Respuestas condicionadas: la falta de claridad en los modelos utilizados. *Memorias de la X Reunión Nacional de Educación en Física*. Mendoza, Argentina, pp.283-291.
- Bunge, M. (1985). *La investigación científica*. España: Ariel.
- Chalmers, A. (1992). *La ciencia y cómo se elabora*. España: Siglo Veintiuno.
- Concari, S.; Giorgi, S.; Cámara, C. y Giacosa, N. (2007). Experiencias de Física en entornos virtuales integradas a estrategias didácticas clásicas de las Ciencias Naturales. *Memorias de la XV Reunión Nacional de Educación en Física*. Villa de Merlo, San Luis, Argentina, pp. 1-10.
- Cudmani, L. C. de y Salinas, J. (1991). Modelo físico y realidad: Importancia epistemológica de su adecuación cuantitativa. Implicancias para el aprendizaje. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 8(3), pp. 181-192.
- Cudmani, L. C. de; Salinas, J. y Jaén, M. (2000). *Epistemología de la Física. Tópicos introductorios*. Tucumán: FaCEyT-UNT.
- Del Río, F. y Flores, J. (1986). *Conceptos de la Física: I. Modelos clásicos*. México: Alhambra Mexicana.
- Frish, S. y Timoreva, A. (1972). *Curso de Física General: Tomo I*. Moscú: Mir.
- Gettys, E. y Keller, M. (1996). *Física Clásica y Moderna*. Madrid: McGraw-Hill.
- Halloun, I. (2004). *Modeling theory in science education*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers
- Halloun I. y Hestenes, D. (1998). Interpreting VASS Dimensions and Profiles for Physics students. *Science & Education*, 7(6), pp. 553-577.
- Islas, S. y Pesa, M. (2001). El empleo de modelos en Física: Un estudio sobre grupos de estudiantes, docentes y científicos. *Página web de la Maestría en Metodología de la Investigación Científica de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Entre Ríos*.
- Kofman, H. y Cámara, C. (1999). Limitaciones del modelo físico idealizado. La simulación computacional como propuesta didáctica. *Memorias de la XI Reunión Nacional de Educación en Física*. Mendoza, Argentina, pp.283-291.
- Kofman, H.; Monje, R.; Lucero, P. y Risso Patrón, F. (2007). Experimento informatizado para el estudio de la caída real de los cuerpos. *Memorias de la XV Reunión Nacional de Educación en Física*. Villa de Merlo, San Luis, Argentina, pp. 1-10.
- Landau, A.; Ajiizer, E. y Lifshitz, E. (1973). *Curso de Física General: Mecánica y Física Molecular*. Moscú: Mir.
- Lombardi, O. (1998). La noción de modelo en ciencia. *Educación en Ciencias*, 2(4), pp. 5-13.
- Matthews, M. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), pp. 255-275.
- Osborne, R. y Fryberg, P. (1991). *El aprendizaje de las ciencias*. Madrid: Narcea.
- Pietrocola, M. (2001). Construção e realidade: O papel do conhecimento físico no entendimento do mundo, en *Ensino de Física: Conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora* (M. Pietrocola ed.). Florianópolis: Editora da UFSC.
- Resnick, R. y Halliday, D. (1965). *Física para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería. Volumen I*. México: Compañía Editorial Continental.
- Resnick, R.; Halliday, D. y Krane, K. (2002). *Física, Volumen I*. México: Compañía Editorial Continental.
- Roederer, J. (1965). *Mecánica Elemental*. Buenos Aires: Eudeba.
- Salinas, J. (2002). Lenguaje matemático y realidad en la enseñanza y el aprendizaje de la Física. *Memorias del VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Águas de Lindoia, Brasil.
- Salinas, J. (2003). El dominio de validez de las leyes de la Física: Incomprensiones de estudiantes y docentes. *Memorias de la XIII Reunión Nacional de Educación en Física*. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Salinas, J. (2006). El vínculo entre teoría y realidad en las aulas de Física. *Memorias de la IX Conferencia Interamericana sobre Educación en la Física*. San José, Costa Rica.
- Salinas, J. (2007). Confusions between necessary and contingent propositions in Classical Physics learning. *Proceedings of the 2007 European Science Education Research Association Conference*, Malmö, Sweden.

- Sears, F. (1965). *Mecánica, Movimiento Ondulatorio y Calor*. España: Aguilar.
- Serway, R y Jewet, J. (2005). *Física para ciencias e ingenierías*. México: Thomson.
- Tipler, P. (2001). *Física para la ciencia y la tecnología. Volumen I*. España: Editorial Revertè.
- Vygotski, L. (1991). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. España: Crítica Grijalbo.
- Wainmaier, C. y Salinas, J. (2000). La idea de punto material en estudiantes de Ciclos básicos universitarios. *Memorias del V Simposio de Investigadores en Educación en Física*. Santa Fe, Argentina, pp. 158-163.
- Wainmaier, C. (2003). Incomprensiones en el aprendizaje de la Mecánica Clásica Básica. *Tesis de Maestría en Enseñanza de las Ciencias (área Física)*. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán.
- Yurén Camarena, M. (1989). *Leyes, teorías y modelos*. México: Trillas.